

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 999**

51 Int. Cl.:  
**H01L 31/18** (2006.01)  
**C30B 15/34** (2006.01)  
**C30B 15/36** (2006.01)  
**C30B 35/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08828340 .3**  
96 Fecha de presentación: **29.08.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2186139**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.05.2010**

54 Título: **Hilo de baja humectación para cristales de cinta**

30 Prioridad:  
**31.08.2007 US 969263 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**10.09.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**10.09.2012**

73 Titular/es:  
**Max Era, Inc.**  
**4231 Dant Boulevard**  
**Reno, NV 89509-7020, US**

72 Inventor/es:  
**RICHARDSON, Christine;**  
**HUANG, Weidong;**  
**WALLACE, Richard;**  
**DOBLE, Daniel y**  
**REITSMA, Scott**

74 Agente/Representante:  
**Arpe Fernández, Manuel**

ES 2 386 999 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**

Hilo de baja humectación para cristales de cinta

**CAMPO DE LA INVENCION**

5 **[0001]** La invención se refiere, en general, a los cristales de cinta de hilo y, más concretamente, la invención también hace referencia a los hilos utilizados para la fabricación de cristales de cinta de hilo.

**ANTECEDENTES DE LA INVENCION**

10 **[0002]** Los cristales fabricados mediante la tecnología de cinta de hilo (string ribbon), como los que se describen en la patente estadounidense Nº 4.689.109 (concedida en 1987 y en la que se nombra a Emanuel M. Sachs como único inventor), pueden servir de base para diversos dispositivos electrónicos. Por ejemplo, Evergreen Solar, Inc., empresa con sede en Marlborough, Massachussets, fabrica células solares a partir de cristales de cinta de hilo.

**[0003]** Como se comenta en mayor detalle en la patente citada, mediante los procesos convencionales se forman los cristales de cinta de hilo haciendo pasar dos o más hilos a través de silicio molido. La composición y el tipo de hilo pueden influir significativamente sobre la eficiencia, y en ciertos casos, sobre el coste del cristal de cinta de hilo fabricado en último término.

15 **RESUMEN DE LA INVENCION**

**[0004]** La invención se define en las reivindicaciones independientes 1, 3, 6, y 9. Las reivindicaciones dependientes se refieren a características opcionales y realizaciones preferidas 2, 7 y 8.

20 **[0005]** El hilo puede tener una capa de manipulación dispuesta radialmente en el exterior de la capa refractaria. La capa de manipulación aplica una fuerza generalmente radial, ejercida hacia el interior, sobre la capa refractaria. La capa de manipulación puede incluir la capa expuesta su parte exterior. Alternativamente, la capa expuesta exteriormente puede estar situada radialmente hacia el exterior de la capa de manipulación.

25 **[0006]** La capa expuesta exteriormente puede fabricarse a partir de diversos materiales con los que se reduce la humedad, como el carbono pirolítico, el óxido y el nitruro. Por ejemplo, la capa exteriormente expuesta puede formar un ángulo de contacto con el material cristalino de más de unos 25 grados. Además, el sustrato se fabrica a partir de carbono, mientras que la capa refractaria está fabricada en carburo de silicio.

30 **[0007]** Hay diversas realizaciones que en general hacen que coincida el coeficiente de dilatación térmica. Por ejemplo, el sustrato, la capa refractaria y la capa expuesta tienen un coeficiente de dilatación térmica combinado que es sustancialmente coincidente con el coeficiente de dilatación térmica del material cristalino. Para conseguir una coincidencia térmica adicional, la capa expuesta puede ser más delgada que la capa refractaria. En una realización más específica, el hilo puede tener un coeficiente de dilatación térmica que en general es equiparable al coeficiente de dilatación térmica del polisilicio.

**BREVE DESCRIPCION DE LAS FIGURAS**

35 **[0008]** Las personas versadas en la materia apreciarán mejor las ventajas de las diversas realizaciones de la invención gracias a la "Descripción de los ejemplos de realización" que figura a continuación, haciendo referencia a las figuras que se resumen seguidamente:

La figura 1 muestra en forma esquemática un cristal de cinta de hilo que puede fabricarse a partir de una serie de hilos configurados de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención.

La figura 2 muestra esquemáticamente un ejemplo de horno utilizado para la fabricación de cristales de cinta de hilo.

La figura 3A muestra esquemáticamente un hilo creado de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención.

40 La figura 3B muestra esquemáticamente una vista en sección transversal del hilo de la figura 3A a lo largo de la línea B-B, de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 3C muestra esquemáticamente una vista en sección transversal del hilo de la figura 3A a lo largo de la línea B-B, de acuerdo con otra realización de la invención.

45 La figura 4A muestra esquemáticamente una vista en sección transversal de un cristal de cinta que utiliza un hilo configurado de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención.

**DESCRIPCION DE LOS EJEMPLOS DE REALIZACION**

**[0009]** En los ejemplos de realización, un hilo presenta una capa expuesta al exterior de humectación reducida, a fin de aumentar el tamaño de grano en las cercanías del borde de un cristal de cinta. Para ello, el hilo forma un ángulo de contacto de entre 15 y 120 grados con el material del cristal de cinta, el cual puede ser silicio

monocristalino y policristalino. Para mejorar la solidez de la cinta, el coeficiente de dilatación térmica del hilo suele coincidir con el del material que forma el cristal de cinta (por ejemplo, el silicio). A continuación se comentan detalles de las diversas realizaciones.

