

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 451 571**

51 Int. Cl.:

**C30B 28/10** (2006.01)

**B22D 11/045** (2006.01)

**C01B 33/00** (2006.01)

**C01B 33/037** (2006.01)

**C30B 11/00** (2006.01)

**C30B 29/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2011 E 11167355 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.12.2013 EP 2524977**

54 Título: **Aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua para facilitar el control de la temperatura y procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio usando el mismo**

30 Prioridad:

**19.05.2011 KR 20110047263**

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

**27.03.2014**

73 Titular/es:

**KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH  
(100.0%)  
71-2 Jang-dong, Yuseong-gu  
Daejeon 305-343 , KR**

72 Inventor/es:

**JANG, BO YUN;  
LEE, JIN SEOK y  
KIM, JOON SOO**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 451 571 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**

Aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua para facilitar el control de la temperatura y procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio usando el mismo

**Antecedentes**

5 **1. Campo de la invención**

La presente invención se refiere a una técnica de fabricación de un sustrato de silicio usando colada continua y, más en particular, a un aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua que puede mejorar la calidad, productividad y la eficacia en la conversión de energía del sustrato de silicio para células solares y un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando el mismo.

10 **2. Descripción de la técnica relacionada**

En general, un sustrato de silicio para células solares se fabrica solidificando silicio fundido para preparar un lingote de silicio monocristalino o un bloque de silicio policristalino que a su vez se somete a un proceso de corte.

El lingote de silicio monocristalino se fabrica a partir del silicio fundido por medio del crecimiento de cristal de un cristal de núcleo mediante un proceso Czochralski.

15 El bloque de silicio policristalino se fabrica por medio de un proceso de solidificación unidireccional usando un procedimiento de intercambio de calor (HEM) o procedimiento Bridgman-Stock-barger.

El lingote de silicio monocristalino o bloque de silicio policristalino preparado se somete a varios procesos de corte para producir un sustrato de silicio.

20 La figura 1 es un diagrama de flujo de un procedimiento convencional de fabricación de un sustrato de silicio usando un lingote de silicio monocristalino.

En referencia a la figura 1, el lingote de silicio monocristalino se somete a los siguientes procesos para producir un sustrato de silicio.

25 En primer lugar, se realiza el recorte para cortar un reborde y una cola del lingote. En segundo lugar, se realiza el amolado para amolar el lingote hasta un tamaño deseado, es decir, un diámetro deseado. En tercer lugar, se realiza el aplanamiento para formar una porción plana o con muescas en el lingote para reconocer una dirección. En cuarto lugar, se realiza el rebanado para cortar el lingote y darle forma de oblea. En quinto lugar, se realiza el perfilamiento de bordes para procesar un borde de la oblea y darle una forma redondeada para impedir roturas. En sexto lugar, se realiza el lapidado para pulir ambos lados de la oblea y eliminar los defectos del rebanado, mejorar la lisura y ajustar el espesor. En séptimo lugar, se realiza el ataque químico para eliminar químicamente una capa defectuosa de la superficie de la oblea. Por último, se realiza el pulido para formar superficies especulares con un excelente aplanado en uno o ambos lados de la oblea por medio de un proceso químico o físico.

30 En este caso, se elimina aproximadamente el 50 % del lingote como pérdida Kerf por medio del recorte, amolado, aplanamiento y rebanado.

35 La figura 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento convencional de fabricación de un sustrato de silicio usando un bloque de silicio policristalino.

En referencia a la figura 2, el bloque de silicio policristalino se somete a los siguientes procesos para producir un sustrato de silicio.

40 En primer lugar, se realiza el desbaste para cortar el bloque de silicio policristalino hasta un tamaño deseado. En segundo lugar, se realiza el recorte para cortar la cabeza y la cola del bloque de silicio. En tercer lugar, se realiza el amolado de los bordes para procesar un borde del bloque de silicio hasta una forma redondeada. En cuarto lugar, se realiza el rebanado para cortar el bloque de silicio y darle forma de oblea. En quinto lugar, se realiza el pulido para formar superficies especulares con una excelente lisura en uno o ambos lados de la oblea por medio de un proceso químico o físico.

45 En este caso, el bloque de silicio experimenta una pérdida Kerf del 40 % por medio del desbaste, recorte, redondeado de bordes y rebanado.

