



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 364 453**

51 Int. Cl.:  
**C03B 37/014** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02748657 .0**

96 Fecha de presentación : **16.04.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1383714**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.01.2004**

54 Título: **Procedimiento para producir una preforma de fibra óptica.**

30 Prioridad: **27.04.2001 EP 01110475**  
**07.05.2001 US 288833 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**02.09.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**02.09.2011**

73 Titular/es: **PRYSMIAN S.p.A.**  
**Viale Sarca 222**  
**20126 Milano, IT**

72 Inventor/es: **Fogliani, Sabrina y**  
**Tregambe, Carlo**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 364 453 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

Procedimiento para producir una preforma de fibra óptica

La presente invención versa acerca de un procedimiento para producir una preforma de fibra óptica.

Las fibras ópticas, muy utilizadas en las telecomunicaciones ópticas, están fabricadas al fundir y estirar una preforma de fibra óptica de vidrio. Se conocen distintas técnicas para producir una preforma de vidrio óptico, siendo las principales la deposición de vapor exterior (OVD), la deposición modificada de vapor químico (MCVD), la deposición de vapor axial (VAD), y la deposición de vapor químico mejorada con plasma (PECVD).

Cada una de las anteriores técnicas implica convencionalmente: i) el suministro de un flujo de vapor que contiene precursores de formación de vidrio hasta una ubicación de oxidación tal como, por ejemplo, la llama de un quemador de gas/oxígeno o una zona de plasma sobrecalentado adyacente a un sustrato de deposición o dentro de un tubo de deposición; ii) la oxidación del flujo de vapor para formar un material particulado o un producto de oxidación de hollín; y, iii) la recogida del material particulado o del producto de oxidación de hollín sobre el sustrato o el tubo para formar una preforma (en el procedimiento de PECVD, el vidrio se deposita directamente desde la fase de vapor sobre el tubo sin la etapa intermedia de formación de hollín). Aunque en los procedimientos de MCVD y PECVD la preforma de hollín resultante es generalmente transparente después de la etapa de deposición y puede ser estirada formando fibra sin una etapa de sinterización, en los procedimientos de OVD y VAD la preforma de hollín resultante es procesada adicionalmente, mediante sinterización, para formar vidrio transparente, a partir del cual se estira una fibra óptica de guía de ondas. Se pueden incluir impurificaciones en el flujo de vapor para modificar diversas características del vidrio resultante, tal como el índice de refracción o el coeficiente de expansión térmica.

Durante mucho tiempo, las fibras ópticas basadas en sílice ( $\text{SiO}_2$ ) han sido preferentes comercialmente para las telecomunicaciones ópticas. Al proporcionar una preforma con un perfil variable radialmente de índice de refracción, se puede estirar una fibra óptica con las características requeridas de guía de ondas. Para proporcionar las características apropiadas de guía de ondas, se ha impurificado la  $\text{SiO}_2$  con diversos compuestos para alterar su índice de refracción. Estos compuestos incluyen, por ejemplo,  $\text{GeO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Los vapores que contienen estos compuestos son proporcionados convencionalmente utilizando haluros metálicos tales como  $\text{GeCl}_4$ ,  $\text{TiCl}_4$ , y  $\text{POCl}_3$ . También es conocido que se pueden incorporar ciertos compuestos, tales como elementos de tierras raras, en la estructura vítrea para proporcionar otras funciones ópticas, incluyendo la acción láser y la amplificación de señales.

En un procedimiento convencional de OVD, se deposita hollín de sílice sobre capas sucesivas sobre una barra central, denominado normalmente "núcleo" o "alma metálica". Para fines del presente documento, se define una capa como aquella porción de hollín de vidrio que está depositada por una pasada del quemador a lo largo del alma metálica. La sílice se genera en la oxidación mencionada anteriormente del flujo de vapor. Normalmente, la deposición se lleva a cabo al poner en movimiento alternativo el quemador en paralelo al alma metálica, mientras que el alma metálica gira en torno a su eje. Normalmente, este procedimiento de deposición se lleva a cabo dos veces: la primera vez para producir una preforma intermedia (material que dará lugar al núcleo y a una parte interna del recubrimiento de la fibra) sobre un alma metálica extraíble, y la segunda vez (en la denominada "etapa de sobrerrecubrimiento") para depositar un hollín de recubrimiento (que dará lugar a una parte externa del recubrimiento de la fibra) sobre un alma metálica obtenida al alargar y cortar la preforma intermedia. La etapa de sobrerrecubrimiento proporciona la mayoría del material que constituirá la fibra óptica y luego requiere mucho más tiempo que la primera etapa de deposición. Al final de las dos etapas de deposición, se obtiene una preforma final, que se consolida sucesivamente y es estirada formando una fibra óptica.

La densidad del hollín durante el procedimiento de deposición es un parámetro importante para conseguir una preforma final de vidrio de buena calidad. La densidad de la deposición está relacionada con la temperatura del sustrato sobre el que se deposita el hollín, cuanto mayor sea la temperatura mayor es la densidad.

Varios documentos abordan la densidad de una preforma de hollín en un procedimiento de deposición química.

Aunque el documento US 6.050.108, en nombre de Sumitomo Electric Industries, aborda un procedimiento de VAD y, en particular, las etapas de desgasificación y de consolidación de la preforma, expone que la preforma de vidrio poroso debería tener, preferentemente, una densidad por unidad de volumen no inferior que  $0,6 \text{ g/cm}^3$ , más preferentemente desde aproximadamente  $0,6 \text{ g/cm}^3$  hasta aproximadamente  $0,8 \text{ g/cm}^3$ . Si la densidad por unidad de volumen cae por debajo de este intervalo, la preforma de vidrio poroso tiende a romperse porque es demasiado blanda. Por otra parte, si la densidad por unidad de volumen supera el anterior intervalo, la preforma de vidrio tiene una dureza demasiado elevada y, por lo tanto, apenas se eliminan las burbujas de aire ya incorporadas en la misma y tienden a permanecer.