5 [0010] La figura 1 muestra esquemáticamente un cristal de cinta de hilo 10 configurado de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención. De forma similar a otros cristales de cinta, este cristal de cinta 10 tiene una forma generalmente rectangular, y un área relativamente grande en sus caras delantera y trasera. Por ejemplo, el cristal de cinta 10 puede tener una anchura de unos 7,6 cm (3 pulgadas) y una longitud de unos 15,4 cm (6 pulgadas). Como conocen perfectamente las personas versadas en la materia, la longitud puede variar considerablemente. Por ejemplo, en una serie de procesos conocidos, la longitud depende de la decisión del operador del horno sobre el punto en el que se ha de cortar el cristal de cinta 10 a medida que crece. Además, la anchura puede variar en función de la separación de sus dos hilos 12 (véase figura 2) que forman los límites de la anchura del cristal de cinta. Por ello, la discusión sobre las longitudes y anchuras específicas tiene carácter ilustrativo y no pretende limitar las diversas realizaciones de la invención.

15 [0011] El espesor del cristal de cinta 10 puede variar y ser muy reducido en relación con su longitud y anchura. Por ejemplo, el cristal de cinta de hilo 10 puede tener un espesor variable entre 60  $\mu\text{m}$  y unos 320  $\mu\text{m}$  a lo largo de su anchura. A pesar de este abanico puede considerarse que el cristal de cinta de hilo 10 tiene un espesor medio a lo largo de su longitud y/o anchura.

[0012] El material de la cinta está fabricado en silicio y puede ser cualquiera perteneciente a una serie de tipos de cristal, como el multicristalino, el monocristalino, el policristalino, el microcristalino o el semicristalino.

20 [0013] Como conocen las personas versadas en la materia, el cristal de cinta 10 está formado por un par de hilos 12, generalmente encapsulados por el material de la cinta (por ejemplo, polisilicio). Aunque se encuentra rodeado por el material de la cinta (en la técnica anterior) el hilo 12 y el material de la cinta situado hacia el exterior del hilo 12 forman por lo general el borde del cristal de cinta 10. Por simplicidad, el cristal de cinta 10 se describe como si estuviese fabricado en polisilicio. No obstante, ha de reiterarse que el polisilicio no supone una limitación para todas las realizaciones.

25 [0014] En los ejemplos de realización, el cristal de cinta 10 se hace crecer en un horno de crecimiento del cristal de cinta 14, en la forma mostrada en la figura 2. Más concretamente, la figura 2 muestra esquemáticamente un horno de crecimiento del cristal de cinta de silicio 14 que puede utilizarse para formar el cristal de cinta de hilo 10 de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención. El horno 14 tiene, entre otras cosas, una carcasa 16 que forma un interior hermético sustancialmente libre de oxígeno (para impedir la combustión). En lugar de oxígeno, el interior tiene una concentración de otro gas, como el argón, o una combinación de gases. El interior de la carcasa también contiene, entre otras cosas, un crisol 18 y otros componentes para el crecimiento sustancialmente simultáneo de cuatro cristales de cinta de silicio 110. Una entrada de alimentación 20 de la carcasa 16 proporciona un medio de orientar el aporte de silicio hacia el crisol del interior 18, mientras que una ventana opcional 22 permite inspeccionar los componentes que se encuentran en el interior.

30 [0015] Como se muestra, el crisol 18, que se apoya en la plataforma interior situada dentro de la carcasa 16, presenta una superficie superior sustancialmente plana. Esta realización del crisol 18 tiene una forma alargada con una región para el crecimiento de cristales de cinta de silicio 10 en una configuración contigua a lo largo de toda su longitud. En los ejemplos de realización, el crisol 18 está fabricado en grafito, y se calienta mediante resistencias hasta alcanzar una temperatura que sea capaz de mantener el silicio por encima de su punto de fusión. Para mejorar los resultados, el crisol 18 tiene una longitud mucho mayor que su anchura. Por ejemplo, la longitud del crisol 18 puede ser tres o más veces mayor que su anchura. Por supuesto, en algunas realizaciones el crisol 18 no se alarga de esta forma. Por ejemplo, el crisol 18 puede tener una forma ligeramente cuadrada, o una forma no rectangular.

35 [0016] Como se muestra en la figura 2 y se comenta a continuación en mayor detalle, el horno 14 cuenta con una pluralidad de orificios 24 (mostrados de forma simulada) para la recepción del hilo 12. Concretamente, el horno 14 de la figura 2 cuenta con ocho orificios para hilos 24 para recibir cuatro pares de hilos 12. Cada par de hilos 12 pasa a través de silicio molido en el crisol 18 para formar un cristal de cinta 10.

40 [0017] El hilo 12 ha de presentar un ángulo de humectación por contacto con el silicio que sea lo suficientemente reducido como para hacer que el material molido de la cinta se adhiera a su superficie exterior. Por ello, algunos cristales de cinta conforme a la técnica anterior utilizados en paneles solares comerciales, por ejemplo, utilizan unos hilos que presentan un ángulo de humectación por contacto con el silicio que es muy reducido, como del orden de unos 11 grados o inferior. Aunque resulta suficiente para muchas aplicaciones, las personas versadas en la materia conocen desde hace tiempo que dicho hilo crea muchos granos diminutos de material de cinta en el producto final. Lamentablemente, estos pequeños granos reducen la eficiencia eléctrica de la celda solar formada en último término por el cristal 10.

