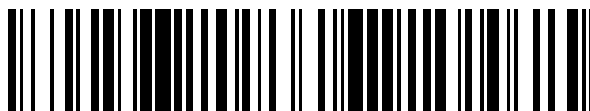


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 572 748**

51 Int. Cl.:

B29C 47/12 (2006.01)
B29D 11/00 (2006.01)
C03B 37/012 (2006.01)
C03B 37/025 (2006.01)
C03B 37/027 (2006.01)
G02B 6/02 (2006.01)
G02B 6/10 (2006.01)
B29C 47/54 (2006.01)
B29C 47/00 (2006.01)
B29L 31/60 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2006** **E 06790371 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.03.2016** **EP 1946163**

54 Título: **Fibra que contiene un nanohilo y su fabricación**

30 Prioridad:

12.10.2005 AU 2005905619
12.10.2005 AU 2005905620

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.06.2016

73 Titular/es:

ADELAIDE RESEARCH & INNOVATION PTY LTD.
(100.0%)
WYATT HOUSE (KPMG HOUSE), LEVEL 7 115
GRENFELL STREET
ADELAIDE, S.A. 5000, AU

72 Inventor/es:

MONRO, TANYA y
EBENDORFF-HEIDPRIEM, HEIKE

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 572 748 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

Fibra que contiene un nanohilo y su fabricación

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la fabricación de hilos que tienen un diámetro del orden de nanómetros.

5 Antecedentes

Los nanohilos son hilos que tienen diámetros que oscilan hasta varios cientos de nanómetros. Los nanohilos son muy sensibles al entorno y, de este modo, están adaptados a una gran cantidad de aplicaciones de detección. La geometría de la fibra forma longitudes de trayectoria ópticas muy largas y permite el uso de pequeños volúmenes de muestra.

10 Los nanohilos funcionan detectando los cambios en la luz, de modo que el nanohilo funciona como una "guía" para la luz, ya que la mayor parte de la luz está situada en el revestimiento circundante que comprende orificios llenos de aire o fluido y, por lo tanto, la luz puede interactuar con cualquier material (gases, líquidos, partículas, etc.) en los orificios. Los cambios en las propiedades del campo modal de la luz debidos a la interacción con el material se transmitirán a lo largo del nanohilo y pueden detectarse en el extremo de salida del dispositivo de nanohilo.

15 Un nanohilo tiene una mejor sensibilidad en comparación con hilos con un diámetro más grande, ya que la fracción de energía de la luz en el entorno es mucho más grande en nanohilos que en hilos con un diámetro más grande. La fracción de energía de luz más grande en el fluido que rodea los nanohilos da como resultado un mayor solapamiento de luz y fluido, lo que provoca una mejor sensibilidad de los nanohilos.

20 No obstante, los nanohilos son difíciles de fabricar. La fabricación de nanohilos en el laboratorio es un proceso que requiere una habilidad considerable, especialmente debido a que es deseable producir un hilo en el que el diámetro no varía sustancialmente a lo largo de la longitud del hilo y a que las irregularidades de la pared lateral deben mantenerse al mínimo. Las variaciones de diámetro, las irregularidades de la pared lateral y la contaminación pueden hacer que los hilos no sean adecuados para un guiado de ondas ópticas con pérdidas reducidas.

25 Para tener un amplio intervalo de aplicaciones comerciales, es deseable que los nanohilos tengan una longitud suficiente para su uso práctico. Por ejemplo, es posible que los hilos deban ser usados como detectores, integrados en una estructura que tiene unas dimensiones del orden de metros. No obstante, las técnicas conocidas para la fabricación de nanohilos dan como resultado partes muy cortas de hilo, que son de interés científico pero que tienen una viabilidad comercial limitada.

30 Un método consiste en un método de estrechamiento, tal como el descrito en Lize *et al.*, "Microstructured optical fiber photonic wires with subwavelength core diameter", Optics letters, Optical Society of America, vol. 12, 12 de julio de 2004, páginas 3209-3217. Lize *et al.* describe la disposición de una fibra óptica con unas dimensiones convencionales y el uso de una llama para calentar una parte central. A continuación, se tira de los dos extremos de la fibra separándolos entre sí mediante el uso de unos motores paso a paso. Tal como se muestra en la Figura 1 de Lize *et al.*, esto produce una fibra estrechada que tiene unas dimensiones de fibra convencionales en cada extremo pero que se estrecha para formar una parte central estrechada con unas dimensiones que son aproximadamente 1/50 de las dimensiones de los extremos. Los extremos tienen un diámetro exterior de 125 micrómetros y un núcleo de 36 micrómetros, mientras que la sección central tiene una longitud de 40 mm y tiene un diámetro exterior de 2,5 micrómetros y un núcleo de 700 nm. No obstante, un problema de este método consiste en que el mismo solamente permite producir nanohilos relativamente cortos (p. ej., con una longitud inferior a 1 m). Además, las dimensiones generales de la fibra se reducen en la parte central y, por lo tanto, las fibras resultantes son frágiles y es difícil trabajar con las mismas.

45 Una técnica conocida para la conformación de nanohilos incluye un proceso de estiramiento de dos etapas. La primera etapa comprende el uso de una llama para estirar una fibra de sílice hasta formar un hilo con un diámetro del orden de micrómetros. En segundo lugar, un extremo del hilo estirado se dispone horizontalmente en una punta estrechada (normalmente, un estrechamiento de zafiro para fibras) y la punta gira alrededor de su eje para enrollar los nanohilos de sílice. Usando esta técnica es posible obtener nanohilos con diámetros inferiores a 50 nm, no obstante, las longitudes de los hilos producidos solamente son del orden de decenas de milímetros.

50 Un problema previsto de los nanohilos más largos consiste en que, aunque son extremadamente sensibles al entorno, los mismos son frágiles y tienden a contaminarse durante su manipulación. Una manera de soportar un nanohilo consiste en encerrar el hilo en una sustancia porosa, tal como un aerogel. Esto permite manipular el hilo, no obstante, el inconveniente es que la disposición ya no es flexible, lo que limita su aplicación comercial, así como su capacidad de actuar como un detector.

55 No obstante, un nanohilo totalmente encerrado en una estructura de soporte pierde su capacidad de realizar detecciones puntuales, ya que es posible que el núcleo no esté situado suficientemente cerca de las paredes superficiales.

Un objetivo de la presente invención consiste en solucionar al menos uno de los problemas descritos anteriormente.

Resumen de la invención

Según un aspecto de la presente invención se da a conocer un método de conformación de una fibra que incorpora un nanohilo, comprendiendo el método la etapa de:

- 5 conformar una estructura de preforma que comprende una parte central soportada por una estructura de soporte y una parte exterior que rodea la parte central y la estructura de soporte,

en el que el método comprende la etapa adicional de estirar la estructura de preforma hasta que la parte central es un nanohilo, teniendo la fibra después del estiramiento una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y un tamaño de núcleo que oscila del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.
- 10 Preferiblemente, la etapa de conformar la estructura de preforma comprende introducir la parte central y la estructura de soporte en la parte exterior.