El documento US 4.810.276, en nombre de Corning Glass Works, describe un procedimiento de OVD para fabricar una preforma de fibra óptica, en el que se deposita la primera capa de hollín de recubrimiento sobre una barra de cebado con núcleo de vidrio con una densidad de al menos  $0,5 \text{ g/cm}^3$  (preferentemente en el intervalo de aproximadamente  $0,6 \text{ g/cm}^3$  a  $0,7 \text{ g/cm}^3$ ), mientras que se depositan los restos de las capas con la misma densidad

o con una densidad decreciente progresivamente desde la densidad de la primera pasada según aumenta el radio. Según el documento US 4.810.276, la deposición del hollín sobre la barra de cebado con una densidad inferior a aproximadamente  $0,5 \text{ g/cm}^3$  determina una unión de las partículas de hollín con la superficie del núcleo que no es lo suficientemente resistente para forzar la conformidad del núcleo al revestimiento de hollín, dado que el revestimiento encoge longitudinalmente durante la consolidación. Para obtener la referida densidad del hollín en la primera capa, se precalienta la barra por medio de un quemador y un quemador auxiliar inmediatamente antes de la deposición de hollín.

El solicitante ha observado que la solución de precalentar la barra de cebado propuesta en el documento US 4.810.276 solo permite controlar la densidad en la primera capa, mientras que no hay sugerencia de cómo controlar la densidad del hollín en las siguientes capas. Además, se requiere un quemador auxiliar para precalentar la barra de cebado.

El documento US 4.627.867, en nombre de Sumitomo Electric Industries, afronta los problemas del agrietamiento de la barra de hollín o de reducción de la producción de deposición cuando la temperatura de la barra de hollín durante la deposición es respectivamente demasiado baja o demasiado alta, y propone depositar partículas finas de vidrio por medio de un primer quemador a tal temperatura que se forme una barra de hollín con una baja densidad por unidad de volumen, y calentar subsiguientemente la barra de hollín por medio de un segundo quemador, de forma que se aumente la densidad por unidad de volumen del hollín. Entonces, se sinteriza la barra de hollín para obtener una preforma de vidrio transparente para una fibra óptica. En una realización preferente, se forma en primer lugar la barra de hollín que tiene la baja densidad por unidad de volumen específica desde  $0,02$  hasta  $0,1 \text{ g/cm}^3$  y luego se aumenta la densidad por unidad de volumen desde  $0,15$  hasta  $0,5 \text{ g/cm}^3$ .

Como antes, se requiere un segundo quemador, lo que añade complejidad y coste al sistema. Además, esta técnica da lugar a un aumento del consumo de gas.

El documento US 4.731.103, en nombre de Sumitomo Electric Industries, describe un procedimiento para producir una preforma de vidrio para una fibra óptica por medio del procedimiento de OVD, mediante el cual se produce una preforma de vidrio que tiene una distribución deseada de densidad por unidad de volumen y que no adolece de un agrietamiento o la fluctuación de la concentración de aditivos en su dirección radial. Este procedimiento comprende medir la temperatura de una parte de la barra de hollín sobre la que se depositan las partículas de vidrio y controlar dicha temperatura al ajustar la tasa de eyección de gas combustible. Entonces, se sinteriza la barra de hollín para obtener una preforma de vidrio transparente.

El documento JP 04367536 A2, en nombre de Fujikura, propone una técnica similar. Esta patente versa acerca de un procedimiento para fabricar un cuarzo con aditivos de tierras raras y afronta el problema de una impregnación no uniforme de un cuerpo de hollín sumergido en una disolución de cloruro de alcohol metálico de tierras raras, cuando el cuerpo de hollín tiene una densidad por unidad de volumen en la sección central superior a la de la sección de la superficie. Este problema se soluciona al producir un cuerpo de hollín por medio de un procedimiento de OVD, en el que la deposición del hollín se lleva a cabo mientras que se mantiene constante la temperatura superficial de la superficie circunferencial externa del cuerpo de hollín que va a ser depositado sobre un material antecedente de partida con forma de barra y, más en particular, al proporcionar un cuerpo de hollín con una densidad media por unidad de volumen de  $0,3$  a  $0,7 \text{ g/cm}^3$  y un cambio de densidad por unidad de volumen en la dirección radial en  $\pm 0,5\%$ . Para este fin, se utiliza un termómetro de infrarrojos para medir la temperatura superficial del cuerpo de hollín, y un controlador de flujo controla el flujo de hidrógeno y de oxígeno suministrado al quemador según una señal de temperatura del termómetro. El procedimiento descrito también comprende la retirada del quemador en la dirección perpendicular con respecto al material antecedente de partida, según el grado de crecimiento del cuerpo del hollín, de tal forma que se mantiene constante la temperatura superficial de la superficie circunferencial externa del cuerpo de hollín.

El documento JP-A-2000 272930 da a conocer un procedimiento OVD en el que se controlan tanto la temperatura del gas procedente del quemador como la velocidad de traslación para obtener un grosor deseado del vidrio depositado. Se proporcionan medios de control de la velocidad que aumentan la velocidad si el grosor es mayor que un valor prefijado, mientras que reducen la velocidad del grosor si es menor que dicho valor.

El documento US-A-6.047.564 da a conocer un procedimiento de deposición de vidrio que tiene como objetivo proporcionar un grosor constante en toda la extensión axial de deposición de cada capa individual. Con este propósito, se varían tanto la velocidad de traslación como de rotación, al igual que la temperatura del gas y la distancia del quemador desde el área de deposición del vidrio, durante la deposición de cada capa individual.

Según el solicitante, la variación de la temperatura de la llama al modificar el flujo de gas combustible es relativamente incómoda. De hecho, se modificará y se optimizará el caudal de cada gas individual desde el quemador para conseguir un entorno adecuado de reacción para obtener una tasa aceptable de deposición.