45 [0018] Otros han tratado infructuosamente de resolver esta prolongada necesidad de la técnica. Por ejemplo, en un artículo de y Cizek et al., titulado "Filament Materials For Edge - Supported Pulling of Silicon Sheet Crystals",

publicado en diciembre de 1982 por el Solar Energy Research Institute, Golden Colorado, en el Journal of the Electrochemical Society, vol. 129, N° 12, páginas 2838-2843, se aborda este fenómeno. Concretamente, en este artículo se comentan unos elevados ángulos de contacto del hilo con el material de la cinta (quince grados o más) pero reconoce problemas de rendimiento en los materiales con unos ángulos de contacto tan grandes. Más concretamente, el artículo observa que se dan problemas de rotura causados por diferencias de coeficiente de dilatación térmica entre el hilo y el material de la cinta. El artículo no reconoce ninguna solución a este problema.

**[0019]** En lugar de resolver este problema, el artículo de Ciszek et al. trata de gestionarlo. Concretamente, el artículo se refiere a la utilización de un hilo con un ángulo de contacto grande (con el silicio) fabricado con un material que tenga un coeficiente de dilatación térmica no coincidente con el del material de la cinta (por ejemplo, cuarzo utilizado con material de cinta a base de silicio). Razonan que una importante diferencia en el coeficiente de dilatación térmica provocará la rotura del hilo, lo que sugiere que se trata de un buen resultado. Sin embargo, dicha solución resulta poco deseable para muchas aplicaciones.

**[0020]** De este modo, años después de la investigación de Ciszek, los inventores descubrieron cómo obtener las ventajas de un hilo que presente simultáneamente un idéntico coeficiente de dilatación térmica y un elevado ángulo de contacto con el material de la cinta. Para ello, hablando en general de diversas realizaciones, los inventores resolvieron esta necesidad buscando una solución que se aleja de lo enseñado por Ciszek; es decir, diseñar el hilo de forma que tenga un coeficiente de dilatación térmica semejante y un gran ángulo de contacto. Para ello, los inventores aplicaron una capa exterior de material con un ángulo de contacto favorable sobre una porción de hilo base 26 que presenta un coeficiente de dilatación térmica similar.

**[0021]** Más concretamente, la figura 3A muestra esquemáticamente un hilo 12 que puede fabricarse de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención. La figura 3B muestra esquemáticamente una vista en sección transversal del hilo 12 de la figura 3Aa lo largo de una línea transversal B-B de acuerdo con una realización, mientras que la figura 3C muestra esquemáticamente una vista en sección transversal del hilo de la figura 12 de acuerdo con otra realización. Como puede apreciarse, ambas realizaciones tienen una porción de hilo base 26 formada por un núcleo central 28 y una capa de material refractario 30 sustancialmente concéntrica (también denominada en este documento "capa refractaria 30").

**[0022]** En algunas realizaciones, el núcleo central 28 consiste en un material conductor de carbono, fabricado mediante procesos de extrusión convencionales. En otras realizaciones, el núcleo central 28 está formado a partir de una pluralidad de pequeñas fibras conductoras (por ejemplo, fibras de carbono) trenzadas para formar una hebra. Además, la capa de material refractario 30 está fabricada con carburo de silicio cuando se utiliza para fabricar una celda fotovoltaica a base de silicio.

**[0023]** Los ejemplos de realización del hilo 12 también presentan una capa expuesta de no humectación 32, la cual, cuando se utiliza con el hilo 12 que presenta una forma con una sección transversal circular o similarmente simétrica también es en general concéntrica con el núcleo 28. Entre otras cosas, esta capa de no humectación 32 puede ser un carbono, un carbono/carburo pirolítico (por ejemplo, grafito), un óxido o un nitruro. Más concretamente, entre los materiales adecuados destaca el óxido de aluminio o la sílice. Es preferible que los materiales seleccionados para la creación de esta capa de no humectación 32 tengan un desdeñable impacto contaminante sobre el silicio molido situado en el interior del crisol 18.

**[0024]** Los inventores han descubierto que una capa de no humectación 32 muy delgada debería minimizar su impacto sobre el coeficiente de dilatación térmica de la porción del hilo de la base 26. Además, la capa de no humectación 32 debería ser lo suficientemente gruesa como para aportar una resistente superficie exterior que pueda hacer frente a las exigencias del proceso de fabricación del cristal de cinta. Por ejemplo, un hilo 12 que presente una sección transversal con una dimensión total de 140  $\mu\text{m}$  puede tener una capa de no humectación 32 con un espesor de 1  $\mu\text{m}$ .

**[0025]** Aunque no se ha comentado explícitamente anteriormente, el hilo 12 también puede disponer de una capa de manipulación 34 situada radialmente hacia el exterior con respecto a la capa de material refractario 30, a fin de mantener la integridad de la porción de hilo base 26. Para ello, la capa de manipulación 34 aporta una reducida fuerza de compresión a la porción de hilo base 26, mejorando de este modo la resistencia del conjunto del hilo 12. De este modo, si en la porción de hilo base 26 se produce una grieta, la fuerza de compresión de la capa de manipulación 34 debería reducir la posibilidad de que se rompa el hilo 12. Entre otras cosas, la capa de manipulación 34 puede ser una fina capa de carbono (por ejemplo, con un espesor de una o dos micras para hilos con unas dimensiones conocidas en general).

**[0026]** La capa no humectante 32 puede estar directamente integrada en la capa de manipulación 34, como se muestra en la figura 3B. No obstante, en realizaciones alternativas, la capa no humectante 32 puede estar situada radialmente en el exterior con respecto a la capa de manipulación 34, como se muestra en la figura 3C. Sin embargo, en otras realizaciones, el resto de capas puede encontrarse entre la capa no humectante 32 y la porción de hilo base 26, o puede omitirse la capa de manipulación 34.

