

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 436 293**

51 Int. Cl.:

C30B 15/34 (2006.01)

C30B 15/36 (2006.01)

C30B 35/00 (2006.01)

H01L 31/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.08.2008 E 08798930 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.08.2013 EP 2183411**

54 Título: **Hilo de cristal en cinta para aumentar la productividad de obleas**

30 Prioridad:

31.08.2007 US 969263 P

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

30.12.2013

73 Titular/es:

**MAX ERA, INC. (100.0%)
c/o Dacheng Law Offices, LLP, 2 Wall Street,
Floor 21
New York, NY 10005, US**

72 Inventor/es:

REITSMA, SCOTT

74 Agente/Representante:

FÚSTER OLAGUIBEL, Gustavo Nicolás

ES 2 436 293 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 cristal en cinta para aumentar la productividad de obleas

5 CAMPO DE LA INVENCION

La invención se refiere, en general, a cristales en cinta de hilo y un procedimiento de formación de un cristal en cinta.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

10

Los cristales en cinta de hilo, tales como los analizados en la patente de EE.UU. n.º 4.689.109 (concedida en 1987 y que nombra a Emmanuel M. Sachs como único inventor), pueden formar la base de una diversidad de dispositivos electrónicos. Por ejemplo, Evergreen Solar, Inc. de Marlborough, Massachusetts, forma células solares a partir de cristales en cinta de hilo convencionales.

15

Como se analiza con mayor detalle en la patente indicada, los procedimientos convencionales forman s cristales en cinta de hilo haciendo pasar dos o más hilos a través de silicio fundido. La composición y naturaleza del hilo pueden tener un impacto significativo sobre la eficiencia y, en algunos casos, el coste del cristal en cinta de hilo formado en última instancia.

20

RESUMEN DE LA INVENCION

La invención se define por las reivindicaciones independientes de más adelante. Las reivindicaciones subordinadas están dirigidas a características opcionales y realizaciones preferidas.

25

De acuerdo con una realización de la invención, un cristal en cinta tiene un cuerpo con una dimensión de anchura, e hilo incrustado dentro del cuerpo. El hilo tiene una forma de sección transversal generalmente alargada. Esta sección transversal (del hilo) tiene un eje generalmente longitudinal que diverge con la dimensión de anchura del cuerpo del cristal en cinta.

30

Más generalmente, el eje longitudinal del hilo ilustrativamente no es paralelo a la dimensión de anchura del cuerpo. En realizaciones preferidas, el eje longitudinal es sustancialmente perpendicular a la dimensión de anchura del cuerpo. Por otra parte, la sección transversal del hilo puede ser generalmente de forma irregular.

35

El hilo puede ser un hilo, o una pluralidad de hilos. El cristal tiene un segundo hilo incrustado dentro del cuerpo, donde el segundo hilo también puede tener una pluralidad de hilos. El hilo, en sus diversas iteraciones, puede hacer que la sección transversal del cuerpo tenga un cuello con un grosor que sea mayor que aproximadamente 60 micrómetros.

40

De acuerdo con la invención, el cristal en cinta tiene un cuerpo, y un primer y un segundo hilos incrustados dentro del cuerpo. El hilo puede tener una forma de sección transversal generalmente cóncava.

45

De acuerdo con la invención, un procedimiento de formación de un cristal en cinta proporciona un conjunto de hilos que tienen cada uno una forma de sección transversal generalmente alargada. La sección transversal de cada hilo tiene un eje generalmente longitudinal. El procedimiento también añade material fundido a un crisol, y hace pasar el conjunto de hilos en una dirección dada a través del material fundido, haciendo así que el material fundido se solidifique por encima de una superficie de contacto para formar una lámina. La lámina tiene una dimensión de anchura que es generalmente perpendicular a la dirección dada del conjunto de hilos. Al menos un hilo está orientado de manera que su eje longitudinal diverge con la dimensión de anchura de la lámina.

50

La forma de sección transversal del conjunto de hilos puede ser convexa o cóncava. Por ejemplo, la forma de sección transversal del conjunto de hilos puede ser un elipsoide general, un rectángulo, o un par de hilos que forman de hecho un hilo cóncavo.

55 BREVE DESCRIPCION DE LOS DIBUJOS

Los expertos en la materia deberían apreciar más plenamente las ventajas de diversas realizaciones de la invención a partir de la siguiente "Descripción de realizaciones ilustrativas", analizada con referencia a los dibujos resumidos seguidamente.

60

La Figura 1 muestra esquemáticamente un cristal en cinta de hilo que puede formarse a partir de hilos configurados de acuerdo con realizaciones ilustrativas de la invención.

65

La Figura 2 muestra esquemáticamente un horno ilustrativo usado para formar cristales en cinta de hilo.

La Figura 3 muestra esquemáticamente una vista de la sección transversal de una parte de un cristal en cinta de la

técnica anterior con un hilo de la técnica anterior.

La Figura 4A muestra esquemáticamente un hilo formado de acuerdo con realizaciones ilustrativas de la invención.

5 La Figura 4B muestra esquemáticamente ocho vistas de la sección transversal del hilo de la Figura 4A a lo largo de la línea B-B.

La Figura 5 muestra un procedimiento ilustrativo de formación de un cristal en cinta de hilo que usa hilos configurados de acuerdo con realizaciones ilustrativas de la invención.

10

Las Figuras 6A, 6B y 6C muestran esquemáticamente vistas de la sección transversal de cristales en cinta de acuerdo con una realización que usa hilos con una sección transversal alargada.

Las Figuras 7A y 7B muestran esquemáticamente vistas de la sección transversal de cristales en cinta con múltiples
15 hilos usados para realizar la función de un solo hilo.

Las Figuras 8A y 8B muestran esquemáticamente un cristal en cinta con un hilo que tiene una forma de sección transversal generalmente cóncava.

20 DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES ILUSTRATIVAS

Las realizaciones ilustrativas de la invención usan hilos con secciones transversales no circulares para formar cristales en cinta. Específicamente, el inventor descubrió que ciertas geometrías de hilo aumentan favorablemente el tamaño del cuello de un cristal en cinta sin necesidad de equipos de fabricación adicionales externos. Como
25 resultado, los cristales en cinta deberían ser más robustos, mejorando así las productividades.

Por ejemplo, algunas realizaciones usan hilo con una sección transversal alargada, donde la dimensión larga diverge de la anchura del cristal en cinta. Como otro ejemplo, las realizaciones relacionadas forman cristales en cinta con hilos no circulares que son convexos o cóncavos (independientemente de si son alargados). Más adelante se
30 analizan detalles de diversas realizaciones.

La Figura 1 muestra esquemáticamente un cristal en cinta de hilo 10 configurado según realizaciones ilustrativas de la invención. De una manera similar a otros cristales en cinta, este cristal en cinta 10 tiene una forma generalmente rectangular y un área superficial relativamente grande en sus caras anterior y posterior. Por ejemplo, el cristal en
35 cinta 10 puede tener una anchura de aproximadamente 7,5 cm (3 pulgadas) y una longitud de aproximadamente 15 cm (6 pulgadas). Como saben los expertos en la materia, la longitud puede variar significativamente. Por ejemplo, en algunos procedimientos conocidos, la longitud depende del criterio de un operador del horno en cuanto a dónde cortar el cristal en cinta 10 a medida que crece. Además, la anchura puede variar dependiendo de la separación de sus dos hilos 12 (véase la Figura 2) que forman los límites de anchura del cristal en cinta. Por consiguiente, el
40 análisis de las longitudes y anchuras específicas son ilustrativas y no pretenden limitar diversas realizaciones de la invención.