Según lo cual, al fabricar el sustrato de silicio usando el lingote de silicio monocristalino o bloque de silicio policristalino, ocurre una pérdida Kerf del 40 % o más por medio de varios procesos de corte. De esta manera, la pérdida Kerf provoca un incremento en los costes de fabricación del sustrato de silicio, que es un elemento principal de una célula solar.

50

Mientras tanto, en un proceso reciente de fabricación de un sustrato de silicio para células solares, se obtiene directamente un sustrato de silicio fino a partir de silicio fundido sin el proceso de preparar el lingote de silicio monocristalino o lingote de silicio policristalino y sin el proceso de cortar el lingote o bloque, de manera que la pérdida Kerf puede impedirse fundamentalmente al fabricar el sustrato de silicio para células solares.

- 5 En otras palabras, este procedimiento permite que se fabrique directamente el sustrato de silicio solidificado a partir de silicio fundido. De esta manera, este procedimiento reduce los costes de fabricación del sustrato de silicio hasta en un 50 % al eliminar los procesos de preparar y cortar el lingote.

10 Actualmente, una técnica de fabricación de directamente un sustrato de silicio para células solares puede clasificarse como de tipo de crecimiento vertical y de tipo de crecimiento horizontal. El tipo de crecimiento vertical incluye un proceso de crecimiento de película con borde definido (EFG), un proceso String Ribbon (SR) y similares, y el tipo de crecimiento horizontal incluye un proceso de crecimiento de cinta en sustrato (RGS), un proceso de película de silicio, un proceso de cristalización en sustrato sumergido (CDS) y similares.

15 La patente de Estados Unidos 4329195 describe un procedimiento de crecimiento de una única cinta fina semiconductor de cristal, en el que en una realización la cinta de cristal se extrae horizontalmente de la sustancia fundida.

20 Wolfgang Koch y col. en "*Preparation, characterization and cell processing of Bayer AGS silicon foils (ribbon on growth substrate)*" en la Segunda Conferencia Mundial sobre la Conversión de Energía Solar Fotovoltaica, en Viena, Austria, del 6 al 10 de Julio de 1998, describen un procedimiento de crecimiento de cinta en sustrato (RGS) por el que mediante un funcionamiento continuo puede producirse la oblea del sustrato a un ritmo de una oblea por segundo, es decir, 6.000 cm<sup>2</sup> por minuto.

La figura 3 muestra una vista esquemática de un procedimiento de solidificación en fabricación directa de un sustrato de silicio a partir de silicio fundido por medio del proceso RGS y microestructura del sustrato de silicio fabricado mediante este procedimiento.

25 Una técnica de fabricación de un sustrato de silicio por medio del proceso RGS hace posible una fabricación directa del sustrato de silicio por medio de crecimiento horizontal. Esta técnica asegura un alto ritmo de producción mediante la rápida eliminación del calor latente del sustrato de silicio fabricado por medio de un sustrato inferior, proporcionando una productividad más alta que cualquier otra técnica conocida en la práctica industrial para la fabricación directa de un sustrato de silicio para células solares.

30 En referencia a la figura 3, al fabricar un sustrato de silicio para células solares usando esta técnica, se forma una interconexión sólida/líquida en la dirección vertical y está en un ángulo recto con la dirección de crecimiento horizontal del sustrato de silicio, formando por tanto una superficie inclinada. Como resultado, el sustrato tiene densos granos de cristal y se procede a la solidificación del silicio a lo largo de la interconexión sólida/líquida inclinada, de manera que las impurezas se dispersan por la superficie del sustrato de silicio provocando un deterioro de la calidad del sustrato de silicio.

35 Sin embargo, cuando se utiliza tal sustrato de silicio como sustrato para células solares no puede esperarse una alta eficacia en la conversión de energía debido a la baja calidad del sustrato.

40 Para la técnica de crecimiento vertical, ya que la dirección de crecimiento del cristal es paralela a la dirección de continuación, el cristal crece en la dirección longitudinal para tener un tamaño grande, mejorando por tanto la eficacia en la conversión de energía de la célula solar. Sin embargo, a pesar de tal mérito, la técnica de crecimiento vertical tiene un ritmo de solidificación muy bajo, lo que significa una desventaja en términos de productividad.

45 Por otro lado, para la técnica de crecimiento horizontal, ya que la dirección de crecimiento del cristal es vertical a la dirección de continuación, el cristal crece en la dirección del espesor del sustrato para tener un tamaño pequeño y experimenta la precipitación de impurezas, provocando por tanto una eficacia en la conversión de energía más baja que la de la técnica de crecimiento vertical. Sin embargo, la técnica de crecimiento horizontal puede eliminar de manera eficaz el calor latente a través del amplio sustrato, permitiendo por tanto un rápido crecimiento del sustrato.