**[0027]** Las figuras 3B y 3C muestran hilos con unas secciones transversales de forma esencialmente circular. Sin embargo, diversas realizaciones del hilo 12 pueden tener unas secciones transversales con formas generalmente no circulares. Por ejemplo, el hilo 12 puede tener una sección transversal con formas generalmente no circulares. Por ejemplo, el hilo 12 puede tener una sección transversal con forma cóncava (por ejemplo, en forma de cruz o de "c"), una sección transversal de forma alargada (por ejemplo, una elipse o rectángulo) o una sección transversal con otra forma regular o irregular. Como se comenta en mayor detalle en las solicitudes de patente pendientes US 2009/001163 A y US 2009/0061224A, estas realizaciones pueden mejorar la solidez de los cristales de cinta 10 resultantes.

**[0028]** Cabe señalar que la utilización del término capa "no humectante" es hasta cierto punto inadecuado, porque si realmente fuese no humectante, el material molido de la cinta no se adheriría a la misma. Por tanto, la capa no humectante 32 podría denominarse capa de humectación reducida, pudiendo hacerse referencia a la misma de este modo en adelante.

**[0029]** Las figuras 4A y 4B muestran gráficamente una diferencia básica entre un hilo de la técnica anterior y el hilo 12 configurado de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención. Concretamente, la figura 4A muestra esquemáticamente una vista en sección transversal de una porción de un cristal de cinta de la técnica anterior 10P con un hilo de la técnica anterior 12P. Este cristal de cinta de la técnica anterior 10P presenta un estrangulamiento 36 entre el hilo 12P y una porción más ancha 38. Tal y como se muestra, el material de la cinta contacta con, y parece tapar sustancialmente la totalidad de la superficie exterior del hilo 12P. Lamentablemente, este importante contacto superficial genera muchos puntos de nucleación que, por consiguiente, generan un volumen relativamente elevado de pequeños granos.

**[0030]** La figura 4B muestra esquemáticamente un nuevo hilo 12 en el interior de un cristal de cinta 10. A diferencia del cristal de cinta 10P de la figura 4A, el material de la cinta de esta figura no está en contacto con la superficie exterior del hilo 12. Por el contrario, el material de la cinta contacta únicamente con una porción de la superficie exterior, dejando de este modo expuesta una porción importante. Por ello, esta realización presenta menos puntos de nucleación, lo que reduce favorablemente el número de granos diminutos situados cerca del hilo 12. Dicho de otro modo, esta realización favorece la aparición de granos de mayor tamaño cerca de los hilos 12. Por ello, la eficiencia del cristal de cinta de hilo 10 debería mejorar cuando se compara con cristales de cinta de hilo que utilizan hilos 12 sin una capa humectante 32.

**[0031]** Además, y como se ha indicado anteriormente, el hilo 12 tiene preferiblemente un diámetro superior a los diámetros de los hilos de la técnica anterior normalmente utilizados. Por ejemplo, unos hilos 12 de mayor tamaño pueden tener unos diámetros variables entre 0,75 y 2,0 veces el espesor medio de su correspondiente cristal de cinta de hilo 10. Este mayor diámetro debería incrementar efectivamente el espesor del cristal de cinta de hilo 10 en la región situada cerca del hilo 12. Por consiguiente, el cristal de cinta de hilo 10 debería mostrar una menor tendencia a la rotura que algunos diseños de la técnica anterior que utilizan hilos con unos menores diámetros. Por ejemplo, un solo cristal 10 puede tener un espesor variable entre unos 140  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$ , y el hilo 12 puede tener un espesor de entre 0,75 y 2,0 veces dicho espesor.

**[0032]** La figura 5 muestra un ejemplo de proceso de fabricación de un cristal de cinta de hilo 10 con unos hilos 12 configurados de acuerdo con los ejemplos de realización de la invención. El proceso comienza en la etapa 500 por la creación del núcleo/sustrato 28. Como se ha observado anteriormente, el núcleo 28 puede fabricarse con carbono mediante un proceso de hilado convencional. No obstante, en otras realizaciones, el núcleo 28 puede ser un cable, un filamento o una pluralidad de diminutas fibras conductoras trenzadas entre sí formando una hebra. Por ejemplo, mediante los procesos de post-fabricación de una hebra podría conseguirse un monofilamento a través de un proceso de fabricación conocido, como la oxidación, la carbonización o la infiltración.

**[0033]** Tras la fabricación del núcleo 28, con el proceso se forma una primera capa/revestimiento de carburo de silicio, que actúa como la capa de material refractario mencionada anteriormente (etapa 502).

**[0034]** La primera capa puede fabricarse mediante una serie de métodos convencionales, o mediante un proceso de extrusión, un proceso de pultrusión o ambos, hilando un material refractario con un componente polimérico, que posteriormente se termina de hornear. Entre otras cosas, los procesos pueden utilizar partículas de carburo o fibras mezcladas con un ligante polimérico, además de la extrusión/pultrusión. Este proceso también puede incluir la extrusión bicomponente de un núcleo 28 con carburo de silicio, y una funda que incorpore óxido, mullita, y/o carbono. De este modo, el núcleo 28 actúa efectivamente como un sustrato que sustenta la capa de material refractario 30.