El grosor del cristal en cinta 10 puede variar y puede ser muy pequeño en relación con sus dimensiones de longitud y anchura. Por ejemplo, el cristal en cinta de hilo 10 puede tener un grosor comprendido entre aproximadamente
45 60 μm y aproximadamente 320 μm a través de su anchura. A pesar de este grosor variable, puede considerarse que el cristal en cinta de hilo 10 tiene un grosor medio a través de su longitud y/o anchura.

El cristal en cinta 10 puede formarse a partir de cualquiera de una amplia variedad de materiales (a menudo denominados en general como "material de la cinta" o "material del cristal"), dependiendo de la aplicación. Por
50 ejemplo, cuando crece para una aplicación fotovoltaica, el cristal en cinta 10 puede formarse a partir de un solo elemento, tal como silicio, o un compuesto, tal como material con base de silicio (por ejemplo, de silicio-germanio). Otros materiales de cinta ilustrativos pueden incluir arseniuro de galio, o fosforo de indio. El material de la cinta puede ser cualquiera de una variedad de tipos de cristal, tales como multicristalino, monocristalino, policristalino, microcristalino o semicristalino.

55

Como saben los expertos en la materia, el cristal en cinta 10 se forma a partir de un par de hilos 12 generalmente incrustados/encapsulados por el material de la cinta. Por simplicidad, el cristal en cinta 10 se analiza como si se formara a partir de material de la cinta de polisilicio. No obstante, debería reiterarse que el análisis del polisilicio no pretende limitar todas las realizaciones.

60

Las realizaciones ilustrativas hacen crecer el cristal en cinta 10 en un horno de crecimiento de cristal en cinta 14, tal como el mostrado en la Figura 2. Más específicamente, la Figura 2 muestra esquemáticamente un horno de crecimiento de cristal en cinta de silicio 14 que puede usarse para formar el cristal en cinta de hilo 10 de acuerdo con realizaciones ilustrativas de la invención. El horno 14 tiene, entre otras cosas, un alojamiento 16 que forma un
65 interior hermético que está sustancialmente libre de oxígeno (para impedir la combustión).

En lugar de oxígeno, el interior tiene algo de concentración de otro gas, tal como argón, o una combinación de gases. El interior del alojamiento también contiene, entre otras cosas, un crisol 18 y otros componentes para hacer crecer de manera sustancialmente simultánea cuatro cristales en cinta de silicio 10. Una entrada de alimentación 20 en el alojamiento 16 proporciona un medio para dirigir la materia prima de silicio al crisol interior 18, mientras que
5 una ventana opcional 22 permite la inspección de los componentes interiores.

Tal como se muestra, el crisol 18, que está sostenido sobre una plataforma interior dentro del alojamiento 16, tiene una superficie superior sustancialmente plana. Esta realización del crisol 18 tiene una forma alargada con una zona para el crecimiento de cristales en cinta de silicio 10 en una disposición lado a lado a lo largo de su longitud. En las
10 realizaciones ilustrativas, el crisol 18 está formado a partir de grafito y se calienta mediante resistencias a una temperatura capaz de mantener el silicio por encima de su punto de fusión. Para mejorar los resultados, el crisol 18 tiene una longitud que es 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 es alargado de esta manera. Por ejemplo, el crisol 18 puede tener una forma un tanto cuadrada, o una forma no rectangular.

15 Tal como se muestra en la Figura 2 y se analiza con mayor detalle más adelante, el horno 14 tiene una pluralidad de orificios 24 (mostrados de manera simulada) para recibir el hilo 12. Específicamente, el horno 14 de la Figura 2 tiene ocho orificios de hilo 24 para recibir cuatro pares de hilos 12. Cada par de hilos 12 pasa a través de silicio fundido en el crisol 18 para formar un solo cristal en cinta 10.

20 Muchos procedimientos de crecimiento de cristal en cinta convencionales forman cristales en cinta con una parte de cuello delgado cerca del hilo. Más específicamente, la Figura 3 muestra esquemáticamente una vista de la sección transversal de una parte de un cristal en cinta de la técnica anterior 10P que tiene un hilo de la técnica anterior 12P. Este cristal en cinta de la técnica anterior 10P tiene una parte de cuello delgado 36 entre el hilo 12P y una parte más
25 ancha 38 del cristal en cinta 10. Si la parte de cuello 36 es demasiado delgada, entonces el cristal en cinta 10P puede ser muy frágil y más propenso a rotura, conduciendo así a pérdidas de productividad. Por ejemplo, si el coeficiente de dilatación térmica diferencial entre el hilo 12 y el material de la cinta que forma el cristal en cinta 10P (por ejemplo, polisilicio) es suficientemente grande, el cristal en cinta 10P puede ser más propenso a rotura en la parte de cuello 36.

30 Para aumentar el grosor del cuello, los expertos en la materia han añadido equipos al procedimiento de crecimiento de la cinta. Por ejemplo, una de tales soluciones añade chorros de gas (no mostrados) al horno 14. Estos chorros de gas dirigen corrientes de gas relativamente frío hacia la parte de cuello 36, disminuyendo así la temperatura en esa área para aumentar el grosor del cuello. Otras soluciones implican añadir conformadores de menisco especializados.

35 En vez de usar tales medidas externas adicionales, las realizaciones ilustrativas de la invención diseñan la dimensión de la sección transversal del hilo 12 de una manera prescrita. Las realizaciones ilustrativas colocan entonces el hilo 12 dentro del horno de crecimiento de cristal 14 de una manera que aumenta el tamaño de la parte de cuello 36 del cristal en cinta en crecimiento 10. Por ejemplo, el cristal en cinta resultante 10 con un grosor medio
40 de aproximadamente 190 μm puede tener una parte de cuello 36 con un grosor mínimo de aproximadamente 60 μm , lo cual puede ser suficiente en ciertas aplicaciones. En consecuencia, esta innovación debería reducir la pérdida de productividad, reduciendo así los costes de producción.

La Figura 4A muestra esquemáticamente un hilo 12 que puede formarse de acuerdo con realizaciones ilustrativas de
45 la invención. Aunque esta figura parece mostrar una sección transversal generalmente convexa o redondeada, debería considerarse meramente esquemática y no representativa de ninguna forma de sección transversal específica. Con ese fin, la Figura 4B muestra esquemáticamente ocho vistas de posibles secciones transversales diferentes del hilo 12 de la Figura 4A a lo largo de la línea transversal B-B de acuerdo con varias realizaciones diferentes de la invención. Por ejemplo, algunas de las formas son generalmente alargadas, tales como la forma
50 irregular del hilo uno, la forma rectangular del hilo dos, y la forma un tanto elíptica del hilo tres.

Tanto si son alargados como si no, los diversos hilos 12 pueden categorizarse como generalmente cóncavos o generalmente convexos. Tal como se usa en este documento, la forma de sección transversal es generalmente cóncava cuando cualquier parte de su perímetro forma al menos una concavidad no insignificante. Así, se considera
55 que el hilo uno es generalmente cóncavo a pesar de sus otras partes convexas. Inversamente, se considera que una forma de sección transversal es generalmente convexa cuando su perímetro forma concavidades insignificantes. Así, el hilo dos y el hilo tres de la Figura 4B son generalmente convexos.