Según lo cual, tales procedimientos convencionales de fabricación directa de un sustrato de silicio comprometen la productividad del sustrato de silicio y la eficacia en la conversión de energía. Por lo tanto, se necesita un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares que pueda mejorar tanto la productividad como la calidad del sustrato de silicio.

## 50 **Breve resumen**

Un aspecto de la invención es proporcionar un aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares que puede facilitar el control de impurezas que tienen una influencia negativa sobre la eficacia en la conversión de energía y permite un control fácil de un gradiente de temperatura para el crecimiento de un grano de cristal grande manteniendo una interconexión sólida/líquida del sustrato de silicio perpendicular a una dirección de crecimiento del sustrato de silicio, al fabricar el sustrato de silicio usando colada continua que facilita una producción continua y el

control de las propiedades del sustrato de silicio.

Otro aspecto de la invención es proporcionar un procedimiento de fabricación de sustrato de silicio de alta calidad usando el aparato.

5 De acuerdo con una realización, se proporciona un aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua que permite un control fácil de la temperatura. El aparato incluye una unidad de crisol configurada para recibir silicio en bruto y que tiene un puerto de descarga que penetra en una pared lateral de la misma y está dispuesto en una dirección horizontal; una unidad calefactora que se proporciona en una pared exterior y en una superficie inferior externa de la unidad de crisol y calienta la unidad de crisol para fundir el silicio en bruto en la unidad de crisol para formar silicio fundido; una unidad de colada que cuele el silicio fundido que se descarga por medio del puerto de descarga de la unidad de crisol hasta formar un sustrato de silicio; una unidad de refrigeración que enfría rápidamente el sustrato silicio colado; y una unidad de transferencia dispuesta en un extremo de la unidad de refrigeración y que transfiere el sustrato de silicio solidificado. En este caso, la unidad de colada incluye un cuerpo de la unidad de colada que tiene un espacio de colada definido en su interior para conectarse horizontalmente con el puerto de descarga de la unidad de crisol y un mecanismo calefactor adyuvante que precalienta el cuerpo de la unidad de colada para controlar una temperatura de solidificación del sustrato de silicio.

10 De acuerdo con otra realización, se proporciona un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua que permite un control fácil de la temperatura. El procedimiento incluye (a) suministrar silicio en bruto a una unidad de crisol, seguido de calentar el silicio en bruto usando una unidad calefactora; (b) descargar el silicio fundido por medio de un puerto de descarga de la unidad de crisol; (c) colar el silicio fundido hasta formar un sustrato de silicio en un espacio de colada de una unidad de colada que se conecta con el puerto de descarga de la unidad de crisol; (d) enfriar rápidamente el sustrato de silicio colado en una unidad de refrigeración; y (e) transferir el sustrato de silicio enfriado en una dirección horizontal.

20 Según lo cual, el aparato de acuerdo con la realización puede mejorar la productividad del sustrato de silicio para células solares usando colada continua que proporciona un alta productividad y facilita el control de las propiedades y proporciona un grano de cristal grande al sustrato de silicio resultante al mantener la dirección de crecimiento del cristal del sustrato de silicio perpendicular a la dirección de crecimiento del sustrato.

25 Por consiguiente, cuando se aplica el sustrato de silicio fabricado usando el aparato de acuerdo con la realización a un sustrato para células solares, es posible proporcionar una célula solar con una alta eficacia en la conversión de energía con bajos costes de fabricación.

### 30 **Breve descripción de los dibujos**

Los anteriores y otros aspectos, rasgos y ventajas de la invención serán obvios a partir de la descripción detallada de las siguientes realizaciones junto con los dibujos adjuntos.