**[0035]** De este modo, en esta etapa se fabrica la porción de hilo base 26. Hemos de reiterar que la porción de hilo base 26 puede fabricarse mediante una amplia variedad de materiales, como una fibra o hebra de grafito, un material refractario, como tungsteno o carburo de silicio, o una combinación de los mismos. De hecho, en algunas realizaciones la porción de hilo base 26 puede no tener un núcleo 28.

**[0036]** En este punto del proceso, la porción de hilo base 26 tiene un coeficiente de dilatación térmica combinado que, en general, debería coincidir con el coeficiente de dilatación térmica del material de la cinta. Concretamente, las

características de dilatación térmica del hilo 12 deberían equipararse lo suficiente con el material de la cinta, de forma que no se desarrollen tensiones excesivas como consecuencia de su interacción. Se considera que la tensión es excesiva si el hilo 12 presenta una tendencia a separarse de la cinta durante las posteriores etapas de manipulación razonable y procesamiento del cristal de cinta, o si el hilo 12 muestra una tendencia a ondularse hacia el exterior o hacia el interior, con respecto al borde del cristal de cinta.

**[0037]** El proceso continúa entonces en la etapa 504, en la que se fabrica la capa no humectante/delgada 32 en la porción del hilo base 26. Como ya se ha comentado, esta capa podría también servir como capa de manipulación 34, y preferiblemente es muy delgada, para que tenga un reducido impacto sobre el coeficiente global de dilatación térmica del hilo. Por ejemplo, la capa humectante reducida 32 debería ser mucho más delgada que la capa de material refractario 30.

**[0038]** Como también se ha comentado anteriormente, el ángulo de contacto con el material de la cinta de la superficie exterior formada mediante esta capa debería controlarse cuidadosamente para hacer que el material molido de la cinta se adhiera a solamente a una porción de la misma (como se muestra en la figura 4B). En las aplicaciones que utilizan polisilicio molido, por ejemplo, se ha previsto que con unos ángulos de contacto de entre 15 y 120° grados se deberían producir unos resultados satisfactorios. Dichos ángulos de más de 25 grados pueden producir unos resultados aún mejores.

**[0039]** Entre otros métodos, la capa no humectante 32 puede fabricarse mediante procesos CVD (Deposición Química de Vapor), revestimiento por inmersión u otros métodos. Por ejemplo, la porción de hilo base 26 puede revestirse mediante CVD mediante la aplicación de contactos eléctricos en una cámara de deposición mientras se suministra a través de la cámara, calentando de este modo la propia porción de hilo base 26. Alternativamente, la porción de hilo base 26 puede calentarse mediante inducción por calentamiento a través de la cámara.

**[0040]** Entre otras técnicas similares para la implementación de esta etapa destacan:

- un baño de sol-gel para óxido de sílice o de aluminio u oxcarburo de silicio, bien al final del horno de CVD o durante el rebobinado

- una capa CVD no humectante depositada mediante calentamiento de cuarzo desde el exterior y calentando por inducción la porción de hilo base 26,

- deposición por pulverización con un ligante polimérico que se eliminaría posteriormente por calcinación.

- agitando partículas sobre una porción de hilo base 26 o hebra y horneándolas posteriormente con la porción de hilo base o hebra, y

- revestimiento de la porción de hilo base 26 con lodo refractario (por ejemplo, dióxido de silicio) o líquido, eliminando después los residuos por calcinación.

**[0041]** Antes de efectuar la etapa 504, en algunas realizaciones se fabrica una capa de manipulación 34 que es independiente de la capa no humectante fabricada 32, como se ha comentado anteriormente. De este modo, en dicha realización, la capa no humectante / humectante 32 cubre sustancialmente la capa de manipulación 34. Más concretamente, la capa no humectante 32 cubre la superficie de la circunferencia exterior de la capa de manipulación 34.

**[0042]** Posteriormente, en la etapa 506 se determina si el hilo revestido 12 tiene filamentos que se extienden a través de la capa no humectante 32 (en este documento, dichos filamentos se denominan "rebabas"). Esto puede suceder, por ejemplo, cuando el núcleo 28 está formado por una hebra de filamentos. Si el hilo revestido 12 tiene rebabas, en el proceso se eliminan en la etapa 508. El proceso puede entonces regresar a la etapa 504, en la que vuelve a aplicarse la capa no humectante 32.

**[0043]** Alternativamente, si el hilo 12 no presenta rebabas, el proceso continúa en la etapa 510, en la que el hilo 12 se introduce en el horno 14, como se muestra en la figura 2. En este punto, para cada cristal de cinta que se fabrica, el proceso hace pasar dos hilos 12 a través del horno 14 y el crisol 18, formando de este modo el cristal de cinta de hilo 10 (etapa 512).

**[0044]** De este modo, en los ejemplos de realización aumenta el tamaño de los granos cerca del hilo 12, mejorando de este modo la eficiencia de los cristales de cinta. Mediante la utilización de una técnica de equiparación del coeficiente de dilatación térmica con el del material de la cinta, los inventores han podido conseguir este objetivo sin que aumente la pérdida de rendimiento.