También es preferido que la etapa de conformar la estructura de preforma comprenda:

conformar una preforma principal que comprende una parte central y una estructura de soporte para soportar la parte central;
- 15 estirar la preforma principal para conformar una vara;

conformar una parte exterior que tiene una parte de alojamiento de vara para alojar la vara;

introducir la vara en la parte de alojamiento de vara para conformar una preforma secundaria; y

estirar la preforma secundaria hasta que la parte central es un nanohilo.

En una forma, la preforma principal se conforma por extrusión.
- 20 En una forma, la parte exterior se conforma para formar un espacio que conduce a la parte de alojamiento de vara.

En una forma, el espacio es un corte en forma de cuña en la parte exterior.

En otra forma, el método comprende además eliminar por ataque químico al menos una parte de la estructura de soporte expuesta al espacio para dejar al descubierto el nanohilo.

En una forma, la preforma principal se realiza a partir de un vidrio blando.
- 25 En una forma, el vidrio blando es silicato de plomo.

En otra forma, la preforma principal se realiza a partir de un polímero.

Según otro aspecto de la presente invención, se da a conocer una fibra que contiene un nanohilo, comprendiendo la fibra:

una parte exterior que define la superficie exterior de la fibra, caracterizada por que la fibra comprende además:
- 30 un nanohilo en el interior de la parte exterior; y

una estructura de soporte entre la parte exterior y el nanohilo que soporta el nanohilo, teniendo la fibra una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y un tamaño de núcleo que oscila del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.

En una forma, la fibra comprende además al menos una región de revestimiento que rodea el nanohilo.
- 35 En una forma, la estructura de soporte comprende al menos un tirante que se extiende radialmente desde la parte central.

En una forma, el al menos un tirante finaliza en una parte de pared que forma un perímetro de la estructura de soporte.
- 40 En otra forma, la estructura de soporte comprende cuatro tirantes que se extienden radialmente desde la parte central.

En una forma, la parte de pared define un cuadrado en sección transversal.

En una forma, la parte exterior comprende un corte para acceder a una parte de la parte de pared.

En otra forma, la parte de pared define tres lados de un cuadrado en sección transversal.

En una forma, el corte tiene forma de cuña.

En algunas realizaciones de la presente invención, la no linealidad del nanohilo aumenta rodeando el nanohilo con un fluido no lineal.

- 5 En una forma, el nanohilo se rodea con una estructura de soporte y una parte exterior que definen al menos un canal en comunicación de fluidos con el nanohilo, comprendiendo la etapa de rodear el nanohilo con el fluido no lineal introducir el fluido no lineal en el al menos un canal.

En una forma, el fluido no lineal es disulfuro de carbono.

- 10 Según otro aspecto de la presente invención, se da a conocer un detector que comprende una fibra según la presente invención para detectar al menos un parámetro de un entorno presente en la al menos una región de revestimiento.

En algunas realizaciones del método de la presente invención, en las que la fibra incorpora una pluralidad de nanohilos, la etapa de conformar la estructura de preforma comprende:

- 15 conformar una preforma principal que comprende una pluralidad de partes centrales y una estructura de soporte para soportar la pluralidad de partes centrales;

estirar la preforma principal para conformar una vara;

conformar una parte exterior que tiene una parte de alojamiento de vara para alojar la vara;

introducir la vara en la parte de alojamiento de vara para conformar una preforma secundaria;

- 20 y la etapa de estirar la estructura de preforma hasta que la parte central es un nanohilo comprende estirar la preforma secundaria hasta que la pluralidad de partes centrales son nanohilos, teniendo la fibra una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y tamaños de núcleo que oscilan del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.

En una forma, la preforma principal se conforma por extrusión.

En una forma, la parte exterior se conforma para formar un espacio que conduce a la parte de alojamiento de vara.

En una forma, el espacio es un corte en forma de cuña en la parte exterior.

- 25 En una forma, el método comprende además eliminar por ataque químico al menos una parte de la estructura de soporte expuesta al espacio para dejar al descubierto al menos uno de los nanohilos.

En una forma, la preforma principal se realiza a partir de un vidrio blando.

En una forma, el vidrio blando es silicato de plomo.

En otra forma, la preforma principal se realiza a partir de un polímero.

- 30 En algunas realizaciones de la presente invención, la fibra puede contener una pluralidad de nanohilos.

En una forma, el número de nanohilos es 2.

En otra forma, el número de nanohilos es 3.

En algunas realizaciones de la presente invención, la fibra comprende un nanohilo con una longitud superior a 10 mm.

- 35 En otra forma, el nanohilo tiene una longitud de aproximadamente 1 km.

En otra forma, el nanohilo tiene una longitud de aproximadamente 10 km.

- 40 En la totalidad de la presente memoria descriptiva, a no ser que el contexto lo requiera de otro modo, se entenderá que las palabras 'comprender' e 'incluir' y variantes tales como 'que comprende/n' y 'que incluye/n' implican la inclusión de un entero o grupo de enteros específico, aunque no la exclusión de cualquier otro entero o grupo de enteros.

La referencia a cualquier técnica anterior en la presente memoria descriptiva no se interpretará ni debería interpretarse como un reconocimiento o cualquier forma de sugerencia de que dicha técnica anterior forma parte del conocimiento general común.

A continuación se describirá de forma más detallada una realización específica de la invención, haciendo referencia a las figuras que se acompañan y tal como se muestra en las mismas. Esta realización es ilustrativa y no se pretende que sea limitativa del alcance de la invención. Es posible incluir sugerencias y descripciones de otras realizaciones dentro del alcance de la invención aunque es posible que las mismas no estén ilustradas en las figuras que se acompañan o, de forma alternativa, es posible mostrar características de la invención en las figuras aunque no estén descritas en la presente memoria descriptiva.

Breve descripción de las figuras

En las figuras que se acompañan se muestra una realización de la invención, y en las mismas:

- la Figura 1A es una vista en sección transversal de una preforma principal para usar en la presente invención;
- 10 la Figura 1B es una vista en sección transversal de una forma alternativa de la preforma principal de la Figura 1A;
- la Figura 1C es una vista en perspectiva de la preforma principal de la Figura 1A;
- la Figura 2 es una vista en perspectiva de una vara que se corresponde con la preforma principal de la Figura 1A;
- la Figura 3A es una vista en sección transversal de una estructura alternativa de la preforma principal de la Figura 1A que muestra dos partes centrales;
- 15 la Figura 3B es una vista en sección transversal de una estructura alternativa de la preforma principal de la Figura 3B;
- la Figura 3C es una vista en sección transversal de una estructura alternativa de la preforma principal, que tiene tres partes centrales;
- 20 la Figura 3D es una vista en sección transversal de una estructura alternativa de la preforma principal, que tiene cuatro partes centrales;
- la Figura 4A es una vista en sección transversal de la parte exterior o camisa de vara para usar en la presente invención;
- la Figura 4B es una vista en perspectiva de la parte exterior o camisa de vara de la Figura 2A;
- la Figura 5 es una vista en perspectiva de la preforma secundaria para usar en la presente invención;
- 25 la Figura 6 muestra la fibra completa que contiene el nanohilo según un aspecto de la presente invención, mostrándose varias vistas ampliadas;
- la Figura 7A muestra la fibra completa de la Figura 6 con una parte de pared eliminada por ataque químico;
- la Figura 7B muestra la fibra completa de la Figura 7A con dos tirantes también eliminados por ataque químico;
- 30 la Figura 8 muestra un diagrama de flujo de un método de conformación de un nanohilo según un aspecto de la presente invención; y
- la Figura 9 muestra un diagrama de flujo de otro método de conformación de un nanohilo según otro aspecto de la presente invención.