La Figura 4B muestra otras varias formas de sección transversal de hilo que son generalmente cóncavas. De hecho,
60 algunas pueden considerarse alargadas y cóncavas. Aquellas que son alargadas entran dentro del significado de las reivindicaciones que vienen a continuación. Por ejemplo, el hilo cuatro es en forma generalmente de "C", cóncavo y alargado, mientras que el hilo cinco es en forma generalmente de cruz, cóncavo, pero no alargado. La forma del hilo cinco (en forma de cruz) no es alargada porque es generalmente simétrica -- tanto la parte horizontal como la vertical de la cruz son aproximadamente del mismo tamaño. Dependiendo de sus dimensiones reales, el hilo ocho, que es
65 en forma generalmente de "T", puede o puede no considerarse alargado. Por ejemplo, si la parte de la forma de "T" que se extiende hacia abajo es más larga que su parte horizontal, entonces el hilo ocho puede considerarse

alargado. En cualquier caso, se considera que el hilo ocho es generalmente cóncavo.

Algunas realizaciones usan hilos plurales 12 para formar un borde de un cristal en cinta 10. Los hilos seis y siete muestran dos de tales realizaciones. Específicamente, el hilo seis muestra una realización en la que los hilos individuales 12 contactan físicamente entre sí en el cristal en cinta final 10, mientras que el hilo siete muestra otra realización en la que los hilos individuales 12 están separados uno de otro en el cristal en cinta final 10. Cabe destacar que las realizaciones que usan hilos plurales 12 pueden usar más de dos hilos 12. Además, los hilos individuales 12 de esta realización de hilos plurales pueden tener formas de sección transversal iguales o diferentes (por ejemplo, un primer hilo de forma elíptica 12 y otro hilo en forma de cruz o circular 12).

10 Cabe destacar que las formas específicas de la Figura 4B son meramente ejemplos de una diversidad de diferentes formas de sección transversal de hilo. Por consiguiente, los expertos en la materia entenderían que otras formas de hilo entran dentro del alcance de diversas realizaciones.

15 La Figura 5 muestra un procedimiento ilustrativo de formación de un cristal en cinta de hilo 10 con hilos 12 configurados de acuerdo con realizaciones ilustrativas de la invención. Por simplicidad, este procedimiento se analiza con referencia al hilo dos de la Figura 4B solamente -- porque el hilo dos es el único hilo 12 de esa figura que muestra explícitamente diversas capas de hilo analizadas en este procedimiento. No obstante, cabe destacar que los principios analizados se aplican a hilos 12 que tienen otras formas de sección transversal, u otros hilos
20 formados por otros procedimientos.

El procedimiento empieza en la etapa 500 formando un núcleo/sustrato 28, que actúa como sustrato para recibir una capa de material refractario. Tal como se analiza con mayor detalle en la patente de EE.UU. 7651768 y el documento WO2009/029741A que corresponde al US-A1-2009/0060823, ambos a nombre del solicitante,
25 reivindicando las mismas fechas de prioridad, presentados y publicados los mismos días que la presente solicitud, el núcleo 28 puede formarse a partir de carbono mediante procedimientos de extrusión convencionales. En otras realizaciones, sin embargo, el núcleo 28 puede ser un cable, un filamento o una pluralidad de pequeñas fibras conductoras enrolladas entre sí como una hebra. Por ejemplo, los procedimientos de post-fabricación podrían formar un monofilamento por medio de un procedimiento de fabricación conocido, tal como oxidación, carbonización o
30 infiltración.

El núcleo 28 puede tener la forma de sección transversal deseada. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 4B, el núcleo 28 del hilo dos es generalmente rectangular. Alternativamente, el núcleo 28 puede tener una forma de sección transversal diferente, mientras que el equipo de aplicación de material refractario puede estar configurado
35 especialmente para formar la forma de sección transversal deseada. Por ejemplo, el equipo de extrusión puede estar configurado especialmente para formar la forma de sección transversal a partir de un material del núcleo que tenga una forma de sección transversal especificada previamente que sea igual o diferente a la de la forma de sección transversal del hilo final.

40 Después de formar el núcleo 28, el procedimiento forma un primer recubrimiento/capa, que actúa como la capa de material refractario 30 anteriormente indicada (etapa 502). Entre otras cosas, el primer recubrimiento 30 puede incluir carburo de silicio, tungsteno o una combinación de carburo de silicio y tungsteno. Además, esta primera capa puede formarse de varios modos convencionales, tales como con un procedimiento de recubrimiento por CVD (deposición química en fase vapor) convencional (y a menudo complejo).

45 Para evitar el uso de maquinaria compleja y productos químicos peligrosos de un procedimiento de CVD, las realizaciones ilustrativas extruden el material refractario directamente sobre el núcleo/sustrato 28. Esto puede implicar, entre otras cosas, un procedimiento de pultrusión, o ambos, hilado de un material refractario con un componente polimérico, que posteriormente es horneado. El procedimiento puede usar al menos un componente de
50 carbono, silicio, carburo de silicio, nitruro de silicio, aluminio, mullita, dióxido de silicio, partículas de BN, o fibras mezcladas con un aglomerante polimérico, junto con extrusión/pultrusión. Esto también puede implicar extrusión de bicomponentes de un núcleo 28 con al menos un carburo de silicio, silicio, y una funda con al menos uno de óxido, mullita, carbono, y/o carburo de silicio. Por consiguiente, como se indicó anteriormente, el núcleo 28 actúa de hecho como sustrato para sostener la capa de material refractario 30.

55 Esta etapa forma así lo que se considera que es una parte de hilo base 26. Debería reiterarse que la parte de hilo base 26 puede formarse a partir de uno o más de cualquiera de una amplia variedad de materiales. Tales materiales pueden incluir una fibra o hebra de grafito, un material refractario, tal como tungsteno o carburo de silicio, o una combinación de los mismos. De hecho, algunas realizaciones pueden formar la parte de hilo base 26 sin un núcleo
60 28.

En este punto del procedimiento, la parte de hilo base 26 tiene un coeficiente de dilatación térmica combinado que, preferentemente, coincide en general con el coeficiente de dilatación térmica del material de la cinta. Específicamente, las características de dilatación térmica del hilo 12 deberían coincidir suficientemente bien con el
65 material de la cinta de manera que no se desarrolle tensión excesiva en la superficie de contacto. La tensión se considera excesiva si el hilo 12 presenta una tendencia a separarse de la cinta durante las etapas posteriores de

manipulación razonable y proceso del cristal en cinta, o si el hilo 12 presenta una tendencia a rizarse hacia el exterior o hacia el interior desde el borde del cristal en cinta. En otras realizaciones, sin embargo, el coeficiente de dilatación térmica de la parte de hilo base 26 no coincide en general con el del material de la cinta.

- 5 Algunas realizaciones de la invención pueden tener una o más capas adicionales, dependiendo de la aplicación. Por ejemplo, como se analiza con mayor detalle en el documento anteriormente indicado WO2009/029741A, que corresponde al US-A-2009/0060823, el hilo 12 puede tener una capa no humectante/humectante reducida 32 para aumentar el tamaño de grano del material de la cinta. En ese caso, el procedimiento continúa en la etapa 504, que forma una capa expuesta no humectante/reducida 32 sobre la parte de hilo base 26. En aplicaciones sensibles a
- 10 diferencias de coeficiente de dilatación térmica, esta capa 32 es preferentemente muy delgada de manera que tiene un impacto insignificante sobre el coeficiente de dilatación térmica global del hilo. Por ejemplo, la capa humectante reducida 32 debería ser mucho más delgada que la de la capa de material refractario 30.