**REIVINDICACIONES**

1. Hilo (12) utilizado para formar un cristal de cinta de hilo (10) que comprende un material cristalino, siendo dicho material cristalino silicio, y comprendiendo dicho hilo:
- un sustrato de carbono (28);
  - una capa refractaria de carburo de silicio (30) sustentada en el sustrato; y
- 5 - una capa expuesta exteriormente (32) que forma un ángulo de contacto con el silicio de entre 15 y 120 grados, y preferiblemente de más de 25 grados, estando dispuesta la capa expuesta exteriormente radialmente hacia el exterior de la capa refractaria.
2. Hilo conforme a la reivindicación 1, que comprende adicionalmente una capa de manipulación (34) situada radialmente hacia el exterior de la capa refractaria, aplicando la capa de manipulación una fuerza en general dirigida radialmente hacia el interior sobre la capa refractaria.
- 10 3. Cristal de cinta de silicio, que comprende:
- un hilo (12) conforme a lo reivindicado en cualquiera de las reivindicaciones precedentes; y
  - un cuerpo que comprende un material de silicio, donde la superficie exterior del hilo está parcialmente expuesta.
4. Cristal de cinta conforme a la reivindicación 3, donde la porción expuesta del hilo se encuentra exenta del material del cuerpo.
- 15 5. Cristal de cinta conforme a las reivindicaciones 3 o 4, donde el material del cuerpo comprende polisilicio.
6. Método para fabricar un hilo (12) para utilizarlo en la fabricación de un cristal de cinta (10), comprendiendo dicho método:
- fabricar una capa refractaria de carburo de silicio (30) sobre un sustrato de carbono (28); y
- 20 - aplicar un material de baja humectación (32) dispuesto radialmente en el exterior de la capa refractaria donde dicho material de baja humectación forma un ángulo de contacto con el silicio de entre 15 y 120 grados.
7. Método conforme a la reivindicación 6, donde el hilo posee una sección transversal de 140  $\mu\text{m}$  y la capa de material de humectación reducida tiene un espesor de 1  $\mu\text{m}$ .
- 25 8. Método conforme a las reivindicaciones 6 o 7, donde el material de humectación reducida se aplica mediante un proceso CVD.
9. Método de fabricación de una lámina de cristal de cinta de silicio (10) a partir de silicio molido, comprendiendo dicho método:
- proporcionar dicho silicio molido;
- 30 - proporcionar un hilo (12) que comprende una capa refractaria de carburo de silicio (30) sustentada sobre un sustrato de carbono (28) y una capa de humectación reducida (32) dispuesta radialmente en el exterior de la capa refractaria (30), comprendiendo la capa de humectación reducida la superficie exterior del hilo, formando dicha superficie exterior un ángulo de contacto con el silicio molido que oscila entre 15 y 120 grados; y
- hacer pasar el hilo a través del silicio molido para crear la lámina.