Descripción detallada

- 35 Según un aspecto de la presente invención, en primer lugar se conforma una preforma principal con las estructuras necesarias en la misma. La Figura 1A es una vista en sección transversal de una preforma principal 10 que comprende una estructura de soporte que tiene unas paredes 12 y unos tirantes 14 que rodean una parte central 16. Se entenderá que no se pretende que el término "parte central" indique el centro geométrico o matemático, sino que se refiere a la región o elementos soportados por la estructura de soporte, pudiendo estar desplazados con respecto al centro, y, de hecho, puede referirse a una de varias 'partes centrales' adicionales. La estructura de soporte y la
- 40 la parte central también pueden definir un revestimiento o unos canales 18 de aire que discurren a lo largo del eje longitudinal de la preforma principal 10. El objetivo de los mismos se describirá de forma más detallada a continuación. Se entenderá que no es fundamental disponer regiones de revestimiento.

- 45 En una forma, la preforma principal 10 se conforma extruyendo una pieza de material adecuado a través de una matriz diseñada de forma adecuada. Los materiales adecuados para conformar la preforma principal incluyen polímeros y vidrios blandos, tales como fluoruro, óxidos de metal pesados, calcogenuros y otros tipos de vidrio. En una realización específica, el material es vidrio blando, tal como silicato de plomo, que pasa a través de la matriz a una temperatura de 520 °C y a una velocidad de émbolo fija de 0,2 mm/min.

En otras formas de la invención, es posible conformar la preforma principal 10 mediante otros métodos, incluyendo moldeo, colada, perforación, apilamiento o incluso montaje manual.

La anchura de la preforma principal de la Figura 1A es de aproximadamente 25 mm, no obstante, la anchura puede tener cualquier dimensión adecuada, oscilando de aproximadamente 5 mm a 50 mm (no estrictamente) o más, y la misma puede estar entre 10 mm y 20 mm, entre 15 mm y 25 mm, entre 20 mm y 30 mm, entre 25 mm y 40 mm, entre 30 mm y 50 mm o más y, al ser conformada por extrusión, dependerá de las dimensiones de la matriz a través de la que es extrudida la preforma.

De forma similar, el diámetro de la parte central 16 puede variar según se desee y, en un ejemplo, el mismo es de aproximadamente 2 mm.

Una matriz y un método de extrusión adecuados se describen de forma detallada en una solicitud en trámite simultáneo titulada: "Method and device for forming micro-structured fibre", que reivindica la prioridad de la solicitud de patente provisional australiana número 2005905620, presentada el 12 de octubre de 2005.

Se entenderá que es posible usar cualquier número de tirantes adecuado en la preforma principal 10. Por ejemplo, es posible usar tres tirantes en vez de usar cuatro. De hecho, el número de tirantes podría ser 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 o más. Además, no es necesario que la preforma principal tenga una sección transversal con una forma cuadrada, sino que podría tener cualquier forma deseada. Por ejemplo, la sección transversal puede ser circular, triangular, rectangular, pentagonal, hexagonal, heptagonal, octagonal, etc., o puede tener una forma irregular. Otra opción también consiste en que los tirantes tengan una forma diferente a lo mostrado en la Figura 1A, por ejemplo, los tirantes pueden estar curvados, definiendo de este modo un revestimiento o unos canales de aire con una sección transversal sustancialmente semicircular. La Figura 1B muestra un ejemplo de una estructura de este tipo. También es posible usar cualquier otra forma, incluyendo una forma de cuña o con lados irregulares. También es posible usar cualquier combinación de las mismas; de hecho, no es necesario que cada tirante individual tenga la misma forma.

La Figura 1C es una vista en perspectiva de la preforma principal 10 que muestra la estructura tridimensional de la preforma mostrada en la Figura 1A.

Una vez conformada, el tamaño de la preforma principal 10 se reduce en una torre de estiramiento para formar una vara 20, tal como se muestra en la Figura 2. La acción del estiramiento y el uso de torres de estiramiento son bien conocidos en la técnica para conformar fibras, y no es necesario describir en la presente memoria los detalles correspondientes. En este ejemplo específico, la velocidad de desplazamiento de la preforma para introducirla en la zona caliente del horno de la torre de estiramiento es del orden de varios mm/min y, por ejemplo, de 0,5 a 3/min, mientras que la velocidad de estiramiento, que se refiere a la velocidad a la que el material sale de la zona caliente, es del orden de cientos o miles de mm/min, por ejemplo, de 10 a 20 m/min. Por ejemplo, con los valores ilustrativos de dimensiones de la preforma mencionados anteriormente, es posible obtener una anchura de vara de aproximadamente 1 mm, con un diámetro de núcleo de aproximadamente 77 micrómetros. La Figura 2 muestra una parte de un tramo de la vara 20 (no dibujado a escala). Se entenderá que la vara tiene sustancialmente la misma topología que la preforma principal (aunque pueden existir variaciones en la forma y en la dimensión debido a una disminución del tamaño de la estructura durante el proceso de formación de la vara).

Tal como se ha descrito anteriormente, otra opción consiste en que la preforma principal 10 tenga dos (o más) partes centrales 16a y 16b (por ejemplo, con cada parte central desplazada con respecto al centro geométrico de la preforma principal 10, aunque formando el centro de una estructura de tirante independiente). Las figuras 3A a 3D muestran secciones transversales de preformas principales con una pluralidad de partes centrales. En la Figura 3A los tirantes 14 están dispuestos de modo que las dos partes centrales 16a y 16b están unidas entre sí. En la Figura 3B los tirantes 14 están dispuestos de modo que las dos partes centrales 16a y 16b no están unidas entre sí. También es posible producir mediante una matriz u otra técnica adecuada una preforma principal con tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, nueve, diez o más partes centrales dispuestas en una geometría adecuada.

La Figura 3C muestra una sección transversal de preforma principal 10 que tiene tres partes centrales 16a, 16b y 16c. Debe observarse que, en este ejemplo, la preforma principal 10 tiene una periferia triangular, aunque podría tener cualquier otra forma adecuada. En la Figura 3D la preforma principal 10 tiene cuatro partes centrales 16a, 16b, 16c y 16d. Esta preforma tiene una periferia semicircular.

Una ventaja de tener más de una parte central consiste en que la presencia de múltiples partes centrales permite la formación de nanohilos múltiples (descritos de forma más detallada más adelante). De este modo, es posible usar cada nanohilo como un detector independiente o como detectores conectados y, si así se desea, cada detector de nanohilo podría tener características espectrales diferentes. De forma alternativa, un nanohilo podría funcionar como una guía para luz en una dirección y otro nanohilo podría funcionar como una guía de retorno para la luz.