35 La figura 1 es un diagrama de flujo de un procedimiento convencional de fabricación de un sustrato de silicio usando un lingote de silicio monocristalino;  
 La figura 2 es un diagrama de flujo de un procedimiento convencional de fabricación de un sustrato de silicio usando un bloque de silicio policristalino;  
 La figura 3 muestra una vista esquemática de un procedimiento convencional de solidificación rápida y microestructura de un sustrato de silicio fabricado mediante este procedimiento;  
 40 La figura 4 muestra una vista esquemática de un procedimiento de solidificación usando colada continua de acuerdo con una realización de la presente invención y microestructura de un sustrato de silicio fabricado mediante este procedimiento;  
 La figura 5 es una vista en corte de un aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua de acuerdo con una realización ejemplar de la presente invención;  
 45 La figura 6 es una vista en corte a escala ampliada de la parte A de la figura 5;  
 La figura 7 es una vista a escala ampliada de una unidad de colada de la figura 5;  
 La figura 8 es un gráfico que representa la variación de temperatura de acuerdo con las posiciones en una unidad de colada en un ejemplo y en un ejemplo comparativo; y  
 La figura 9 es un diagrama de flujo de un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua de acuerdo con una realización de la presente invención.

### 50 **Descripción detallada**

Ahora se describirán en detalle las realizaciones ejemplares de la invención en referencia a los dibujos adjuntos. Debe entenderse que la presente invención no se limita a las siguientes realizaciones y puede plasmarse de diferentes maneras y las realizaciones se ofrecen para proporcionar una completa divulgación de la invención y para proporcionar un profundo entendimiento de la invención a los expertos en la materia. El alcance de la invención se limita solo mediante las reivindicaciones que se acompañan y los equivalentes de las mismas. Se hará referencia a los componentes similares mediante números de referencia similares a lo largo de la memoria descriptiva.

A continuación, se describirán, en referencia a los dibujos adjuntos, un aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua, que permite un control fácil de la temperatura de acuerdo con una realización ejemplar de la invención, y un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio usando el mismo.

5 En la fabricación de un sustrato de silicio para células solares a partir de silicio fundido, la productividad se determina mediante el ritmo de solidificación del silicio fundido y la eficacia en la conversión de energía se determina dependiendo de la microestructura del sustrato de silicio. De esta manera, la productividad se incrementa al incrementar el ritmo de solidificación y la eficacia en la conversión de energía se incrementa al incrementar el tamaño de los granos de cristal.

10 La figura 4 muestra una vista esquemática de un procedimiento de solidificación usando colada continua de acuerdo con una realización ejemplar de la invención y microestructura de un sustrato de silicio fabricado mediante este procedimiento.

15 En referencia a la figura 4, durante la fabricación de un sustrato de silicio usando colada continua de acuerdo con la invención, se mantiene horizontal una dirección de crecimiento de un cristal de silicio hacia una dirección de crecimiento del sustrato de silicio. De esta manera, tal como se muestra en el lado derecho de la figura 4, no solo los granos de cristal resultantes del sustrato de silicio tienen un gran tamaño, sino que también las impurezas contenidas en el silicio fundido se mueven hacia el silicio fundido (Si líquido) mediante una interconexión vertical sólida/líquida, proporcionando por tanto un sustrato de silicio de gran calidad.

20 Además, en la fabricación del sustrato de silicio para células solares usando colada continua, puede obtenerse un rápido ritmo de solidificación por medio del contacto con una unidad de colada.

Según lo cual, ya que la técnica de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua de acuerdo con la invención puede mejorar tanto la productividad como la calidad del sustrato de silicio, que se compensan en la técnica, la técnica puede aplicarse a un sustrato para una célula solar, lo que requiere precios competitivos y una alta eficacia en la conversión de energía.

25 La figura 5 es una vista en corte de un aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua de acuerdo con una realización de la invención.

En referencia a la figura 5, el aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua 100 de acuerdo con la realización incluye una unidad 110 de crisol, una unidad 120 calefactora, una unidad 130 de colada, una unidad 140 de refrigeración y una unidad 150 de transferencia.

30 **Unidad de crisol**

La unidad 110 de crisol incluye un crisol 114 doble, una compuerta 116 de silicio en bruto, un puerto 118 de suministro de gas y un puerto 115 de descarga. El silicio en bruto se suministra a la unidad 110 de crisol.

El crisol 114 doble incluye un crisol 112 de grafito que define un espacio cerrado y un crisol 113 de cuarzo que se inserta en el crisol 112 de grafito.

35 En este caso, el crisol 112 de grafito puede tener una sección transversal rectangular y define un espacio en su interior. El crisol 113 de cuarzo se encaja en el crisol 112 de grafito y recibe el silicio en bruto. El crisol 113 de cuarzo está fabricado de cuarzo, que exhibe una resistencia térmica superior al grafito y tiene una baja expansión térmica y una alta estabilidad química.