El solicitante ha afrontado el problema de proporcionar una técnica para controlar la densidad del hollín durante un procedimiento de deposición OVD, que evita los riesgos de agrietamiento o escisión del hollín y de la generación de burbujas, y que garantiza un buen control del entorno de reacción.

5 El solicitante ha descubierto que se puede controlar de forma precisa la densidad radial del hollín depositado al variar de forma oportuna al menos una de la velocidad de traslación del quemador y la velocidad de rotación de la barra de deposición durante el procedimiento de deposición de hollín (es decir, según aumenta el diámetro de la preforma). Preferentemente, se varían ambas velocidades referidas, mientras que los otros parámetros del procedimiento, tal como el flujo de gas combustible y el flujo de precursores de hollín, se mantienen constantes, de forma ventajosa. Cada variación de la velocidad de traslación y de la velocidad de rotación tiene lugar después de la terminación de la capa genérica de deposición, mientras que se deposita cada capa a velocidades constantes para garantizar una densidad axial constante del hollín. De forma ventajosa, se reducen la velocidad de traslación del quemador y la velocidad de rotación de la barra de deposición durante el crecimiento de la preforma, finalmente  
10 aparte de una parte inicial del procedimiento en la que, si no se precalienta el soporte de deposición, se aumentan dichas velocidades para estabilizar la temperatura del hollín.

15 Las referidas variaciones de la velocidad de traslación y de la velocidad de rotación permiten controlar la temperatura de la preforma durante el procedimiento, y se controla la densidad del hollín en consecuencia sin actuar sobre la temperatura de la llama. En particular, es posible producir una preforma de vidrio con una distribución predeterminada de densidad radial evitando cualquier variación en el entorno de reacción, y reduciendo perceptiblemente los riesgos de agrietamiento o escisión del hollín, o de una generación de burbujas durante la etapa de consolidación.

En consecuencia, la presente invención versa acerca de un procedimiento para producir una preforma de fibra óptica según la reivindicación 1.

20 Preferentemente, el procedimiento comprende variar tanto la referida velocidad de traslación como la velocidad de rotación, de forma que se obtiene dicha distribución predeterminada de densidad radial en la preforma.

Preferentemente, la densidad del hollín depositado comprende entre aproximadamente  $0,4 \text{ g/cm}^3$  y aproximadamente  $0,8 \text{ g/cm}^3$ , para reducir perceptiblemente los riesgos de agrietamiento o escisión del hollín, o de generación de burbujas durante la etapa de consolidación.

25 De forma ventajosa, la etapa de variación comprende una etapa de aumentar al menos una de dicha velocidad de rotación y velocidad de traslación hasta un valor máximo respectivo, antes de la etapa de reducir al menos una de dicha velocidad de rotación y velocidad de traslación, hasta que se completa la preforma.

30 El procedimiento puede comprender precalentar la barra de deposición antes de depositar las partículas de hollín de vidrio. En este caso, la etapa de variación comprende, preferentemente, reducir de manera unívoca al menos una de dicha velocidad de rotación y velocidad de traslación.

Otras características preferentes del procedimiento son orientar el quemador en una dirección perpendicular a dicho eje y eyectar el material de formación de vidrio como un gas o como un líquido vaporizado. Además, el material de formación de vidrio comprende OMCTS y el gas combustible comprende, preferentemente, metano.

Serán evidentes más detalles a partir de la siguiente descripción, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- 35 - la Fig. 1 es una representación esquemática de la etapa de deposición en un procedimiento de OVD;
- la Fig. 2 muestra de forma esquemática la superposición de dos tiras adyacentes de hollín a lo largo de la espiral de deposición, después de un giro de la preforma; y
- 40 - las Figuras 3a y 3b son gráficos cualitativos que muestran cómo varían la velocidad de traslación y la velocidad de rotación como una función del aumento del diámetro de la preforma, en un primer caso en el que el sustrato de deposición no está precalentado y en un segundo caso en el que el sustrato de deposición está precalentado, respectivamente.

A continuación en el presente documento se describe un procedimiento para fabricar una preforma de vidrio a partir de un estiramiento de fibra óptica. El procedimiento comprende las siguientes etapas.

45 En una primera etapa, se deposita una pluralidad de sustancias químicas sobre un alma metálica cilíndrica (que puede ser mantenida de forma horizontal o vertical y está fabricada, preferentemente, de óxido de aluminio u otro material cerámico) por medio de un dispositivo de deposición descrito más adelante. Típicamente, estas sustancias comprenden silicio y germanio, depositadas como óxidos ( $\text{SiO}_2$  y  $\text{GeO}_2$ ), y formarán subsiguientemente el núcleo y una porción interna del recubrimiento de la fibra óptica. Se puede controlar la densidad de las sustancias químicas durante la deposición por medio del procedimiento descrito a continuación.

50 Durante el procedimiento de deposición, se hace que el alma metálica gire en torno a su eje y el quemador tenga un movimiento alternativo en paralelo al eje del alma metálica durante un número predeterminado de veces y dentro de un intervalo de movimiento, de forma que se crece un cuerpo de hollín de diámetro y longitud predeterminados.

Durante la deposición del hollín, se puede variar el flujo de reactivos, de forma que se obtenga un perfil predeterminado de índice de refracción por medio de una deposición controlada de la sustancia química.

El producto de esta primera etapa es una preforma cilíndrica de material de vidrio, denominada "preforma del núcleo", que será formada dando lugar al núcleo y una región de recubrimiento interno de la fibra óptica.

- 5 En una segunda etapa, se extrae el alma metálica de la preforma del núcleo, dejando un agujero central en la misma.

10 En una tercera etapa, se somete a la preforma del núcleo a un procedimiento de secado y de consolidación en un horno, que comprende introducir  $\text{Cl}_2$  y otro gas en el agujero central para eliminar los iones de hidróxido (-OH) y los átomos de agua contenidos en la preforma. De esta manera, se obtiene una preforma vitrificada del núcleo, en la que el agujero central tiene un diámetro menor en la preforma del núcleo inicial.