En realizaciones que usan esta capa no humectante 32, el ángulo de contacto con el material de la cinta de su superficie exterior debería controlarse cuidadosamente para hacer que el material de la cinta fundido se adhiera a ella -- de lo contrario, el procedimiento no puede formar el cristal en cinta 10. En aplicaciones que usan polisilicio fundido, por ejemplo, se prevé que los ángulos de contacto con el silicio de entre aproximadamente 15 y 120 grados deberían producir resultados satisfactorios. Tales ángulos de más de 25 grados pueden producir mejores resultados.

20 Entre otras maneras, la capa no humectante 32 puede formarse mediante procedimientos de CVD, de recubrimiento por inmersión u otros procedimientos. Por ejemplo, la parte de hilo base 26 puede ser recubierta mediante CVD aplicando contactos eléctricos en una cámara de deposición mientras que se suministra a través de la cámara -- calentando así la propia parte de hilo base 26. Alternativamente, la parte de hilo base 26 puede calentarse mediante calentamiento por inducción a través de la cámara.

25 Las técnicas relacionadas para implementar esta etapa incluyen:

- un baño de sol-gel para óxido de sílice o alúmina u oxycarburo de silicio, ya sea al final de un horno de CVD o durante el rebobinado,
- 30 • un recubrimiento no humectante por CVD depositado calentando cuarzo desde el exterior y calentando por inducción la parte de hilo base 26,
- deposición por pulverización con un aglomerante polimérico que posteriormente sería quemado,
- sacudir partículas sobre una parte de hilo base 26 o hebra y luego hornearlas con la parte de hilo base 26 o hebra, y
- 35 • recubrir la parte de hilo base 26 con lechada refractaria (por ejemplo, carburo de silicio/dióxido de silicio) o líquido y luego quemar el residuo.

El hilo 12 también puede tener una capa de manipulación 34 radialmente hacia el exterior de la capa de material refractario 30 para mantener la integridad de la parte de hilo base 26. Con ese fin, si se incluye, la capa de manipulación 34 proporciona un pequeño esfuerzo de compresión a la parte de hilo base 26, mejorando así la robustez del hilo global 12. Por consiguiente, si la parte de hilo base 26 desarrolla una grieta, el esfuerzo de compresión de la capa de manipulación 34 debería reducir la probabilidad de que el hilo 12 se rompa. Entre otras cosas, la capa de manipulación 34 puede ser una capa delgada de carbono (por ejemplo, de uno o dos micrómetros de grosor para hilos 12 que tienen tamaños generalmente conocidos).

45 Por consiguiente, antes de realizar la etapa 504, algunas realizaciones pueden formar una capa de manipulación 34 que está separada de la capa no humectante producida 32 (por ejemplo, véase el hilo dos de la Figura 4B). Así, en tal realización, la capa humectante no humectante 32 cubre sustancialmente la capa de manipulación 34. Más específicamente, la capa no humectante 32 cubre la superficie exterior circunferencial de la capa de manipulación

50 34. Algunas realizaciones, sin embargo, pueden integrar la capa no humectante 32 dentro de la capa de manipulación 34.

Luego se determina en la etapa 506 si el hilo recubierto 12 tiene filamentos que se extienden a través de la capa no humectante 32 (tales filamentos se denominan en este documento "rebabas"). Esto puede ocurrir, por ejemplo,

55 cuando una hebra de filamentos forma el núcleo 28. Si el hilo recubierto 12 tiene rebabas, entonces el procedimiento las recorta en la etapa 508. El procedimiento puede entonces retornar a la etapa 504, que vuelve a aplicar la capa no humectante 32.

Alternativamente, si el hilo 12 no tiene rebabas, el procedimiento continúa en la etapa 510, que proporciona el hilo

60 12 al horno 14 como se muestra en la Figura 2. Con ese fin, algunas realizaciones proporcionan un solo hilo 12 para cada borde del cristal en cinta, o múltiples hilos 12 para cada borde de cristal en cinta (por ejemplo, los hilos seis y siete de la Figura 6B). El término "hilo", a menos que se modifique explícitamente al contrario (por ejemplo, por las palabras "solo" o "múltiple"), cuando se menciona con referencia a la formación de un límite anchura de un cristal en cinta 10, significa generalmente uno o más hilos.

65

En vez de usar los procedimientos anteriores para formar el hilo 12, algunas realizaciones mecanizan o perforan una concavidad dentro de un hilo redondeado o, si no, generalmente convexo 12. Por consiguiente, el hilo 12 puede formarse por otros procedimientos.

5 Las realizaciones ilustrativas orientan los hilos 12 en el horno 14 de una manera que aumenta el grosor de la parte de cuello del cristal en cinta 36. Por ejemplo, las Figuras 6A-6C muestran esquemáticamente vistas de la sección transversal de tres cristales en cinta 10 con hilos 12 que tienen formas de sección transversal alargada, generalmente elíptica, generalmente convexa. Para aumentar el grosor de la parte de cuello 36, estas realizaciones orientan sus ejes generalmente longitudinales 42 respectivos de manera que divergen con la dimensión de anchura de sus cristales en cinta 10 respectivos. En otras palabras, para divergir, el eje longitudinal 42 no es paralelo a la dimensión de anchura de sus cristales en cinta 10 respectivos -- en cambio, el eje longitudinal 42 y la dimensión de anchura se cortan.

Más específicamente, la sección transversal de cada hilo 12 tiene una dimensión más grande, cada una de las cuales se muestra como flechas de doble punta en las Figuras 6A-6C. A efectos de referencia, el eje longitudinal 42 de cada una de estas formas de sección transversal alargadas se considera así que es colineal con la dimensión más grande. Las técnicas de la técnica anterior conocidas por el inventor orientan este eje longitudinal 42 generalmente paralelo a la dimensión de anchura del cristal en cinta 10. Contrariamente a esta enseñanza explícita en la técnica, sin embargo, los inventores descubrieron que orientar el eje longitudinal 42 de manera que diverja con la dimensión de anchura del cristal en cinta debería aumentar el tamaño del cuello.

Por ejemplo, la Figura 6A orienta el eje longitudinal 42 sustancialmente perpendicular a la dimensión de anchura, mientras que la Figura 6C orienta el eje longitudinal 42 para formar un ángulo poco inclinado respecto a la dimensión de anchura. La Figura 6B orienta el eje longitudinal 42 entre los extremos de las Figuras 6A y 6C. Cualquier realización debería aumentar el tamaño de la parte de cuello 36 comparada con la técnica de la técnica anterior indicada más arriba. Este aumento de tamaño del cuello, por consiguiente, debería reducir la rotura, mejorando así la productividad.

Cabe destacar que otras orientaciones distintas de las mostradas en las Figuras 6A-6C también deberían proporcionar resultados satisfactorios. Por ejemplo, orientar el eje longitudinal 42 de una manera tal que esté girado aproximadamente 90 grados (ya sea en sentido de las agujas del reloj o contrario a las agujas del reloj) respecto al ángulo mostrado en la Figura 6B también debería aumentar el tamaño del cuello.