40 Según lo cual, ya que el crisol 114 doble se compone del crisol 112 de grafito y el crisol 113 de cuarzo, el crisol 113 de cuarzo insertado en el crisol 112 de grafito sirve como miembro de protección que impide que las impurezas de metal y carbono del crisol de grafito fluyan hacia el silicio L fundido para impedir la contaminación del silicio L fundido, incluso cuando el silicio en bruto se calienta hasta aproximadamente 1.412 °C o más.

La compuerta 116 de silicio en bruto se forma por medio del techo del crisol 114 doble. El silicio en bruto se inyecta en el crisol doble por medio de la compuerta 116 de silicio en bruto.

45 El puerto 118 de suministro de gas se forma por medio del techo del crisol 114 doble para separarse de la compuerta 116 de silicio en bruto. Se inyecta un gas inerte como el argón en el crisol doble por medio del puerto 118 de suministro de gas.

50 El gas inerte puede suministrarse por medio del puerto 118 de suministro de gas que es independiente de la compuerta por medio de la que se suministra el silicio en bruto a la unidad de crisol. Como alternativa, aunque no se muestra en los dibujos, el gas inerte puede suministrarse al crisol 114 doble junto con el silicio en bruto por medio de la compuerta 116 de silicio en bruto.

En ese momento, el gas inerte comprime el interior del crisol 114 doble para inducir una descarga fluida del silicio L fundido por medio del puerto 115 de descarga. Ya que la fluidez del silicio L fundido, descargado por medio del

puerto 115 de descarga, disminuye en consonancia con la disminución de temperatura del silicio L fundido, la compresión del gas inerte se activa a medida que disminuye la temperatura del silicio L fundido. En cambio, ya que la fluidez del silicio L fundido se incrementa en consonancia con el incremento de temperatura del silicio L fundido, la compresión del gas inerte se desactiva a medida que se incrementa la temperatura del silicio L fundido.

5 En este caso, a medida que se incrementa el flujo del gas inerte también se incrementa la presión del gas inerte. Aunque el incremento de presión debido al gas inerte puede conducir a una mejora de la descarga, un incremento excesivo de la presión debido al gas inerte crea poros en el silicio L fundido, reduciendo por tanto la densidad del sustrato de silicio resultante. Por consiguiente, el flujo del gas inerte puede ajustarse para proporcionar una presión interna de 100-500 kPa (1-5 bares) dentro de la unidad de crisol. Si la presión interna es menor de 1 bar durante el  
10 suministro del gas inerte, la compresión del gas inerte es baja, haciendo difícil obtener una descarga eficaz del silicio L fundido. Por el contrario, si la presión interna sobrepasa los 500 kPa (5 bares), se crean poros en el silicio L fundido y desciende la densidad del sustrato de silicio mientras que se incrementa en exceso el ritmo de descarga, haciendo difícil controlar el proceso.

15 El puerto 115 de descarga se forma para penetrar en una pared lateral del crisol 114 doble sustancialmente en dirección horizontal. El puerto 115 de descarga puede configurarse para situarse adyacente a una superficie inferior del fondo del crisol 114 doble en la una pared lateral del mismo. El puerto 115 de descarga se configura para conectarse con un espacio 131 de colada (véase la figura 6) de la unidad 130 de colada que se describe más abajo.

20 El puerto 115 de descarga puede tener un espesor de 100 a 400. El espesor del puerto 115 de descarga determina el espesor del sustrato de silicio que se va a fabricar y la productividad sobre la colada continua. Si el espesor del puerto 115 de descarga es menor de 100, es difícil controlar una interconexión sólida/líquida formada en la dirección vertical. Además, se disminuye la resistencia mecánica del sustrato solidificado para romper el sustrato de silicio durante una producción continua, haciendo difícil controlar el proceso. Si el espesor del puerto 115 de descarga sobrepasa 400, existe el problema de que el ritmo de producción se ralentice debido a un tiempo de solidificación extendido, aunque la interconexión sólida/líquida puede controlarse fácilmente.

## 25 **Unidad calefactora**

La unidad 120 calefactora se proporciona en una pared exterior y en una superficie inferior externa de la unidad 110 de crisol y calienta la unidad 110 de crisol para formar silicio L fundido al fundir silicio en bruto en el crisol 114 doble.