15 En una cuarta etapa, después de que se ha creado el vacío en el agujero central (como se describe, por ejemplo, en el documento US 4.810.276 en nombre de Corning), se coloca la preforma vitrificada del núcleo en un horno vertical para fundir un extremo inferior de la misma. La masa fundida del extremo inferior y el vacío dentro del agujero provocan que las paredes del agujero se colapsen. Entonces, se enfría el material de vidrio fundido, formando un miembro alargado de diámetro predeterminado, que es estirado hacia abajo por medio de un dispositivo de tracción. Después de un enfriamiento adicional, se corte el miembro alargado para obtener una pluralidad de elementos cilíndricos, también denominados "barras de núcleo". Una barra de núcleo tiene una longitud típica de aproximadamente un metro y un diámetro externo típico de aproximadamente 10-20 mm.

20 En una quinta etapa, se utiliza cada barra de núcleo como un sustrato para un procedimiento adicional de deposición química ("sobrerrecubrimiento") similar al de la primera etapa. Este procedimiento de deposición comprende depositar sobre la barra de núcleo una pluralidad de sustancias químicas (que incluyen normalmente  $\text{SiO}_2$ ), que formarán subsiguientemente una porción externa del recubrimiento de la fibra óptica. Este procedimiento adicional de deposición puede llevarse a cabo utilizando el mismo dispositivo de deposición utilizado para el procedimiento de deposición de la primera etapa. El producto de la quinta etapa es una preforma cilíndrica de baja densidad, denominada más adelante "preforma final".

25 En una sexta (y última) etapa, se seca y se consolida la preforma final por medio de los mismos procedimientos que los especificados para la tercera etapa, de forma que se obtiene una preforma final vitrificada, que puede ser estirada subsiguientemente de forma conocida para obtener una fibra óptica.

30 A no ser que se requiera de otra manera para aplicaciones específicas, la preforma final debería tener una densidad del hollín comprendida dentro de un intervalo predeterminado y con una distribución radial sustancialmente uniforme, de forma que se eviten los problemas de agrietamiento del hollín y de generación de burbujas en el cuerpo de la preforma. El solicitante ha verificado que, para este fin, un intervalo preferente para la densidad del hollín es desde aproximadamente  $0,4 \text{ g/cm}^3$  hasta aproximadamente  $0,8 \text{ g/cm}^3$ . Más adelante se describe un procedimiento para controlar la densidad del hollín durante el procedimiento de deposición, junto con el funcionamiento de un dispositivo adecuado para llevar a cabo los procedimientos de deposición dados a conocer anteriormente. Aunque se describe esta técnica con referencia a los procedimientos de deposición de sobrerrecubrimiento, que es la más difícil de controlar debido a la gran cantidad de material que va a ser depositado, se puede aplicar, no obstante, la misma técnica al procedimiento de deposición de la primera etapa.

40 Los procedimientos de deposición química descritos anteriormente pueden llevarse a cabo por medio de un dispositivo 1, como se muestra en la figura 1.

El dispositivo 1 comprende, básicamente, una base horizontal 2 de soporte, un par de miembros verticales 3a, 3b de soporte que se extienden hacia arriba desde la base 2 a una distancia predeterminada entre sí, una guía horizontal 4 fijada sobre la base 2 y que se extiende entre los dos miembros 3a, 3b de soporte y un deslizador motorizado 5 acoplado a la guía 4.

45 Los miembros 3a, 3b de soporte están dotados en sus partes superiores de un primer elemento 6a de manipulación y de un segundo elemento 6b de manipulación, respectivamente, mutuamente enfrentados y que pueden girar en torno a un mismo eje horizontal 8. Los elementos 6a, 6b de manipulación están adaptados para sujetar una barra 10 de núcleo coaxial (según se obtiene al final de la cuarta etapa del procedimiento descrito anteriormente) al eje 8 y para girar la barra 10 de núcleo en torno al eje 8. Hay acoplado un motor 7 al primer elemento 6a de manipulación para rotar el primer elemento 6a de manipulación y, por consiguiente, la barra 10 de núcleo y el segundo elemento 6b de manipulación, en torno al eje x.

50 El deslizador 5 sostiene un quemador 11 que tiene salidas de gas en la parte superior. El quemador 11 puede ser, por ejemplo, del tipo descrito en el documento EP 978491 en nombre de Corning. El quemador 11 está adaptado para eyectar una materia primera gaseosa de vidrio y un gas combustible que contiene oxígeno y metano (o hidrógeno) hacia la barra 10 de núcleo, a lo largo de una dirección sustancialmente perpendicular al eje 8. La materia prima del vidrio comprende un precursor de sílice —normalmente un siloxano tal como

octametilclotetrasiloxano (OMCTS), o un cloruro tal como  $\text{SiCl}_4$ — y, cuando se necesita (como en la primera etapa), un precursor de óxido de germanio (tal como  $\text{GeCl}_4$ ). Cuando la materia prima del vidrio comprende un siloxano, genera una reacción fuertemente exotérmica que proporciona casi todo el calor de la llama. En la llama generada de esta manera, tiene lugar una reacción que produce  $\text{SiO}_2$  y/o  $\text{GeO}_2$ , que son depositados como hollín.

5 La llama producida por el quemador 11 puede tener, por ejemplo, una anchura de aproximadamente 2,5 cm a una distancia de aproximadamente 15 cm. Preferentemente, los caudales de gas de metano y de oxígeno (mezcla preparada de antemano) se encuentran en los intervalos de 2,5-3,5 slpm y de 2-3 slpm, respectivamente.