La Figura 4A es una vista en sección de una camisa de vara o parte exterior 22 que también puede ser conformada por extrusión a través de una matriz diseñada de forma adecuada, usando una temperatura y una velocidad similares a las de la extrusión de la preforma principal. Por supuesto, es posible usar cualquier otro método, p. ej.,

colada, perforación o moldeo. La camisa puede ser conformada a partir de los mismos materiales descritos anteriormente haciendo referencia a la preforma principal o a partir de materiales diferentes en caso adecuado.

La camisa 22 de vara tiene una parte 24 de alojamiento de vara que forma un canal longitudinal que discurre a lo largo del eje longitudinal de la camisa de vara. Este canal longitudinal puede observarse más claramente en la Figura 4B, que es una vista en perspectiva de la camisa 22 de vara de la Figura 4A.

La parte 24 de alojamiento de vara está dispuesta en el interior de un espacio que, en una realización, es un corte 26 en forma de cuña. El corte en forma de cuña permite introducir la vara 20 manualmente en la camisa, conformándose de este modo una unidad de preforma o preforma secundaria 28, tal como se muestra en la Figura 5. La Figura 5 es una vista en perspectiva de una unidad 28 de preforma que muestra una vara 20 dispuesta en el interior de la camisa 22 de vara. De forma alternativa, la vara 20 puede introducirse por deslizamiento en la parte de alojamiento de vara por un extremo.

Una opción consiste en preparar como una preforma integral una estructura similar a la unidad 28 de preforma, en vez de conformarla a partir de dos partes preparadas por separado que se unen posteriormente, tal como se ha descrito anteriormente. No obstante, teniendo en cuenta que las dimensiones de la vara 20 son relativamente pequeñas (es decir, la anchura de la vara es de 1 mm), es preferible estirar la vara a partir de una preforma principal macroscópica, ya que esto asegura que las dimensiones permanecen consistentes a lo largo de la longitud de la vara. Sin embargo, es posible obtener estructuras complicadas mediante una vara y una camisa de vara integrales por extrusión, por ejemplo, usando una matriz tal como se describe en la referencia mencionada anteriormente titulada "Method and Device for Forming Microstructured Fibre".

Tal como se ha mencionado anteriormente, otra opción consiste en que la preforma principal 10 tenga una sección transversal diferente a una sección transversal cuadrada. En este caso, la parte 24 de alojamiento de vara de la camisa 22 tendría una forma correspondiente para encajar de forma ajustada la vara 20 en la parte de alojamiento. Por ejemplo, si la vara 20 tuviese una sección transversal circular, la parte de alojamiento de vara de la camisa 22 podría tener forma de semicírculo. Si la vara 20 tuviese una forma triangular, la parte de alojamiento de vara también podría tener una forma triangular.

En una realización, la camisa de vara tiene un diámetro exterior de aproximadamente 23 mm y la parte de alojamiento de vara tiene una longitud de borde a borde interior de aproximadamente 1,3 mm. Nuevamente, sería posible usar cualesquiera otras dimensiones adecuadas, tal como resultará comprensible para un experto en la técnica.

Una vez montada, la unidad de preforma o preforma secundaria 28 se estira en una torre de estiramiento para crear una fibra 30 que tiene un núcleo 31 (Figura 6). La combinación de una velocidad de entrada de la preforma de varios mm/min, por ejemplo, de 0,5 a 3 mm/min, y una velocidad de estiramiento de decenas de m/min, por ejemplo, de 10 a 20 m/min, permite reducir el tamaño de la unidad de preforma a fibras con una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y con un tamaño de núcleo de cientos de nanómetros. En el caso de las dimensiones ilustrativas mencionadas anteriormente haciendo referencia a la unidad de preforma, esto dará como resultado una fibra estirada que tiene un diámetro exterior de aproximadamente 150 micrómetros y un diámetro de núcleo de aproximadamente 0,5 micrómetros. La longitud de la fibra y del nanohilo producidos en este ejemplo es de aproximadamente 1 km.

Los nanohilos producidos según los diversos aspectos de la presente invención permiten obtener longitudes mucho mayores que las que es posible obtener en la actualidad. La longitud del nanohilo producido de manera unitaria puede oscilar de decenas de milímetros a cientos de kilómetros de longitud. Por ejemplo, el nanohilo puede tener una longitud de 5 mm a 10 mm, de 1 cm a 5 cm, de 5 cm a 10 cm, de 10 cm a 20 cm, de 20 cm a 50 cm, de 50 cm a 75 cm, de 75 cm a 100 cm, de 100 cm a 250 cm, de 200 cm a 500 cm, de 500 cm a 1000 cm, de 1 km a 1,5 km, de 2 km a 5 km, de 5 km a 10 km, de 10 km a 50 km, de 50 km a 100 km o de 100 km a 200 km.

Se entenderá que la fibra 30 tiene sustancialmente la misma topología que la unidad 28 de preforma, no obstante, las dimensiones de sección transversal se reducen sustancialmente. Lo más importante es que la parte central 16 de la preforma principal 10 tiene en ese momento una anchura del orden de nanómetros, obteniéndose de este modo el nanohilo 32.

El nanohilo 32 está soportado por la estructura de soporte o las paredes 12, que definen alrededor del hilo un revestimiento o unos canales 18 de aire. En uso, una parte sustancial de la luz guiada estará situada en los canales 18 de aire que rodean el nanohilo 32, actuando el nanohilo como una guía en vez de hacerlo como una tubería para la luz. La estructura 12 de soporte también está soportada por la camisa 22, que permite manipular el nanohilo 32 como una fibra tradicional. La integridad estructural que la camisa exterior otorga al nanohilo significa que los problemas de fragilidad y contaminación que constituían inconvenientes en los nanohilos fabricados anteriormente se eliminan en cierto modo.

En la Figura 6 puede observarse claramente la parte de la estructura de soporte o pared 12 expuesta al aire circundante, indicándose como la pared 34. La pared 34 puede ser eliminada por ataque químico usando disolventes

orgánicos (p. ej., acetona) en el caso de polímeros o ácidos inorgánicos (p. ej., ácido nítrico, sulfúrico o fluorhídrico) en el caso de vidrios blandos para dejar al descubierto una parte del nanohilo 32 con respecto a la atmósfera circundante. El ataque químico a un tramo continuo de fibra permitirá obtener sensibilidad al entorno a lo largo del tramo de la fibra (con la excepción de los extremos, estando conectado uno de los mismos en última instancia a una fuente de luz y estando conectado el otro extremo en última instancia a un detector). De forma alternativa, es posible atacar químicamente de manera selectiva según se desee partes de la pared 34 para permitir un acceso localizado al núcleo 31 de la fibra 30.

Una opción consiste en que el corte 26 en forma de cuña tenga cualquier forma que permita acceder al núcleo 31 de la fibra 30. Por ejemplo, la parte cortada de la camisa 22 podría ser una ranura con unos lados que son sustancialmente paralelos entre sí.

El núcleo expuesto de la fibra soluciona el problema de los nanohilos soportados cuya sensibilidad se ve comprometida por el soporte. En esta disposición, el nanohilo está soportado y es sensible, ya que el núcleo está situado lo más cerca posible de la superficie.