A medida que los hilos 12 se desplazan a través del horno 14, el material de la cinta fundido (de cada cristal en cinta 10) forma un menisco. Durante las pruebas, el inventor descubrió que elevar la altura del menisco también aumentaba generalmente el grosor de la parte de cuello 36. Con ese fin, los inventores reconocieron que los radios principales de las formas de sección transversal del hilo deberían tener ciertas propiedades prescritas.

Más específicamente, la diferencia de presión a través de la superficie de contacto estática entre el gas y el material fundido está definida por la ecuación de Young-Laplace, que se expone de la siguiente manera:

$$P_I - P_{II} = \sigma \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

donde:

45 P_I es la presión del material fundido,
 P_{II} es la presión del gas,
 r_1 y r_2 son los radios de curvatura principales del menisco, y
 σ (ρ) es la tensión superficial.

50 El inventor determinó que la altura del menisco debería aumentar si la presión del material fundido es inferior a la presión del gas. Para lograr esto, los inventores determinaron que los radios de curvatura principales del menisco deberían ser pequeños cuando son positivos (es decir, cuando la forma de sección transversal es generalmente cóncava). A la inversa, si el segundo radio de curvatura r_2 es negativo, en cuyo caso la forma de sección transversal es generalmente convexa, entonces el segundo radio de curvatura r_2 debería ser grande.

55 Las pruebas iniciales confirman estas conclusiones. Por otra parte, tales ensayos arrojaron resultados adicionales sorprendentes. Específicamente, el inventor se dio cuenta del fenómeno de elevación del menisco haciendo pasar dos hilos individuales 12 a través del material fundido para un solo borde de un cristal en cinta 10. Las Figuras 7A y 7B muestran esquemáticamente cristales en cinta 10 formados usando esta técnica.

60 El inventor también se dio cuenta de otro resultado sorprendente cuando los hilos individuales 12 para cada borde estaban separados (Figura 7B). En particular, en un ensayo, los dos hilos individuales 12 que forman un solo borde estaban separados aproximadamente $d700 \mu\text{m}$. Además del engrosamiento de la parte de cuello 36, un examen

detenido de este borde también mostró granos más grandes cerca de esa zona -- un resultado que era completamente inesperado (estos hilos individuales 12 no tenían la capa no humectante 32 indicada anteriormente). Como tal, el inventor cree que tal técnica, y las técnicas relacionadas, también deberían mejorar la eficiencia eléctrica del cristal en cinta 10.

5

Las Figuras 8A y 8B muestran esquemáticamente dos cristales en cinta 10 con hilos 12 que tienen una forma de sección transversal generalmente cóncava. Tal como se muestra, los hilos 12 están orientados de manera que sus concavidades están orientadas o bien completamente hacia, o bien completamente en dirección opuesta a la anchura de la oblea (es decir, en la dirección X). En particular, la concavidad está orientada generalmente de manera simétrica, por ejemplo, la concavidad forma una imagen especular por encima y por debajo del eje X. Se prefiere esta orientación porque el inventor cree que conformará el menisco de una manera que promueve el crecimiento apropiado del cristal. La rotación significativa desde estas orientaciones (ya sea en sentido de las agujas del reloj o contrario a las agujas del reloj), sin embargo, puede afectar a la forma del menisco para impedir el crecimiento apropiado del cristal. Los expertos en la materia pueden aplicar este concepto a un hilo 12 que tiene múltiples concavidades o concavidades en lados opuestos de la forma de sección transversal (por ejemplo, una forma de cruz).

En este punto, para cada cristal en cinta 10 que se hace crecer, el procedimiento hace pasar dos hilos 12 (que forman juntos la anchura de cristal en cinta final) a través del horno 14 y el crisol 18, formando así el cristal en cinta de hilo 10 (etapa 512).

Por consiguiente, las orientaciones ilustrativas de la invención orientan hilos configurados especialmente 12 dentro de un cristal en cinta 10 para aumentar el grosor del cuello. Alternativamente, o además, los hilos configurados especialmente 12 elevan la altura del menisco dentro del horno 14 para aumentar más el grosor del cuello. Por lo tanto, los cristales en cinta 10 hechos crecer usando esta técnica deberían ser menos propensos a rotura, mejorando así las productividades.

Aunque el análisis anterior desvela diversas realizaciones de ejemplo de la invención, debería resultar evidente que los expertos en la materia pueden realizar diversas modificaciones que lograrán algunas de las ventajas de la invención dentro del alcance de las reivindicaciones que vienen a continuación.

REIVINDICACIONES

1. Un cristal en cinta (10) que comprende:
- 5 un cuerpo alargado que tiene una dimensión de anchura perpendicular a su longitud y una dimensión de grosor perpendicular a su anchura; y
- primer y segundo hilos (12) incrustados dentro del cuerpo en extremos opuestos de la anchura y paralelos a la longitud, estando caracterizado el cristal en cinta por:
- 10 tener el primer hilo una forma de sección transversal generalmente alargada, teniendo la sección transversal del hilo un eje longitudinal (42) que no es paralelo a la dimensión de anchura.
2. El cristal en cinta según se define en la reivindicación 1, en el que el eje longitudinal es
- 15 sustancialmente perpendicular a la dimensión de anchura del cuerpo.
3. El cristal en cinta según se define por la reivindicación 1, en el que la sección transversal del hilo es de forma generalmente irregular.
- 20 4. El cristal en cinta según se define por la reivindicación 1, en el que el primer hilo comprende una pluralidad de hilos.
5. El cristal en cinta según se define por la reivindicación 1, en el que la sección transversal del cuerpo tiene un cuello (36) con un grosor mínimo que es mayor de aproximadamente 60 μm .
- 25 6. El cristal en cinta según se define por la reivindicación 1, en el que el cuerpo tiene una forma generalmente convexa.
7. El cristal en cinta según se define por la reivindicación 1, en el que el segundo hilo comprende una
- 30 pluralidad de hilos.
8. Un procedimiento de formación de un cristal en cinta, comprendiendo el procedimiento:
- proporcionar un conjunto de hilos que tienen cada uno una forma de sección transversal generalmente alargada,
- 35 teniendo la sección transversal del o cada hilo del conjunto un eje generalmente longitudinal;
- añadir material fundido a un crisol;
- hacer pasar el conjunto de hilos en una dirección dada a través del material fundido haciendo que el material fundido
- 40 se solidifique por encima de una superficie de contacto para formar una lámina, teniendo la lámina una dimensión de anchura que es generalmente perpendicular a la dirección dada del conjunto de hilos,
- estando al menos un hilo orientado de manera que su eje longitudinal no es paralelo a la dimensión de anchura.
- 45 9. El procedimiento según se define por la reivindicación 8, en el que el conjunto de hilos comprende al menos dos hilos.
10. El procedimiento según se define por la reivindicación 8, en el que el hacer pasar comprende hacer pasar dos hilos en la dirección dada a través del material fundido, estando la dimensión de anchura definida
- 50 generalmente por los dos hilos, estando los dos hilos orientados de manera que cada uno de sus ejes longitudinales no es paralelo a la dimensión de anchura.
11. El procedimiento según se define por la reivindicación 8, en el que el material fundido comprende un material con base de silicio.
- 55 12. El procedimiento según se define por la reivindicación 8, en el que la forma de sección transversal del conjunto de hilos es generalmente convexa, o un elipsoide general o un rectángulo.
13. El procedimiento según se define por la reivindicación 8, en el que la forma de sección transversal del
- 60 conjunto de hilos tiene una dimensión larga que es generalmente paralela al eje longitudinal, teniendo una forma de sección transversal del conjunto de hilos también una dimensión corta que es generalmente perpendicular a la dimensión larga, siendo la dimensión corta generalmente irregular.
14. El procedimiento según se define por la reivindicación 8, en el que la forma de sección transversal del
- 65 conjunto de hilos es generalmente cóncava.