El deslizador 5 está adaptado para mover el quemador 11 horizontalmente debajo de la barra 10 de núcleo durante el procedimiento de deposición, de forma que se deposita hollín sobre la barra 10 de núcleo mientras que gira la barra 10 de núcleo, formando de esta manera una preforma 12 de hollín. El intervalo de movimiento del deslizador 5 se corresponde al menos con la longitud esperada de la preforma 12, normalmente de aproximadamente 1 m. Debido a la traslación alternativa simultánea del quemador 11 y a la rotación de la barra 10 de núcleo, las sustancias químicas son depositadas a lo largo de una trayectoria helicoidal.

Además, el dispositivo 1 comprende una unidad 9 de control conectada al motor 7 y al deslizador 5 para controlar la operación de los mismos. Por lo tanto, se puede utilizar la unidad 9 de control para controlar, por ejemplo según un *software* almacenado de procesamiento, la velocidad de traslación  $v$  del quemador 11 y la velocidad de rotación  $w$  de la barra 10 de núcleo.

Durante el procedimiento de deposición, se varían la velocidad de traslación  $v$  y la velocidad de rotación  $w$ , de forma que se obtiene la densidad deseada del hollín en la preforma, mientras que los otros parámetros del procedimiento se mantienen preferentemente constantes. En particular, al controlar  $v$  y  $w$ , es posible controlar dos parámetros de deposición que tienen una influencia sobre la densidad de la deposición: la velocidad de formación helicoidal  $V_e$  y la superposición  $G_s$  de la tira helicoidal.

La velocidad de formación helicoidal  $V_e$  es la velocidad de deposición de las sustancias químicas a lo largo de la trayectoria helicoidal. La velocidad de formación helicoidal  $V_e$  está relacionada con  $v$  y  $w$  y con el diámetro actual  $D$  de la preforma en formación según la siguiente fórmula:

$$V_e = \left[ (\pi D w)^2 + v^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

La superposición  $G_s$  es el porcentaje de solapamiento de la tira de hollín en dos vueltas consecutivas. La Fig. 2 aclara el significado de este parámetro. Si  $a$  es la anchura de la tira (sustancialmente correspondiente a la anchura de la llama) y  $b$  es la anchura de la porción de solapamiento entre la porción  $S_N$  de la tira depositada en la vuelta  $N$  y la porción  $S_{N+1}$  de la tira depositada en la vuelta  $N+1$ ,  $G_s$  se define como  $(b/a \times 100)$ .  $G_s$  está relacionada con  $v$  y  $w$  según la siguiente fórmula:

$$G_s = (1 - v/wa) \cdot 100 \quad (2)$$

Al principio del procedimiento de deposición, se varían de forma distinta las velocidades  $v$  y  $w$  dependiendo de si se lleva a cabo un precalentamiento de la barra de núcleo o no. Esto es debido a que la densidad del hollín está relacionada con la temperatura del sustrato de deposición y, por lo tanto, se ajustarán las velocidades  $v$  y  $w$  de forma que se tenga una temperatura del sustrato adecuada para depositar el hollín con la densidad deseada.

Si no se lleva a cabo el precalentamiento de la barra de núcleo, la barra 10 de núcleo se encuentra aproximadamente a la temperatura ambiente al principio del procedimiento de deposición, es decir, a una temperatura muy inferior que aquellas alcanzadas durante el procedimiento de deposición y, por consiguiente, la densidad del hollín depositado tiende a ser baja. Por lo tanto, las velocidades  $v$  y  $w$  se fijan con un valor bajo durante la deposición de las primeras capas de hollín, para producir un aumento rápido de la temperatura de la barra de núcleo. Más precisamente, la deposición de las primeras capas se lleva a cabo a velocidades  $v$  y  $w$  tan bajas que la barra de núcleo es calentada localmente, en el punto en el que recibe el hollín, hasta una temperatura que permite que la densidad del hollín se encuentre dentro del intervalo deseado. En particular, el solicitante ha observado que, para conseguir una buena adhesión del hollín a la barra 22 de núcleo, el hollín deberá ser depositado en las primeras capas con una densidad preferentemente superior a aproximadamente  $0,6 \text{ g/cm}^3$ . Preferentemente, esa densidad debería ser inferior a  $1 \text{ g/cm}^3$ , más preferentemente inferior a  $0,8 \text{ g/cm}^3$ , para evitar el fenómeno de generación de burbujas durante las siguientes etapas. Que  $v$  y  $w$  tengan velocidades bajas se corresponde con tener un grado relativamente alto  $G_s$  de superposición y una velocidad relativamente baja  $V_e$  de formación helicoidal. Preferentemente, en esta etapa la velocidad de traslación  $v$  es de entre 540 mm/min y 680 mm/min y la velocidad de rotación  $w$  es de entre 63 rpm y 78 rpm, de forma que tiene una superposición  $G_s$  comprendida en el intervalo preferente de 60-70% y una velocidad  $V_e$  de formación helicoidal comprendida en el intervalo preferente de 4000-5000 mm/min o, de forma ventajosa, en el intervalo más preferente de 4300-4500 mm/min.

De forma alternativa, la barra 10 de núcleo puede ser precalentada antes del inicio del procedimiento de deposición. El precalentamiento puede llevarse a cabo, por ejemplo, al proporcionar un movimiento alternativo al quemador 11 o

a un quemador suplementario (no mostrado) antes de iniciar la deposición del hollín. Esto permite que el procedimiento de deposición sea iniciado con la barra 10 de núcleo a una temperatura que se encuentra, preferentemente, en el intervalo de 1000-1200 °C. En este caso, las velocidades  $v$  y  $w$  que permiten la deposición de las primeras capas de hollín con una densidad dentro de los intervalos especificados anteriores son mayores. Preferentemente, tales velocidades están comprendidas entre 2900 y 3100 mm/min, y entre 240 y 260 rpm, respectivamente.