Se entenderá que los tirantes 14 pueden estar dispuestos para que, una vez una parte de la estructura 12 de soporte se elimina por ataque químico, no todo el núcleo 31 de la fibra 30 quede expuesto, p. ej., para que solamente un canal 18 de aire (ver Figura 1A) quede expuesto al aire circundante. Los canales de aire restantes permanecen aislados, lo que reduce la contaminación del núcleo. La Figura 7A muestra esta disposición, en la que la pared 34 se ha eliminado por ataque químico o se ha eliminado de otro modo, dejando el canal 18 y, por lo tanto, el nanohilo 32, parcialmente expuesto al entorno. Esto deja los tres canales 18 restantes aislados con respecto al entorno.

Por supuesto, también se entenderá que es posible realizar el ataque químico de manera que no solamente la pared 34, sino también los dos tirantes en el extremo de la pared 34, sean atacados químicamente total o parcialmente, de modo que el fluido a detectar pueda acceder a tres canales de aire. En este caso, el núcleo solamente estará soportado por dos tirantes, tal como se muestra en la Figura 7B. En esta disposición, un canal 18 permanece aislado con respecto al entorno.

Otra opción consiste en preparar una vara 20 exenta de una o más paredes, de modo que, al incorporarse en la camisa 22, el hilo queda al descubierto sin que sea necesario realizar un ataque químico. No obstante, el ataque químico a una pared una vez la fibra está conformada (tal como se ha descrito anteriormente) reduce la exposición del nanohilo al entorno circundante antes de usar la fibra, reduciendo de este modo la contaminación.

Aunque no es fundamental, podría ser útil tener uno o más canales "aislados" para permitir la introducción y el aislamiento de diferentes fluidos. Esto puede resultar útil para permitir obtener una detección diferencial entre dos entornos diferentes o para usar uno de los canales para alojar un fluido de referencia para obtener una referencia interna.

En un aplicación, es posible usar los materiales (gases, líquidos, partículas, etc.) introducidos en los canales para aumentar la no linealidad del detector que forma la estructura según los diversos aspectos de la presente invención. De forma específica, se ha comprobado que la introducción de un fluido no lineal, tal como disulfuro de carbono (CS₂), en los canales mejora significativamente el coeficiente no lineal efectivo de los nanohilos de vidrio blando y de las fibras de micro-estructura con núcleos de nanohilo como los descritos en la presente invención.

Esta aplicación se describe de forma más detallada en la publicación titulada "Nonlinearity of filled microstructured fibres operating in the nanowire regime" KJ. Rowland, Shahrām Afshar V, T.M. Monroe; Optical Fiber Communication Conference (OFC2006), Anaheim 5-10 de marzo de 2006, documento OThH4, 2006. No se considera que este documento pertenezca al estado de la técnica según el artículo 54 (2) EPC.

En otras aplicaciones, sería posible obtener información útil excitando uno o más materiales en el interior de los canales para hacer que los mismos emitan energía (o tengan una emisión fluorescente) en el propio nanohilo, lo que puede ser detectado en un extremo del nanohilo/estructura de fibra y ser analizado.

Dentro del alcance de la presente invención también se incluye producir un nanohilo simplemente estirando la estructura de vara mostrada en la Figura 2 hasta que la parte central tiene unas dimensiones deseadas para funcionar como un nanohilo. De hecho, dentro del alcance de un aspecto de la presente invención se incluye conformar el nanohilo estirando directamente la preforma.

Dentro del alcance de la presente invención también se incluye conformar un nanohilo totalmente expuesto. Esto puede llevarse a cabo de diversas maneras, incluyendo conformar el nanohilo encerrado según los diversos aspectos de la presente invención y atacar químicamente o disolver de otro modo la parte exterior o camisa y la estructura de soporte para dejar al descubierto el nanohilo interno. En este caso, la parte central puede estar constituida por un material diferente al de la estructura de soporte y al de la parte exterior para facilitar la eliminación selectiva del material alrededor del nanohilo. De forma alternativa, la estructura de soporte podría ser eliminada totalmente por ataque químico para permitir separar la parte exterior y el nanohilo.

Por supuesto, si el nanohilo se conforma simplemente estirando la vara, sin usar la parte exterior (o camisa de vara), tal como se ha descrito anteriormente, solamente será necesario disolver la estructura de soporte para dejar el nanohilo totalmente al descubierto.

5 La Figura 8 es un diagrama de flujo que muestra diversas etapas según un método descrito anteriormente. En la etapa 100, la preforma principal mostrada en las Figuras 1A y 1C se conforma mediante cualquier medio adecuado, tal como mediante extrusión. En la etapa 102 esta preforma principal se estira para conformar una vara como la mostrada en la Figura 2. En la etapa 102, la vara se introduce en una camisa de vara, tal como se muestra en la Figura 5, para formar una unidad de preforma. A continuación, en la etapa 103, la unidad de preforma se estira hasta que la misma alcanza las dimensiones deseadas y, de forma específica, hasta que la parte o partes centrales alcanzan las dimensiones de un nanohilo, tal como se ha descrito anteriormente y tal como se muestra en la Figura 6.

10 El artículo resultante es una fibra que contiene en su interior un nanohilo. En una etapa opcional posterior, mostrada como etapa 104 (en línea discontinua), al menos una parte de la fibra se elimina por ataque químico o se elimina de otro modo para dejar al descubierto una parte del nanohilo para usar en aplicaciones tales como detección. Por supuesto, se entenderá que, en algunas aplicaciones, tales como, por ejemplo, comunicaciones ópticas, puede ser deseable encerrar totalmente el nanohilo en la fibra y, por lo tanto, no se llevará a cabo ningún ataque químico o eliminación. Una opción también puede consistir en eliminar totalmente la fibra para dejar el nanohilo totalmente al descubierto para otras aplicaciones según se desee.

15 La Figura 9 muestra un método alternativo de conformación de una fibra que contiene un nanohilo. En este método, en la etapa 200, la preforma principal mostrada en la Figura 1 se conforma mediante cualquier medio adecuado y, en la etapa 201, esta preforma principal se estira y sigue estirándose hasta que se obtienen las dimensiones deseadas, por ejemplo, hasta que la parte o partes centrales alcanzan las dimensiones de un nanohilo.

20 También se entenderá que un operario específico podría llevar a cabo uno o más aspectos de la invención en etapas diferentes. Por ejemplo, un operario podría conformar la preforma principal, otro operario podría recibir la preforma principal conformada previamente del primer operario y estirla hasta formar una vara o directamente hasta formar una fibra que contiene el nanohilo, otro operario podría recibir la vara y estirla hasta formar una fibra que contiene un nanohilo y otro operario podría atacar químicamente a continuación la fibra que contiene el nanohilo según se desee, dependiendo de la aplicación prevista.

Se pretende que la presente solicitud cubra todas las combinaciones de estos métodos.

25 Los nanohilos y las fibras producidos según los diversos aspectos de la invención pueden tener numerosas aplicaciones, incluyendo, aunque no de forma limitativa, detectores para usar en aplicaciones científicas, médicas, militares/de defensa y comerciales; pantallas para productos electrónicos, tales como ordenadores, asistentes digitales personales (PDA), teléfonos móviles; pantallas y detectores para cámaras y teléfonos con cámara; almacenamiento óptico de datos; comunicaciones ópticas; procesamiento óptico de datos; semáforos; grabado y aplicaciones de láser.