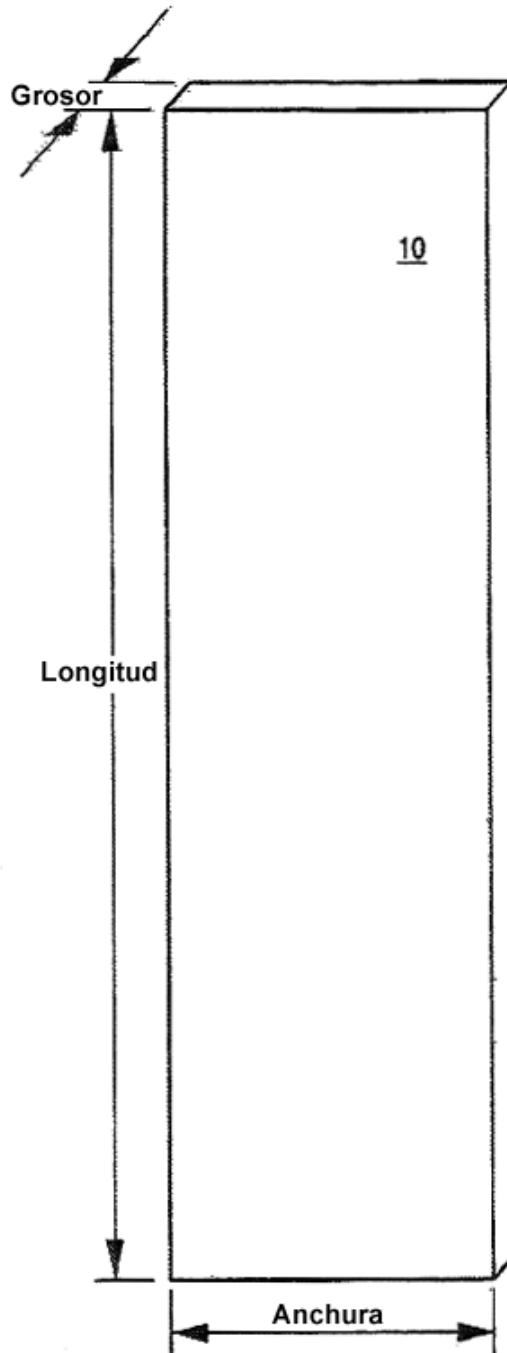


FIG. 1

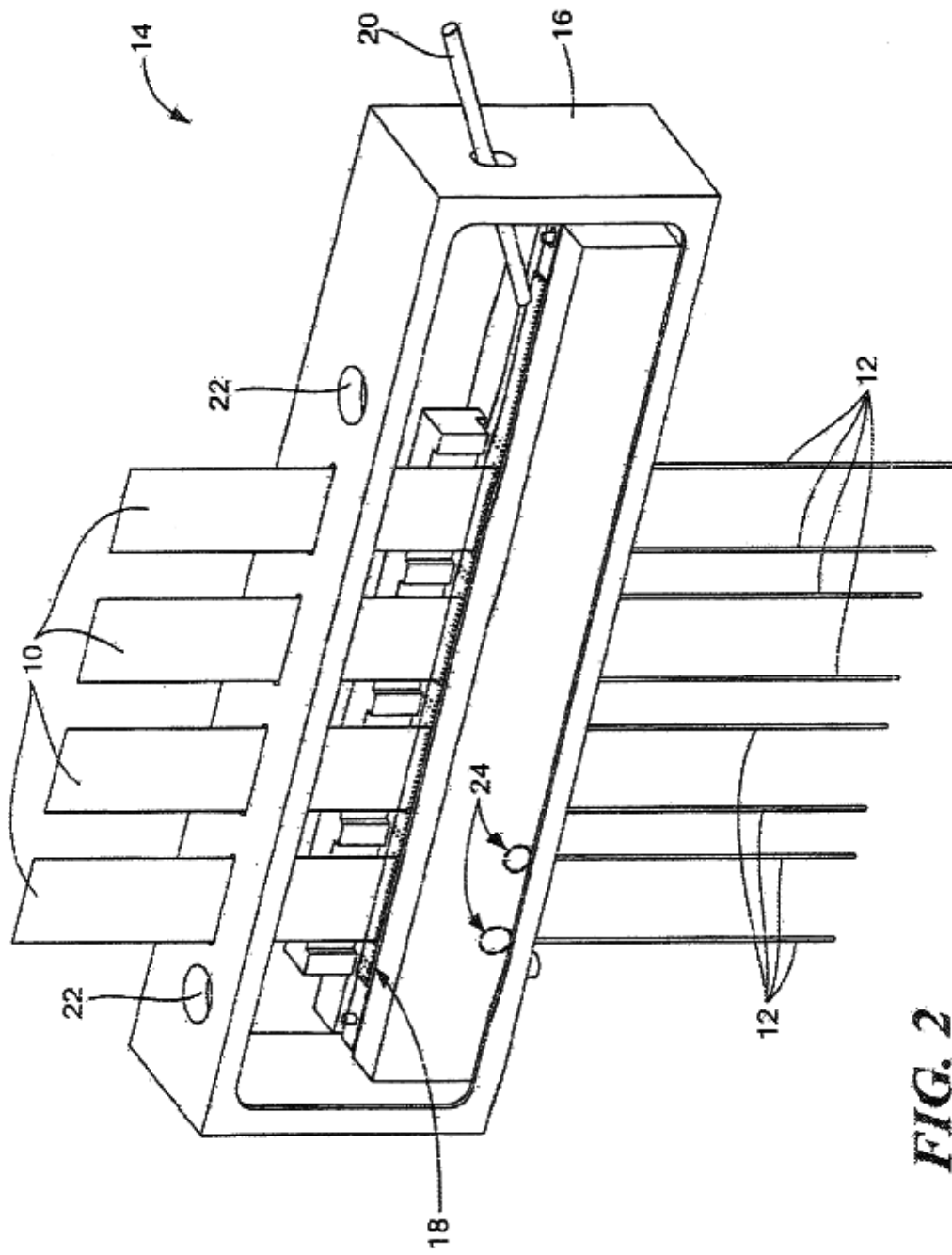


FIG. 2

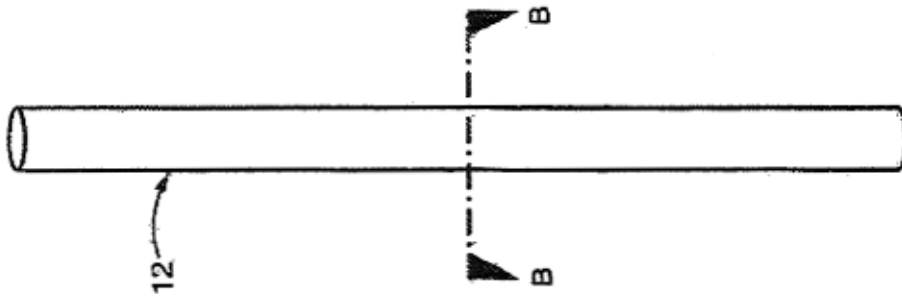


FIG. 4A

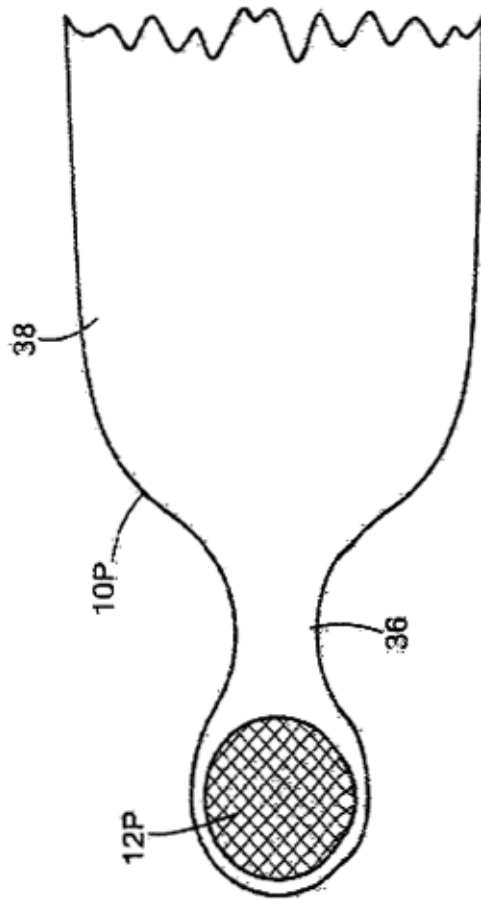