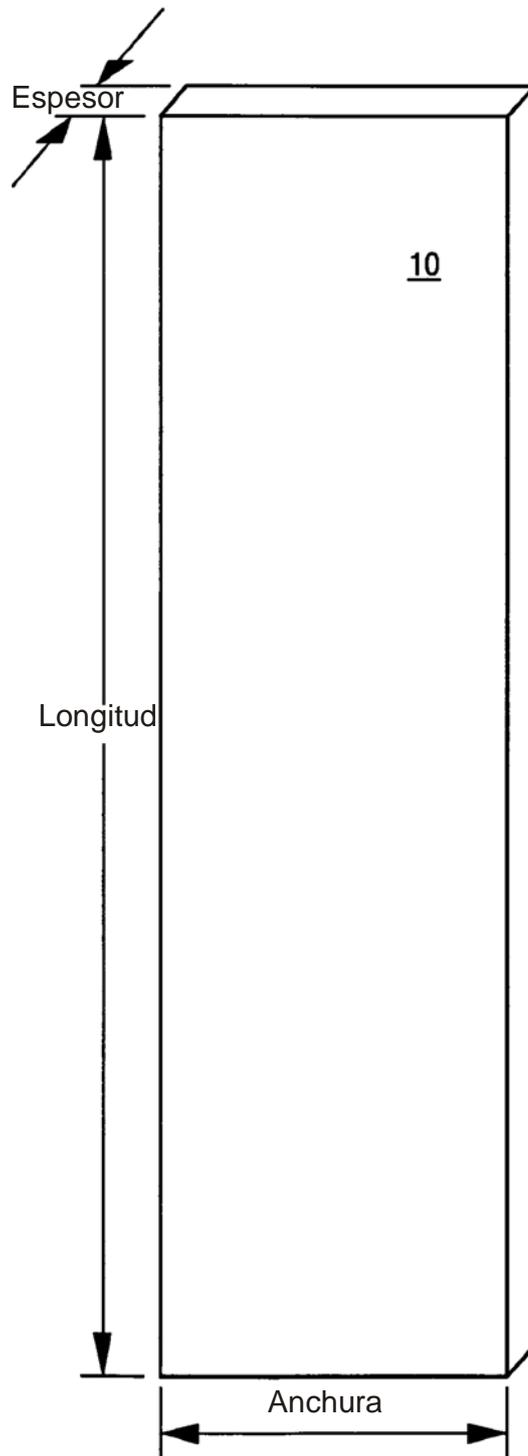


Figura 1

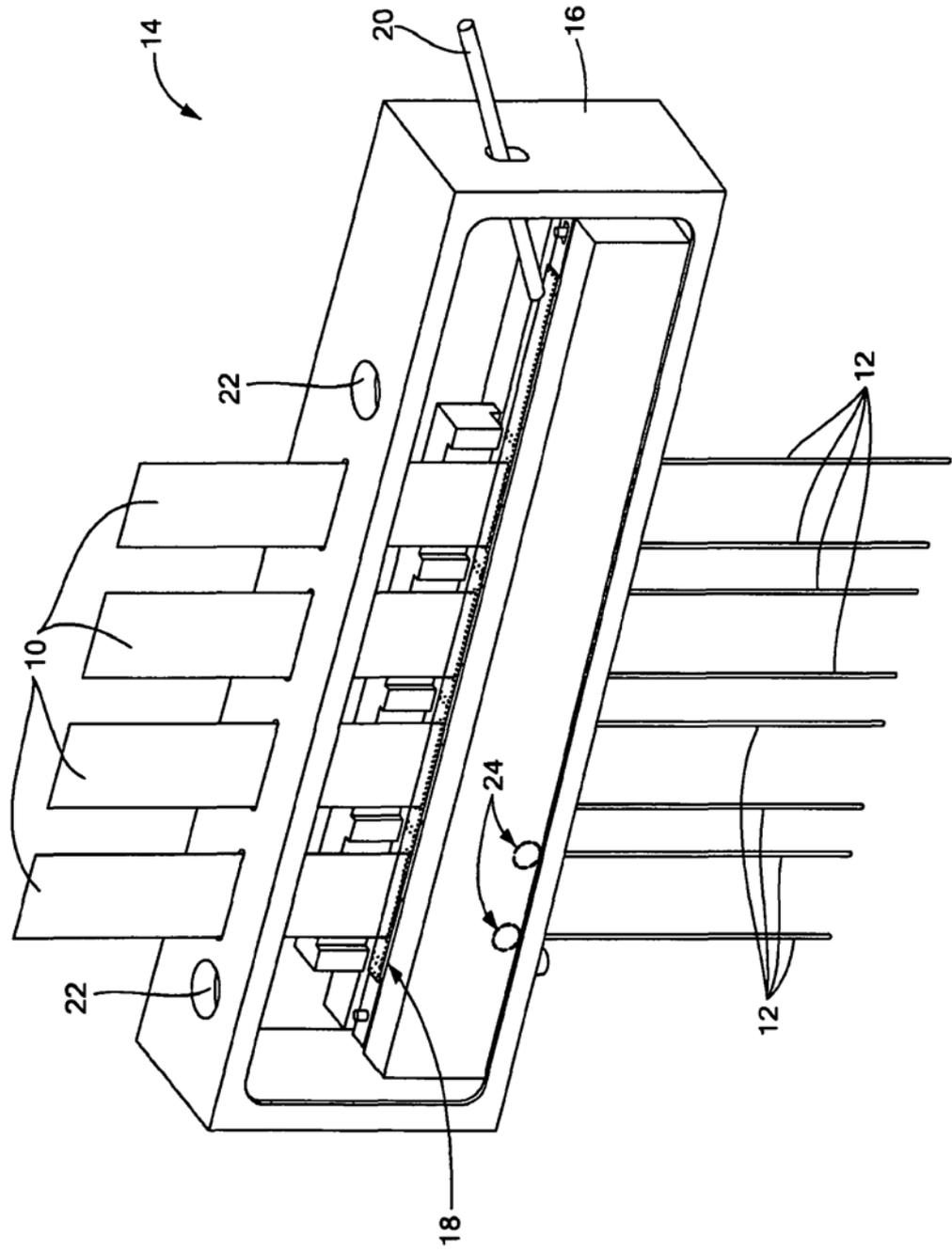


Figura 2

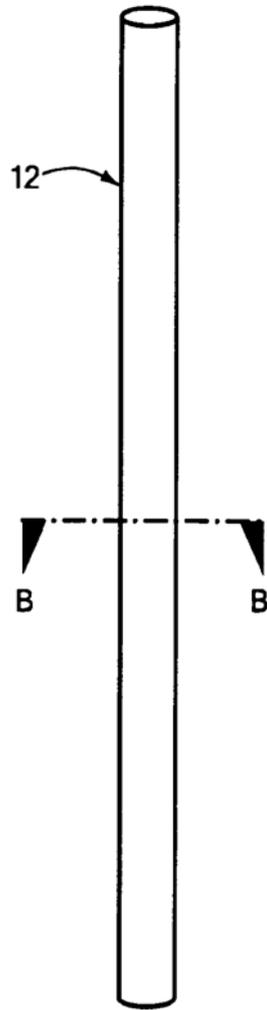


Figura 3A

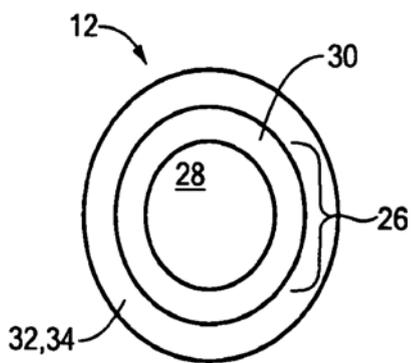


Figura 3B

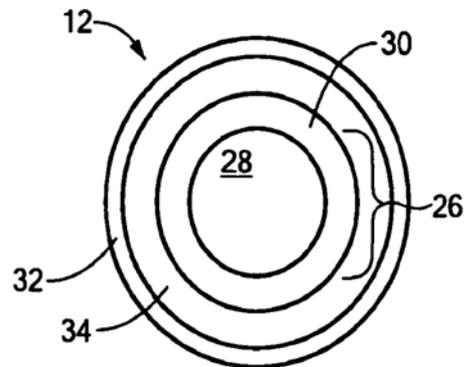


Figura 3C

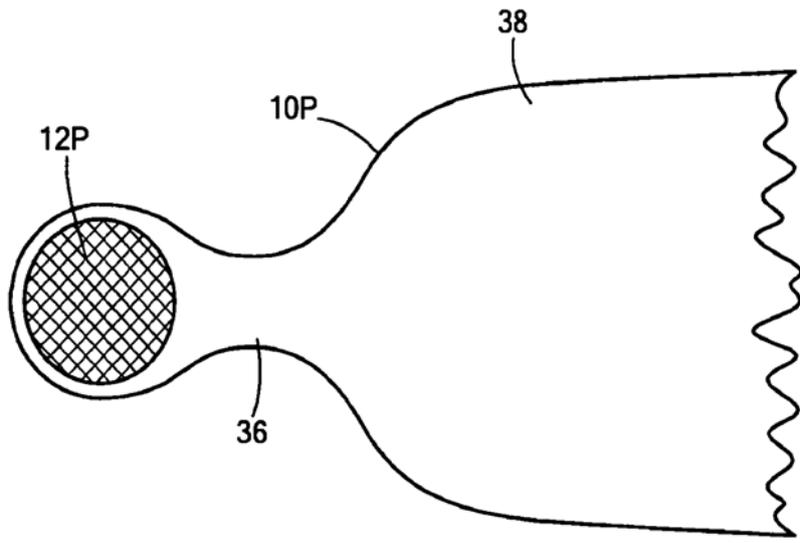


Figura 4A

TÉCNICA ANTERIOR

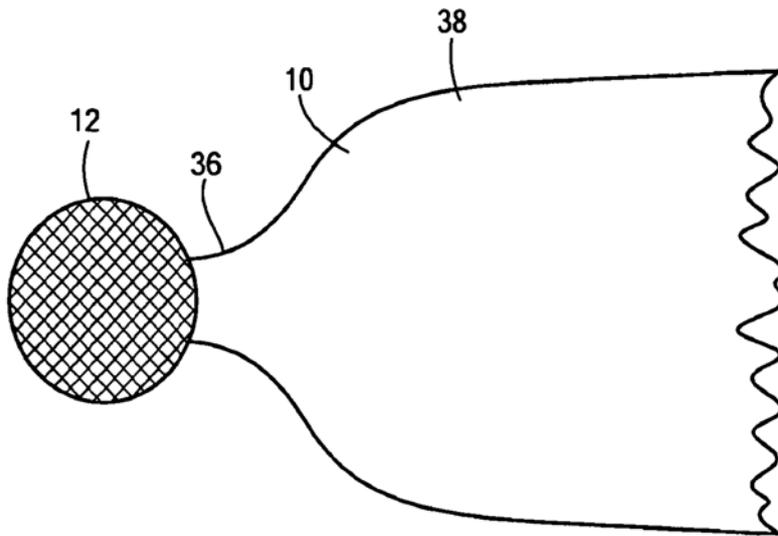


Figura 4B

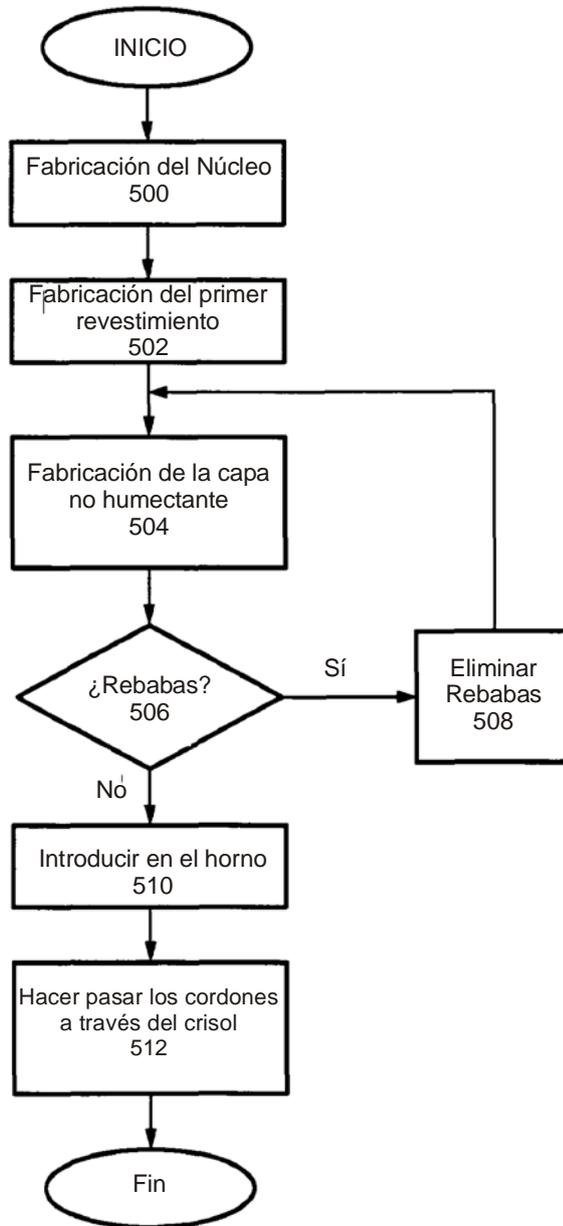


Figura 5

**REFERENCIAS CITADAS EN LA DESCRIPCIÓN**

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

5

**Documentos de patente citado en la descripción**

- US 4689109 A [0002]
- US 20090061224 A [0027]
- US 2009001163 A [0027]

10

**Bibliografía de patentes citada en la descripción**

- Filament Materials For Edge-Supported Pulling of Silicon Sheet Crystals. **CISZEK et al.** journal of the Electro chemical Society. Solar Energy Research Institute, December 1982, vol. 129, 2838-2843 [0018]