30 Los expertos en la técnica entenderán que el uso de la invención no se limita a la aplicación específica descrita. La presente invención no está limitada en su realización preferida en lo que respecta a los elementos y/o características específicos descritos o mostrados en la presente memoria.

REIVINDICACIONES

1. Método de conformación de una fibra (30) que incorpora un nanohilo (32), comprendiendo el método la etapa de:
conformar una estructura de preforma que comprende una parte central (16) soportada por una estructura (12, 14) de soporte y una parte exterior (22) que rodea la parte central (16) y la estructura (12, 14) de soporte,
5 caracterizado por que el método comprende la etapa adicional de estirar la estructura de preforma hasta que la parte central (16) es un nanohilo (32), teniendo la fibra (30) después del estiramiento una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y un tamaño de núcleo (31) que oscila del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de conformar la estructura de preforma comprende introducir la parte central (16) y la estructura (12, 14) de soporte en la parte exterior (22).
- 10 3. Método de conformación de una fibra (30) que incorpora un nanohilo (32) según la reivindicación 2, en el que la etapa de conformar la estructura de preforma comprende:
conformar (100) una preforma principal (10) que comprende una parte central (16) y una estructura de soporte para soportar la parte central (16);
estirar (101) la preforma principal (10) para conformar una vara (20);
15 conformar una parte exterior (22) que tiene una parte (24) de alojamiento de vara para alojar la vara (20);
introducir (102) la vara (20) en la parte (24) de alojamiento de vara para conformar una preforma secundaria (28);
y en el que la etapa de estirar la estructura de preforma hasta que la parte central (16) es un nanohilo comprende:
estirar (103) la preforma secundaria (28) hasta que la parte central (16) es un nanohilo, teniendo la fibra después del
20 estiramiento una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y un tamaño de núcleo que oscila del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.
4. Método según la reivindicación 3, en el que la preforma principal (10) se conforma por extrusión.
5. Método según la reivindicación 3, en el que la parte exterior (22) se conforma para formar un espacio que conduce a la parte (24) de alojamiento de vara.
6. Método según la reivindicación 5, en el que el espacio es un corte (26) en forma de cuña en la parte exterior (22).
- 25 7. Método según la reivindicación 5, en el que el método comprende además eliminar por ataque químico (104) al menos una parte de la estructura (12, 14) de soporte expuesta al espacio para dejar al descubierto el nanohilo (32).
8. Método según la reivindicación 3, en el que la preforma principal (10) se realiza a partir de un vidrio blando.
9. Método de conformación de una fibra (30) que incorpora un nanohilo (32) según una cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8, en el que la fibra (30) incorpora una pluralidad de nanohilos (32) y la etapa de conformar la
30 estructura de preforma comprende:
conformar una preforma principal (10) que comprende una pluralidad de partes centrales (16) y una estructura (12, 14) de soporte para soportar la pluralidad de partes centrales (11);
estirar la preforma principal (10) para conformar una vara (20);
conformar una parte exterior (22) que tiene una parte (24) de alojamiento de vara para alojar la vara (20);
35 introducir la vara (20) en la parte (24) de alojamiento de vara para conformar una preforma secundaria (28); y
en el que la etapa de estirar la estructura de preforma hasta que la parte central (16) es un nanohilo (32) comprende estirar la preforma secundaria (28) hasta que la pluralidad de partes centrales (10) son nanohilos, teniendo la fibra una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y tamaños de núcleo (31) que oscilan del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.
- 40 10. Fibra (30) que contiene un nanohilo (32), comprendiendo la fibra (30) una parte exterior (22) que define la superficie exterior de la fibra (30), caracterizada por que la fibra (30) comprende además:
un nanohilo (32) en el interior de la parte exterior (22); y
una estructura (12, 14) de soporte entre la parte exterior (22) y el nanohilo (32) que soporta el nanohilo, teniendo la
45 fibra (30) una anchura exterior de 100 a 200 micrómetros y un tamaño de núcleo (31) que oscila del orden de nanómetros a cientos de nanómetros.

11. Fibra (30) según la reivindicación 10, que comprende además al menos una región de revestimiento que rodea el nanohilo (32).
12. Fibra (30) según la reivindicación 10, en la que la estructura (12, 14) de soporte comprende al menos un tirante (14) que se extiende radialmente desde una parte central (16).
- 5 13. Fibra (30) según la reivindicación 12, en la que el al menos un tirante (14) finaliza en una parte (34) de pared que forma un perímetro de la estructura (12, 14) de soporte.
14. Fibra (30) según la reivindicación 13, en la que la parte exterior (22) comprende un corte para acceder a una parte de la parte (34) de pared.
- 10 15. Fibra (30) según la reivindicación 13, en la que la parte (34) de pared define tres lados de un cuadrado en sección transversal.