FIG. 3

TÉCNICA ANTERIOR

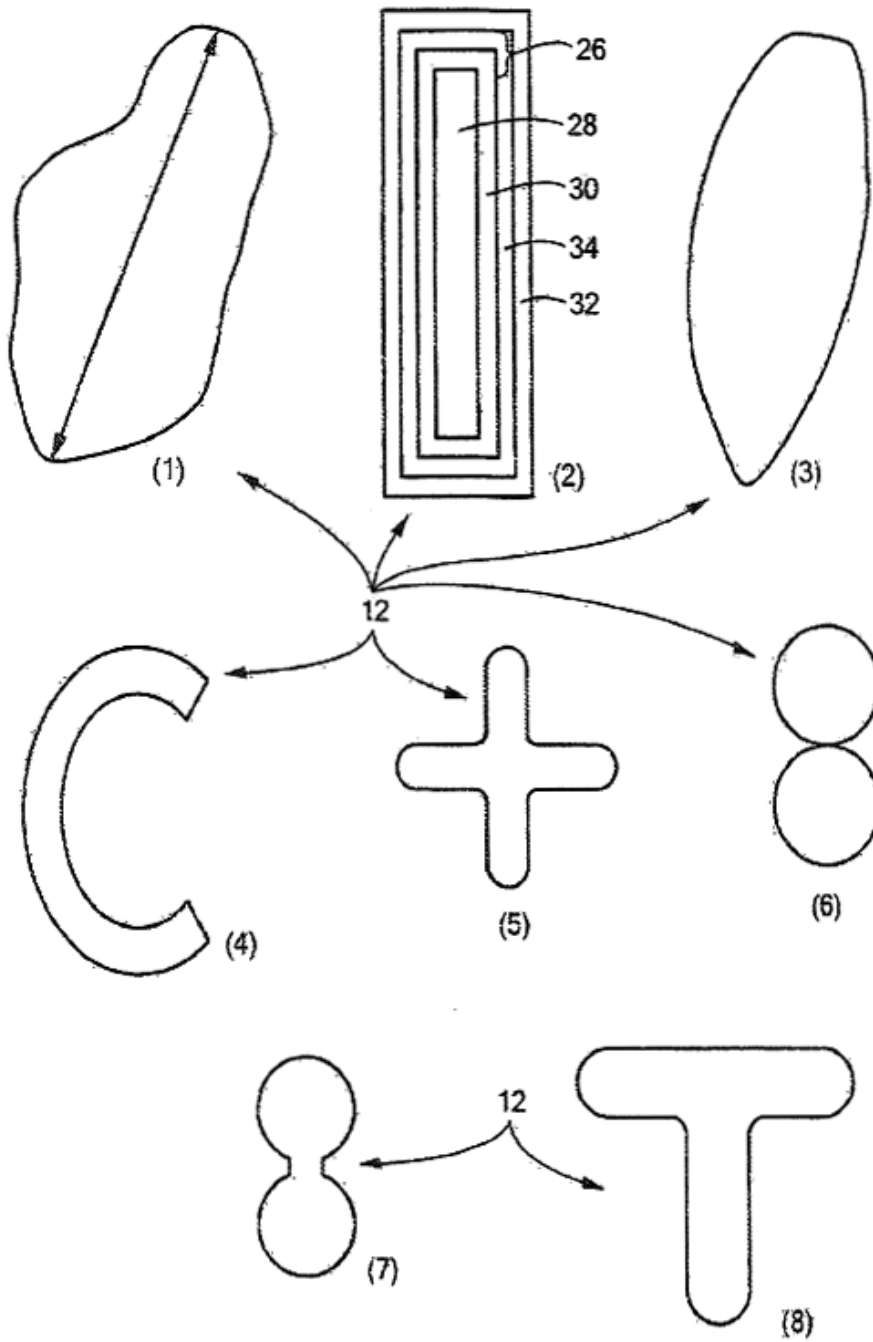


FIG. 4B

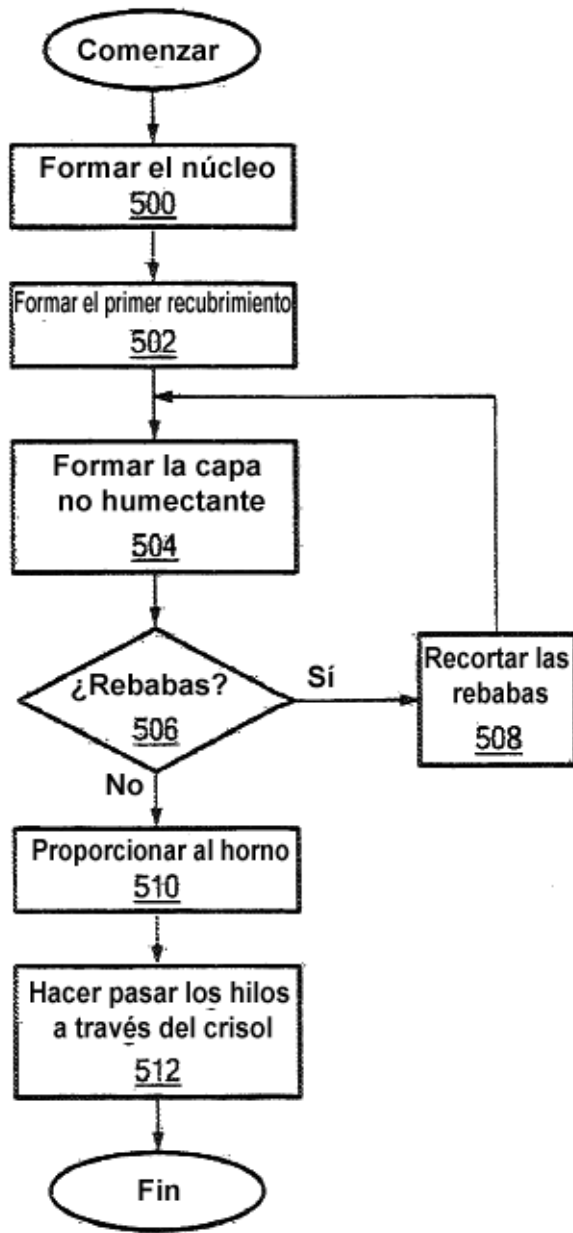
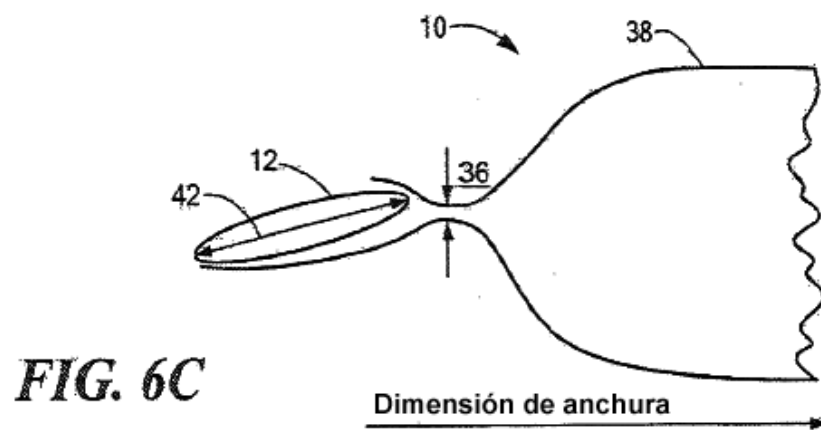