30 La unidad 120 calefactora incluye un primer mecanismo 122 calefactor dispuesto a lo largo de la pared exterior del crisol 114 doble y un segundo mecanismo 124 calefactor dispuesto a lo largo de la superficie inferior externa del crisol 114 doble. En este caso, el primer mecanismo 122 calefactor puede rodear la pared exterior del crisol 114 doble o puede insertarse en una pared interna del crisol 114 doble. De igual manera, el segundo mecanismo 124 calefactor puede estar dispuesto a lo largo de la superficie inferior del crisol 114 doble o puede insertarse en la superficie inferior del crisol 114 doble. En este caso, el primer mecanismo 122 calefactor y el segundo mecanismo 124 calefactor pueden controlarse por separado.

35 El primero y segundo mecanismos 122, 124 calefactores pueden realizarse mediante un calentador o una bobina de inducción.

40 Si el crisol 114 doble, que incluye el crisol 112 de grafito que tiene una sección transversal rectangular y el crisol 113 de cuarzo, se calientan usando únicamente una unidad calefactora dispuesta a lo largo de la pared exterior del crisol 114 doble, puede ocurrir una desviación de temperatura a lo largo del crisol 114 doble debido a la estructura no simétrica del crisol doble. En particular, ya que la desviación de temperatura es severa cerca de una superficie inferior interna del crisol 114 doble, una región central del crisol 114 doble, que se corresponde con la superficie inferior interna, tiene la temperatura más baja. Como resultado, la desviación de temperatura en la superficie inferior interna del crisol 114 doble provoca una desviación de temperatura en el silicio L fundido descargado por medio del puerto de descarga, de manera que ocurre una no uniformidad en la tensión, lo que provoca que el sustrato de silicio se rompa o se dañe cuando el silicio L fundido se solidifica para formar el sustrato de silicio.  
45

Sin embargo, en esta realización la unidad 120 calefactora se compone del primer mecanismo 122 calefactor montado en la pared exterior del crisol 114 doble y del segundo mecanismo 124 calefactor montado en la superficie inferior externa del crisol 114 doble para controlar la temperatura en cada porción de la unidad de crisol, haciendo posible por tanto un control más preciso del silicio L fundido.

50 Según lo cual, ya que la unidad 120 calefactora dividida en dos regiones puede minimizar la desviación de temperatura en la pared exterior y en la superficie inferior del crisol 114 doble, es posible lograr un control uniforme de la temperatura del silicio L fundido.

55 En este caso, la temperatura superficial del silicio L fundido que se calienta dentro del crisol 114 doble puede mantenerse entre 1.300~1.500. Si la temperatura superficial del silicio L fundido es menor de 1.300 existe la posibilidad de solidificación del silicio L fundido antes de la descarga. Si la temperatura superficial del silicio L fundido sobrepasa 1.500, existe el problema del incremento en los costes de fabricación sin un efecto adicional de elevación de temperatura.

**Unidad de colada**

La unidad 130 de colada está dispuesta en un lado de la unidad 110 de crisol y se conecta horizontalmente con el puerto 115 de descarga de la unidad 110 de crisol.

5 La unidad 130 de colada incluye un cuerpo 132 de la unidad de colada que tiene un espacio 131 de colada (véase la figura 6) que se define en el cuerpo 132 y se conecta horizontalmente con el puerto 115 de descarga y un mecanismo 134 calefactor adyuvante que precalienta el cuerpo 132 de la unidad de colada para controlar la temperatura de solidificación del sustrato 135 de silicio.

10 Tal como se muestra en la figura 6, el espacio 131 de colada es un espacio hueco que se forma al mecanizar el interior del cuerpo 131 de la unidad de colada y determina el tamaño del sustrato 135 de silicio que se va a fabricar. En este caso, el silicio L fundido, descargado por medio del puerto 115 de descarga, se enfría y se solidifica en el espacio 131 de colada.

En referencia a la figura 7, el espacio 131 de colada puede dividirse en una región S1 de solidificación, para enfriar y solidificar el sustrato 135 de silicio, y una región S2 de liberación de tensión para liberar la tensión residual del sustrato 135 de silicio solidificado.

15 La región S1 de solidificación está dispuesta en una región frontal de la unidad 130 de colada y se conecta con el puerto 115 de descarga. En la región S1 de solidificación, el sustrato 135 de silicio colado se somete a una solidificación primaria. En este caso, la región S1 de solidificación puede tener un espesor mayor que el puerto 115 de descarga. Esta configuración de la región S1 de solidificación puede asegurar un espacio para liberar la tensión térmica residual en el sustrato 135 de silicio después de la solidificación del sustrato 135 de silicio.