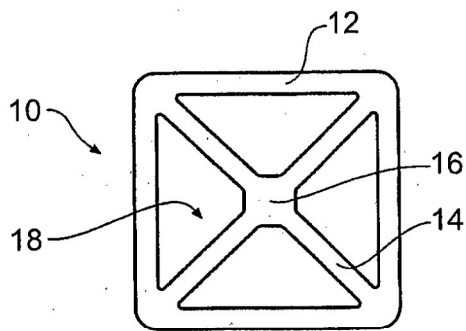


Fig 1A

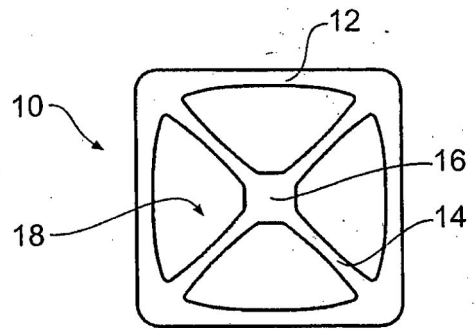


Fig 1B

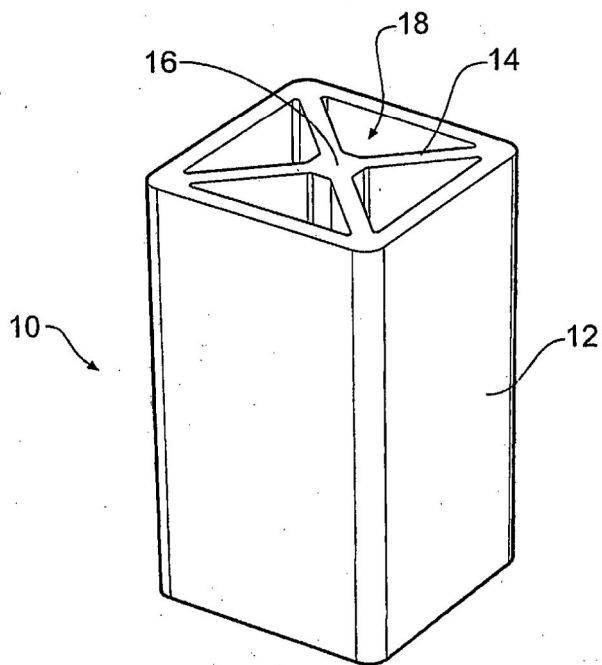


Fig 1C

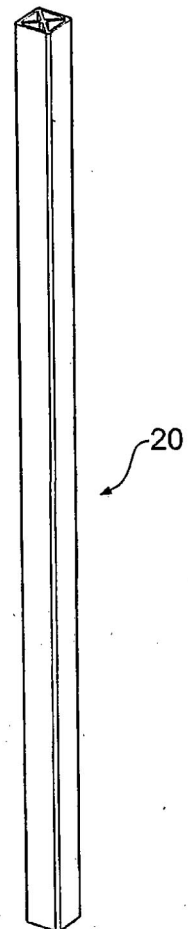


Fig 2

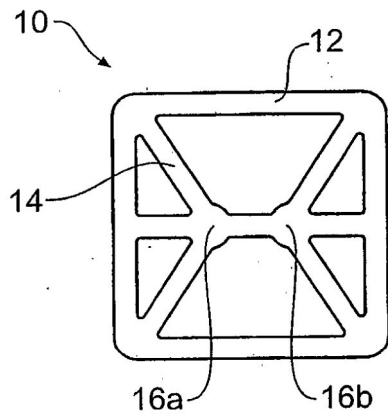


Fig 3A

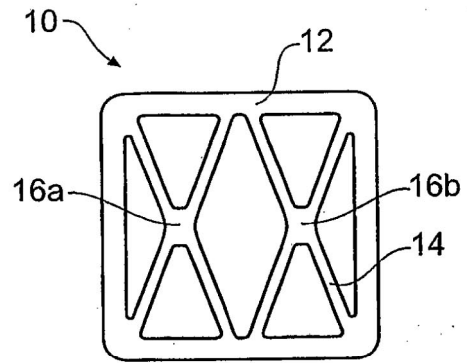


Fig 3B

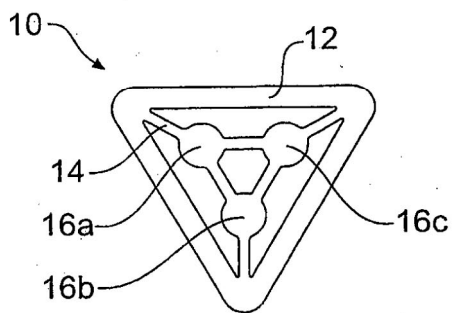


Fig 3C

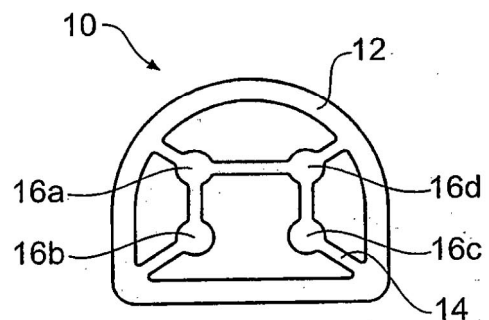


Fig 3D