Después de la terminación de las primeras dos o tres capas, el hollín se deposita sobre un sustrato más caliente, lo que provoca que el hollín sea depositado con una densidad mayor. El aumento rápido de la temperatura puede dar lugar, además de a una disminución de la eficacia de deposición debida a una reducción del efecto termoforético, a un aumento de la densidad en el intervalo deseado. El solicitante ha descubierto que por encima de  $0,8 \text{ g/cm}^3$  el riesgo de generación de burbujas no es insignificante, y por encima de  $1,1 \text{ g/cm}^3$  ese riesgo es muy alto. En consecuencia, después de la terminación de un número predeterminado de capas, que es preferentemente menor de diez, y más preferentemente entre dos y cuatro, se aumentan progresivamente las velocidades  $v$  y  $w$ , de forma que se reduce la temperatura de la preforma y, por consiguiente, la densidad de deposición.

Sin embargo, aunque el aumento de  $v$  y  $w$  tiende a estabilizar la temperatura del sustrato, el aumento del diámetro  $D$  de la preforma tiende a aumentar la velocidad  $V_s$  de formación helicoidal hasta valores que pueden provocar una reducción excesiva de la densidad del hollín. Por ejemplo, si se mantuviesen constantes las velocidades  $v$  y  $w$  a aproximadamente 2900 mm/min y 240 rpm, respectivamente, un diámetro  $D$  de la preforma de aproximadamente 40 mm se correspondería con una velocidad  $V_e$  de formación helicoidal superior a 30000 mm/min. Por lo tanto, después de alcanzar valores máximos de  $v$  y  $w$  al completarse un número predeterminado de capas, se reducen  $v$  y  $w$  para oponerse al referido efecto y para mantener una temperatura sustancialmente constante de la preforma.

Los intervalos preferentes para los valores máximos de  $v$  y  $w$  son 2900-3100 mm/min y 240-260 rpm, respectivamente, es decir, los mismos intervalos adecuados para iniciar el procedimiento de deposición cuando la barra 10 de núcleo está precalentado. Los intervalos preferentes correspondientes para la velocidad  $V_e$  de formación helicoidal y para el grado  $G_s$  de superposición son de 15500-16700 mm/min y 35-45%, respectivamente. Tener  $V_e$  y  $G_s$  dentro de dichos intervalos permite obtener una densidad del hollín de aproximadamente  $0,6 \text{ g/cm}^3$ .

Cuando la preforma ha alcanzado un diámetro externo  $D$  de aproximadamente 100 mm o más, la velocidad de traslación  $v$  es preferentemente inferior a 2000 mm/min, más preferentemente inferior a 1630 mm/min, y la velocidad de rotación  $w$  es preferentemente inferior a 200 rpm, más preferentemente inferior a 130 rpm. En consecuencia, aunque el grado  $G_s$  de superposición sigue siendo de aproximadamente un 40%, la velocidad  $V_s$  de formación helicoidal puede llegar a ser de hasta 41000 mm/min.

El procedimiento de deposición termina cuando la preforma 12 alcanza un diámetro predeterminado, normalmente de aproximadamente 120 mm.

Las tendencias descritas para  $v$  y  $w$  son resumidas en la representación cualitativa de las Figuras 3a y 3b, que hacen referencia al procedimiento de deposición sin un precalentamiento y con un precalentamiento, respectivamente. Se muestran los parámetros  $v$  y  $w$  como una función del diámetro  $D$  de la preforma. En la curva de la Fig. 3a,  $v$  y  $w$  comienzan con valores bajos, son aumentadas hasta valores máximos respectivos, y luego son reducidas hasta la terminación de la preforma 12, según el procedimiento descrito anteriormente. En la curva de la Fig. 3b, se reducen las velocidades  $v$  y  $w$  desde el inicio, comenzando desde valores máximos predeterminados.

Aunque el control de la densidad de deposición del hollín se lleva a cabo, preferentemente, al variar tanto  $v$  como  $w$ , también se podría controlar tal densidad al variar de forma oportuna la velocidad única  $v$  o la velocidad única  $w$  y mantener la otra velocidad sustancialmente constante. En este caso, se debería variar la velocidad  $v$  o la velocidad  $w$ , de manera que se controle de forma oportuna la temperatura de la preforma durante el procedimiento. Esto puede llevarse a cabo al variar la velocidad  $v$  o la velocidad  $w$ , de forma que se obtengan valores de la velocidad  $V_e$  de formación helicoidal y de la superposición  $G_s$  de las tiras helicoidales dentro de los intervalos preferentes indicados anteriormente.

### **Ejemplo 1**

El compuesto precursor fue OMCTS. El diámetro de la barra 10 de núcleo fue de 2 cm. El caudal del precursor fue tal como para generar 10 g/min de  $\text{SiO}_2$ . El caudal del gas de combustión  $\text{CH}_4$  fue de 2,5 slpm. Se mantuvieron constantes la velocidad de traslación  $v$  y la velocidad de rotación  $w$ , respectivamente a 500 mm/min y 70 vueltas/min. El tiempo total de deposición fue de 3 horas. De esta forma, se obtuvo una tasa de deposición de aproximadamente 4,8 g/min y una densidad media de aproximadamente  $1,3 \text{ g/cm}^3$ .

### **Ejemplo 2**

El tipo de precursor, el diámetro de la barra 10 de núcleo, el caudal del precursor y el caudal del gas de combustión fueron como en el ejemplo 1. Se llevó a cabo un precalentamiento de la barra 10 de núcleo y se variaron las velocidades  $v$  y  $w$  según la tendencia de la fig. 3b, por medio de funciones respectivas en rampa. Los valores

iniciales respectivos de  $v$  y  $w$  fueron de 3000 mm/min y 260 vueltas/min y los valores finales respectivos fueron de 2500 mm/min y 200 vueltas/min. De esta forma, se obtuvieron una tasa de deposición de aproximadamente 4,8 g/min y una densidad media de aproximadamente  $0,7 \text{ g/cm}^3$ .