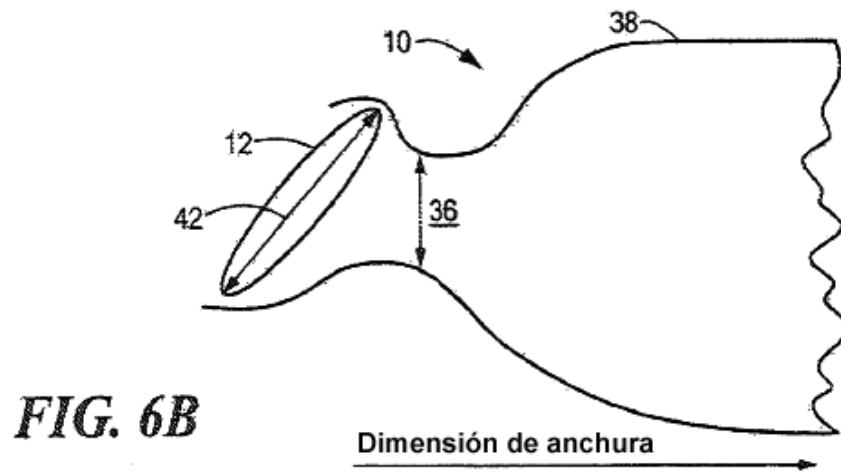
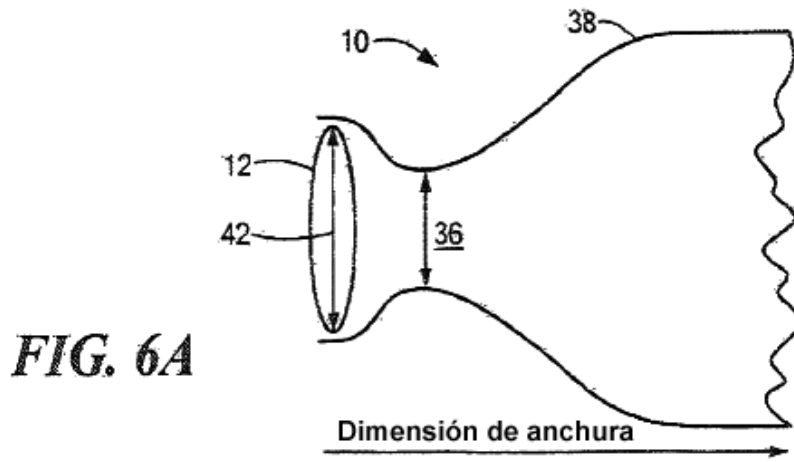


FIG. 5



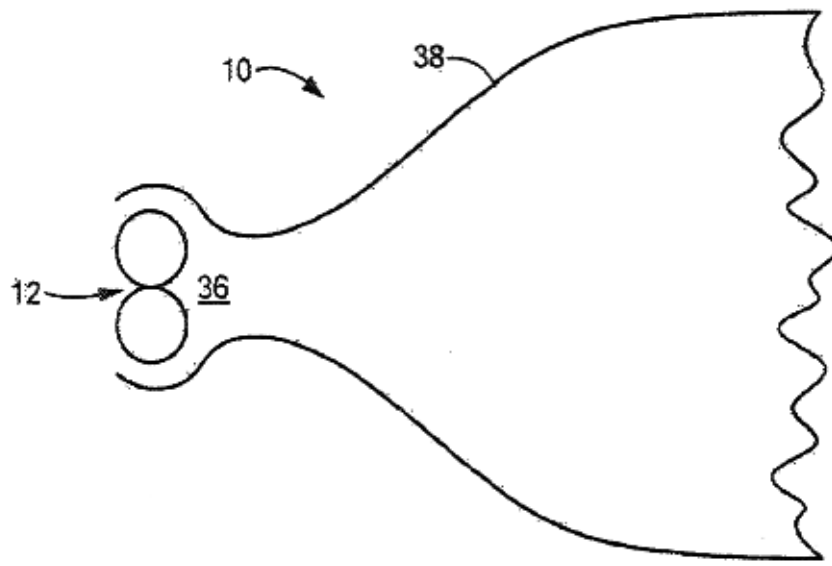


FIG. 7A

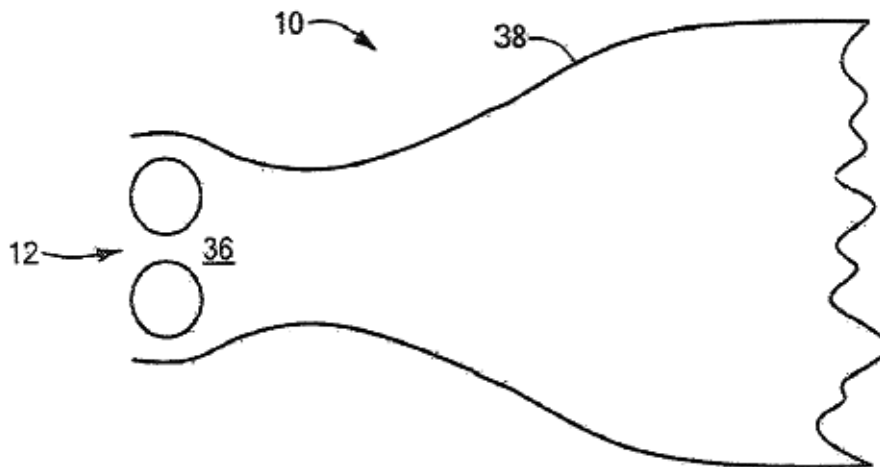


FIG. 7B