20 Además, la región S2 de liberación de tensión está dispuesta en una región trasera de la unidad 130 de colada y se conecta con la región S1 de solidificación. En la región S2 de liberación de tensión, el sustrato 135 de silicio colado se somete a una solidificación secundaria para liberar la tensión del sustrato 135 de silicio solidificado.

25 El mecanismo 134 calefactor adyuvante impide una rápida refrigeración del silicio L fundido, descargado por medio del puerto 115 de descarga, durante la fabricación del sustrato 135 de silicio, mejorando por tanto la calidad del sustrato 135 de silicio.

El mecanismo 134 calefactor adyuvante puede incluir un primer mecanismo 134a calefactor adyuvante y un segundo mecanismo 134b calefactor adyuvante. Aunque no se muestre en los dibujos, el mecanismo 134 calefactor adyuvante puede incluir además un tercer mecanismo calefactor adyuvante en caso necesario.

30 El primer mecanismo 134a calefactor adyuvante se ubica en correspondencia con la región S1 de solidificación y calienta en primer lugar el sustrato 135 de silicio colado. El segundo mecanismo 134b calefactor adyuvante calienta se ubica en correspondencia con la región S2 de liberación de tensión y calienta en segundo lugar el sustrato 135 de silicio colado. Cada uno de los primeros y segundos mecanismos 134a, 134b calefactores adyuvantes puede realizarse usando un calentador o una bobina de inducción.

35 Tal como se muestra en la figura 5, los primeros y segundos mecanismos 134a, 134b calefactores adyuvantes pueden montarse en un lado exterior del cuerpo 132 de la unidad de colada sin limitarse a ella. Como alternativa, los primeros y segundos mecanismos 134a, 134b calefactores adyuvantes pueden montarse dentro del cuerpo 132 de la unidad de colada.

40 En este caso, la temperatura calefactora primaria puede mantenerse entre 900~1.100 y la temperatura calefactora secundaria puede mantenerse entre 700~900. En esta realización, la temperatura del silicio L fundido se mantiene aproximadamente entre 1.300~1.500. Además, la temperatura de solidificación está en el intervalo de aproximadamente 1.000~1.400 y una temperatura de conclusión de solidificación es aproximadamente 1.000 o menos.

45 Por consiguiente, es importante controlar las características de descenso de temperatura en el intervalo de 700~1.100, que es el intervalo primario y secundario de temperatura calefactora, al determinar el tamaño de los granos y la tensión residual, que son factores principales que determinan la eficacia de las células solares.

50 Si el aparato se diseña para permitir una rápida refrigeración del silicio L fundido, descargado por medio del puerto 115 de descarga, sin usar el mecanismo 134 calefactor adyuvante, el sustrato 135 de silicio, que ha fabricado la unidad 130 de colada, tiene unos granos de cristal de tamaño relativamente pequeño y una gran tensión residual, de manera que existe un problema en el rápido deterioro de la eficacia en la conversión de energía cuando el sustrato de silicio se usa para una célula solar.

Sin embargo, en esta realización de la invención, ya que las temperaturas calefactoras primaria y secundaria de la región S1 de solidificación y de la región S2 de liberación de tensión pueden controlarse usando los primeros y segundos mecanismos 134a, 134b calefactores adyuvantes, es posible impedir una rápida disminución de la temperatura. Como resultado, el aparato de acuerdo con la realización puede fabricar el sustrato 135 de silicio para

tener unos granos de cristal de tamaño relativamente grande mientras que se minimiza la tensión residual en el sustrato de silicio fabricado.

**Unidad de refrigeración**

5 La unidad 140 de refrigeración enfría rápidamente el sustrato 135 de silicio, colado por medio de la unidad 130 de colada, a 200 o menos. En este caso, la unidad 140 de refrigeración está dispuesta en el extremo trasero de la unidad 130 de colada y controla la temperatura final del sustrato 135 de silicio solidificado. La unidad 140 de refrigeración puede realizarse mediante una camisa 142 de refrigeración que emplea un refrigerante.

10 El sustrato 135 de silicio, descargado por medio de la unidad 130 de colada, tiene una temperatura de aproximadamente 500. Si el sustrato 135 de silicio, descargado por medio de la unidad 130 de colada, no se enfría rápidamente a 200 o menos, puede ocurrir una deformación en las superficies de un par de rodillos 152 de transferencia, que están hechos a partir de un polímero como el teflón para minimizar el impacto sobre el sustrato 135 de silicio. De esta manera, es aconsejable que el sustrato 135 de silicio, descargado por medio de la unidad 130 de colada, se enfríe rápidamente a 200 o menos usando la unidad 140 de refrigeración.