5 Los resultados de los Ejemplos 1 y 2 muestran que, al variar las velocidades  $v$  y  $w$  de forma controlada, es posible mantener la densidad del hollín dentro de un intervalo predeterminado, que se encuentra preferentemente entre 0,4 y  $0,8 \text{ g/cm}^3$ , en el que se evitan los problemas de agrietamiento, de escisión o de generación de burbujas.

Finalmente, es evidente que se pueden llevar a cabo otras modificaciones, variaciones, sustituciones y adiciones en las realizaciones descritas anteriormente sin alejarse de ese modo del ámbito de la presente invención.

10 Por ejemplo, aunque se ha descrito el procedimiento únicamente con referencia a una distribución radial sustancialmente uniforme de hollín (es decir, una densidad del hollín dentro del intervalo especificado), la técnica de la invención puede ser aplicada para obtener una distribución de la densidad del hollín con variaciones predeterminadas. En general, el procedimiento de la invención comprende variar de forma controlada al menos una de la velocidad de rotación  $w$  y de la velocidad de traslación  $v$  (preferentemente ambas), de forma que se obtenga una variación predeterminada de la temperatura de la preforma durante el procedimiento de deposición y, por  
15 consiguiente, una distribución radial predeterminada de la densidad del hollín en la preforma. De hecho, se puede obtener una distribución radial predeterminada de la densidad del hollín al controlar las velocidades  $v$  y  $w$  como se ha descrito anteriormente, o al controlar únicamente la velocidad de traslación  $v$  o únicamente la velocidad de rotación, con la condición de que las variaciones de  $v$  y  $w$  son tales como para tener variaciones predeterminadas de las cantidades  $G_s$  y  $V_e$ .

20 De forma alternativa al procedimiento de deposición horizontal descrito anteriormente, se puede llevar a cabo el procedimiento de OVD de forma vertical, es decir, al sujetar la barra 10 de núcleo en una posición vertical y mover el quemador 11 a lo largo de una dirección vertical.

En otra realización, el quemador 11 puede tener una posición fija y la barra 10 de núcleo ser trasladada a lo largo de su eje. En este caso, se proporcionará un movimiento alternativo de la barra 10 de núcleo con respecto al quemador  
25 11, con una velocidad variable como se ha descrito anteriormente para la velocidad  $v$ .

Finalmente, el quemador 11 puede ser de un tipo adaptado para eyectar los precursores de óxido de silicio y de óxido de germanio en forma de líquido vaporizado, en vez de en forma de gas.

## REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para producir una preforma de fibra óptica, que comprende:
- formar partículas de hollín de vidrio al lanzar un chorro a presión y quemar un material de formación de vidrio y un gas combustible procedente de un quemador en presencia de oxígeno;
- 5 - depositar las partículas de hollín de vidrio sobre una barra de deposición que tiene un eje longitudinal;
- rotar la barra de deposición en torno a dicho eje con una velocidad de rotación; y
- proporcionar un movimiento alternativo al quemador con respecto a la barra de deposición en paralelo a dicho eje con una velocidad de traslación;
- 10 - variar al menos una de dicha velocidad de rotación y dicha velocidad de traslación, **caracterizado porque** la etapa de variación comprende la etapa de reducir al menos una de dicha velocidad de rotación y dicha velocidad de traslación durante la deposición de hollín mientras que aumenta el diámetro de la preforma, teniendo lugar la etapa de variación después de la terminación de una capa genérica de deposición, siendo depositadas cada una a una velocidad de rotación y a una velocidad de traslación
- 15 constantes.
2. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la densidad del hollín depositado comprende entre aproximadamente  $0,4 \text{ g/cm}^3$  y aproximadamente  $0,8 \text{ g/cm}^3$ .
3. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de variación comprende variar tanto dicha velocidad de traslación como dicha velocidad de rotación, de forma que se obtenga una distribución radial
- 20 predeterminada de densidad en la preforma.
4. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que la etapa de variación comprende aumentar al menos una de dicha velocidad de rotación y dicha velocidad de traslación hasta un valor máximo respectivo, reduciendo al menos una de dicha velocidad de rotación y dicha velocidad de traslación, hasta que se completa la preforma.
5. Un procedimiento según la reivindicación 1, que comprende, además, precalentar la barra de deposición antes de depositar las partículas de hollín de vidrio.
- 25 6. Un procedimiento según la reivindicación 5, en el que dicha etapa de variación comprende reducir de manera unívoca al menos una de dicha velocidad de rotación y dicha velocidad de traslación.
7. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el quemador está orientado en una dirección perpendicular a dicho eje.
- 30 8. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el material de formación de vidrio es eyectado como un gas.
9. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el material de formación de vidrio es eyectado como un líquido vaporizado.
10. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el material de formación de vidrio comprende OMCTS.
- 35 11. Un procedimiento según la reivindicación 1, en el que el gas combustible comprende metano.