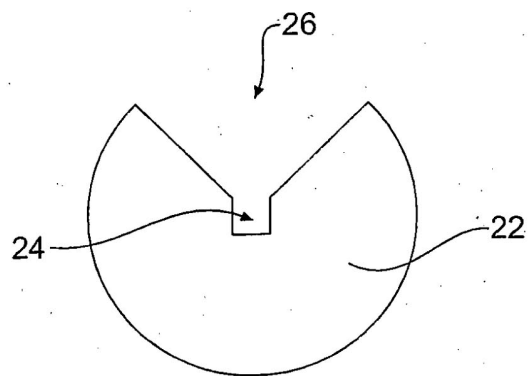


Fig 4A

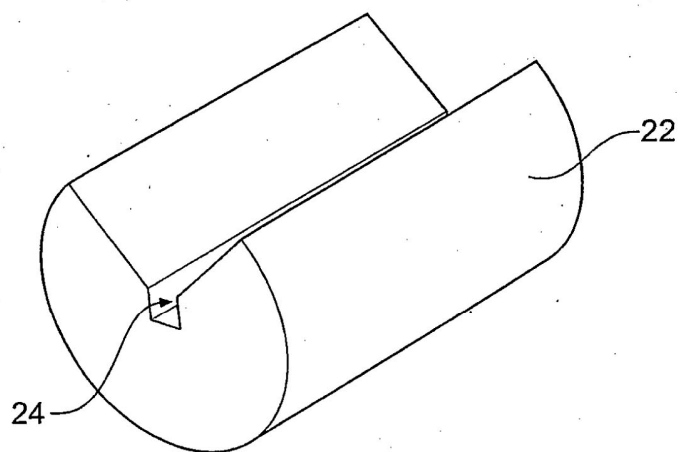


Fig 4B

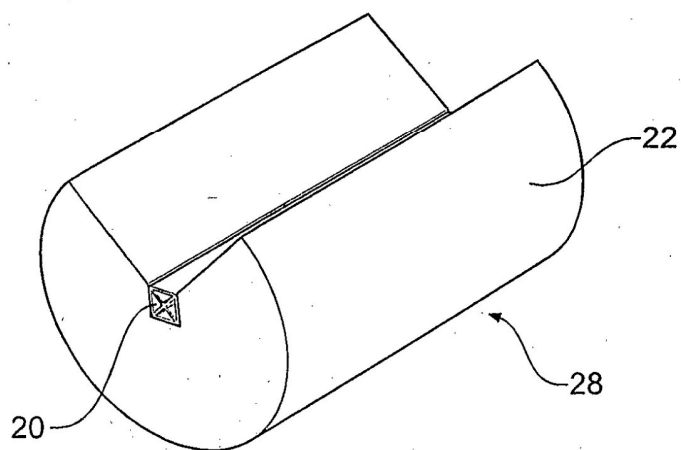


Fig 5

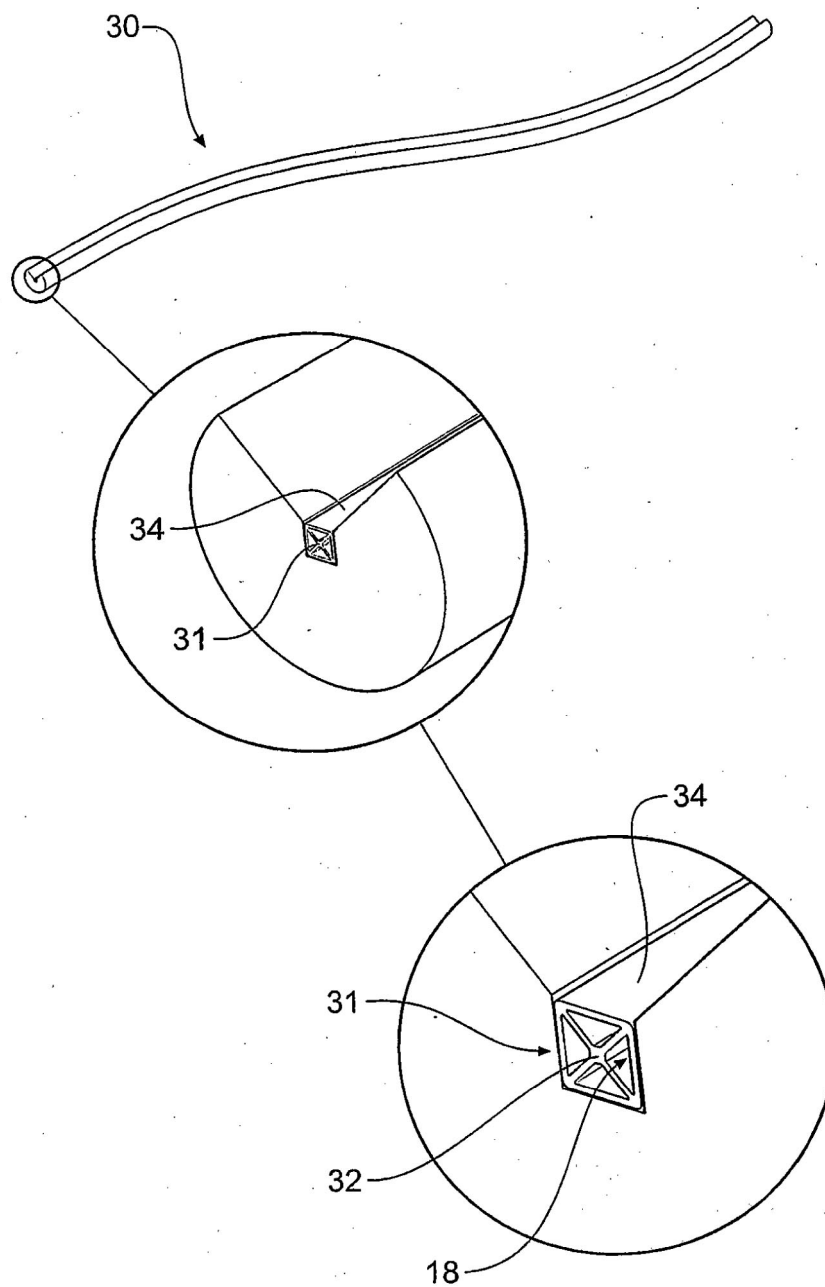


Fig 6

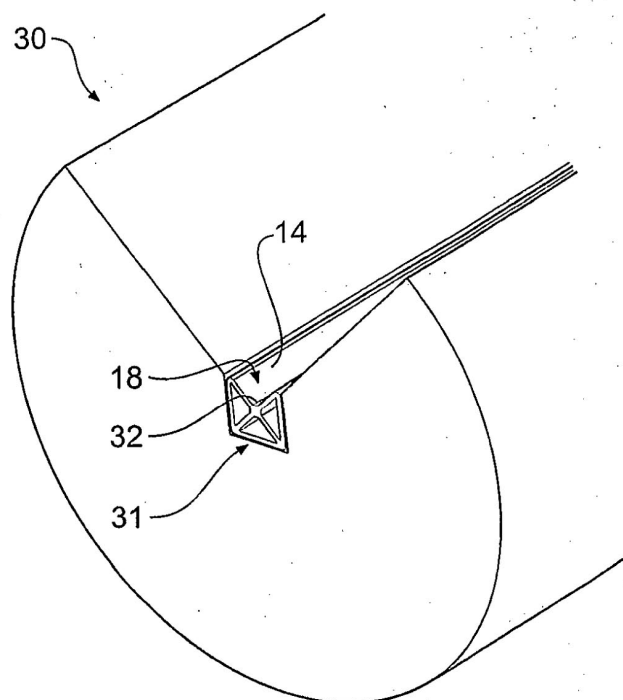


Fig 7A

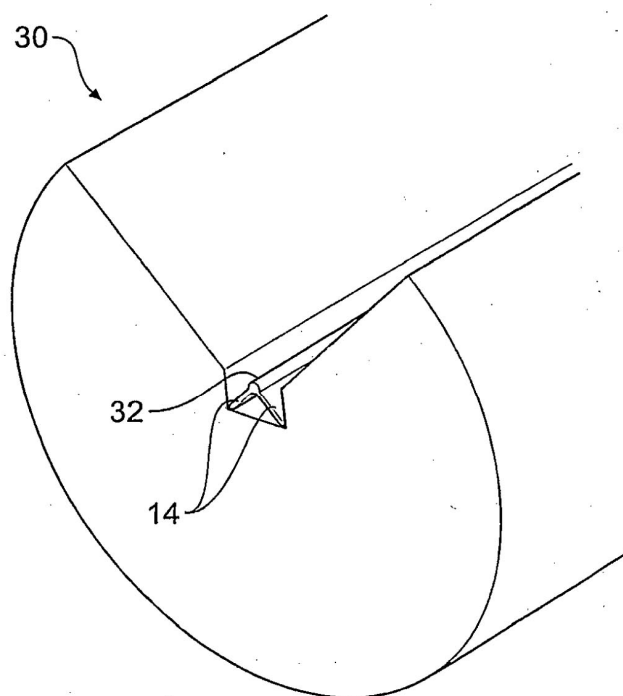


Fig 7B

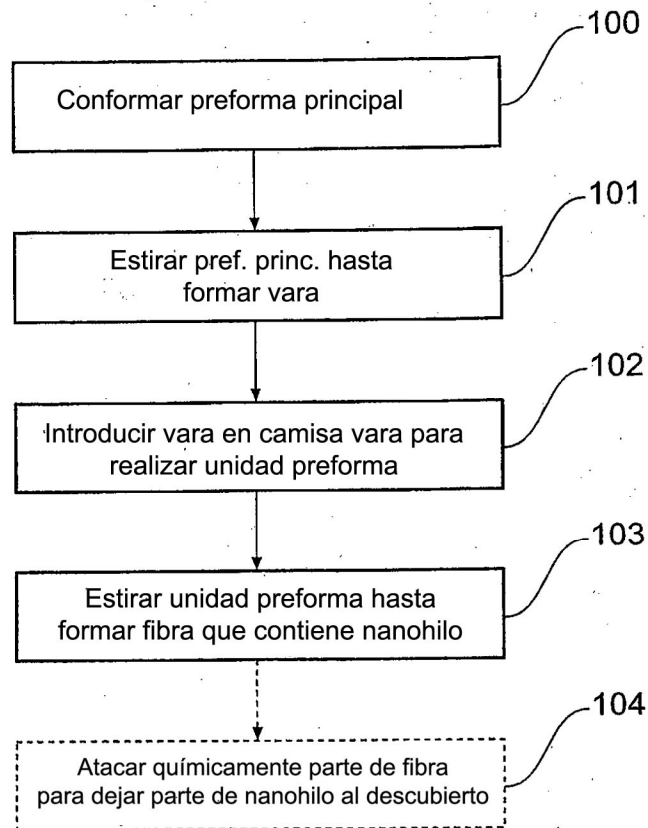


Fig 8

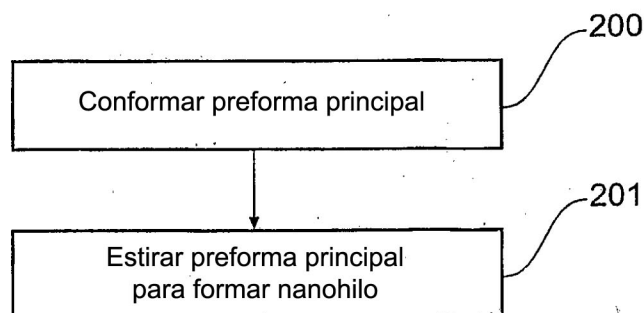


Fig 9