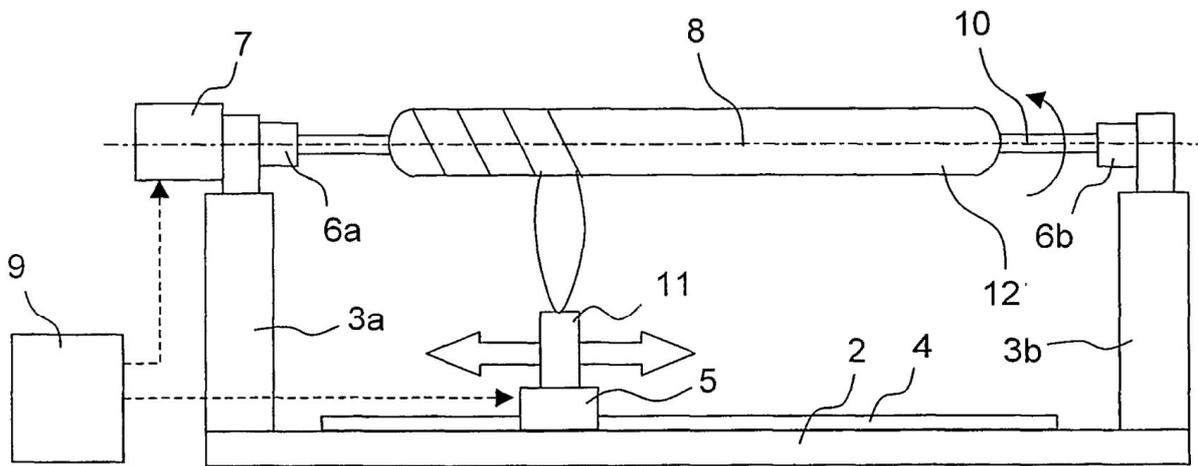


Fig. 1

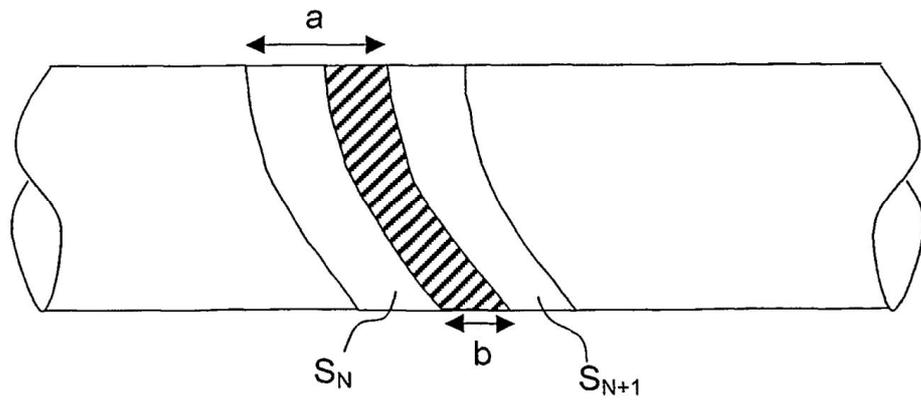


Fig. 2

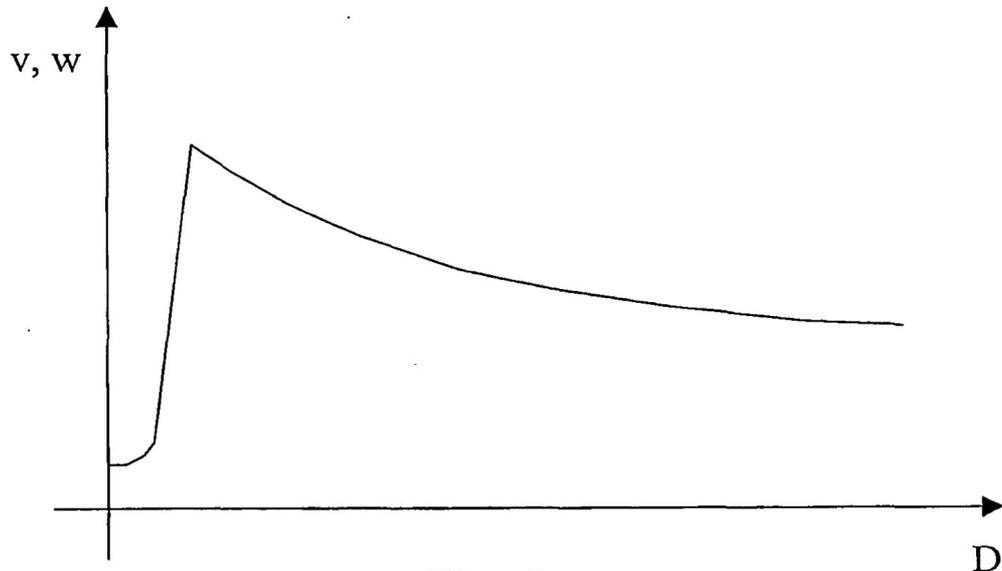


Fig. 3a

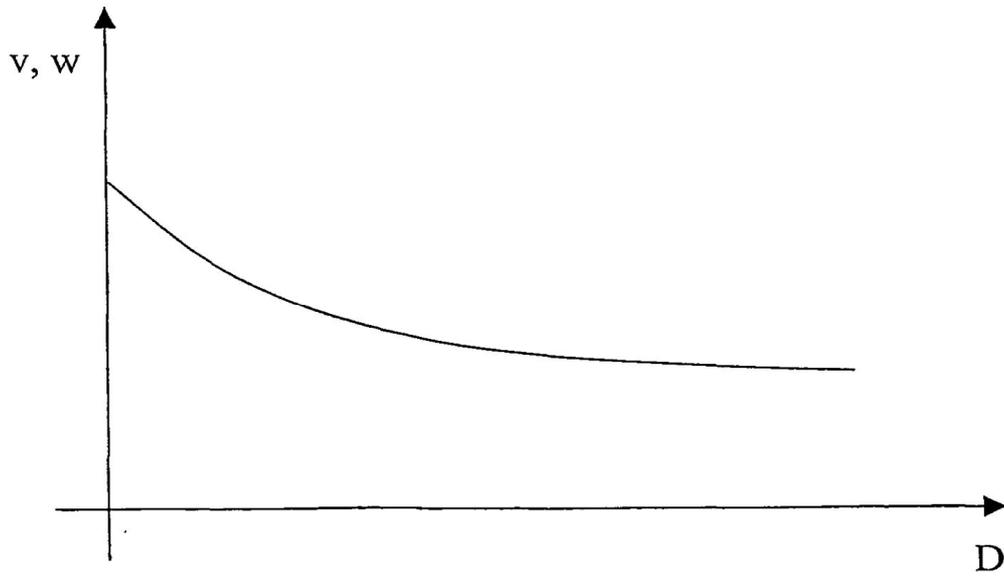


Fig. 3b