**Unidad de transferencia**

15 La unidad 150 de transferencia está situada en el extremo trasero de la unidad 140 de refrigeración y transfiere horizontalmente el sustrato 135 de silicio solidificado, descargado desde la unidad 130 de colada. Para este fin, la unidad 150 de transferencia puede incluir un par de rodillos 152 de transferencia que rotan en direcciones opuestas. En este caso, la velocidad de transferencia del sustrato de silicio solidificado puede controlarse para coincidir con el ritmo de solidificación del silicio fundido por medio del manejo de los rodillos 152 de transferencia en la unidad 150 de transferencia.

20 La unidad 150 de transferencia puede moverse a una velocidad de 50~1.000 cm/min. Si la velocidad de la unidad 150 de transferencia es menor de 50 cm/min, el sustrato 135 de silicio puede ser excesivamente grueso. Si la velocidad sobrepasa 1.000 cm/min, el sustrato 135 de silicio puede ser excesivamente fino.

25 La figura 7 es una vista a escala ampliada de la unidad de colada de la figura 5, y la figura 8 es un gráfico que representa la variación de la temperatura de acuerdo con las posiciones en la unidad de colada en un ejemplo y en un ejemplo comparativo. En este caso, los sustratos de silicio del ejemplo y del ejemplo comparativo se fabricaron usando el aparato que se muestra en la figura 5. Para el ejemplo, se le proporcionó un mecanismo calefactor adyuvante a la unidad de colada y se midió la temperatura del sustrato de silicio en las porciones P1, P2, P3 y P4 y, para el ejemplo comparativo, no se le proporcionó el mecanismo calefactor adyuvante a la unidad de colada y se midió la temperatura del sustrato de silicio en las porciones P1, P2, P3 y P4.

30 En referencia a las figuras 7 y 8, puede observarse que el sustrato de silicio del ejemplo comparativo, que se fabricó sin el mecanismo calefactor adyuvante, experimentó una desviación severa de la temperatura entre las porciones P1 y P2. En el ejemplo comparativo, el sustrato de silicio, que se fabricó por medio de la unidad de colada, tiene unos granos de cristal de tamaño relativamente pequeño y una gran tensión residual debido a la rápida disminución de la temperatura del silicio fundido, descargado por medio del puerto de descarga.

35 Por otro lado, en el ejemplo en que se usa el mecanismo calefactor adyuvante, puede observarse que la desviación de temperatura entre las porciones P1, P2, P3 y P4 es relativamente pequeña y tiene una ligera bajada. Por consiguiente, ya que es posible impedir la rápida disminución de temperatura del silicio fundido, descargado desde el puerto de descarga por medio del control de la temperatura en las porciones P1, P2, P3 y P4, el sustrato de silicio, fabricado por medio de la unidad de colada, tiene unos granos de cristal de tamaño relativamente grande y puede minimizarse la tensión residual en el sustrato de silicio.

40 Tal como se ha descrito anteriormente, el aparato de fabricación de un sustrato de silicio para células solares de acuerdo con la realización puede mejorar la productividad por medio de colada continua, que facilita el control de la productividad y de las propiedades.

45 En particular, el primer mecanismo calefactor para calentar la pared exterior del crisol doble y el segundo mecanismo calefactor para calentar la superficie inferior externa del crisol doble minimizan la desviación de temperatura del silicio fundido en el crisol doble. Además, el primer mecanismo calefactor adyuvante y el segundo mecanismo calefactor adyuvante se ubican en correspondencia con la región de solidificación y la región de liberación de tensión en la unidad de colada, de manera que se impide que el silicio fundido se enfríe rápidamente durante la fabricación para permitir que el sustrato de silicio resultante tenga unos granos de cristal de gran tamaño, mejorando por tanto la calidad del sustrato de silicio.

50 Por consiguiente, cuando el sustrato de silicio fabricado usando el aparato de acuerdo con la realización se aplica a un sustrato para una célula solar, es posible proporcionar una célula solar que tiene una alta eficacia en la conversión de energía con bajos costes de fabricación.

55



La figura 9 es un diagrama de flujo de un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua de acuerdo con una realización ejemplar de la invención.

5 En referencia a la figura 9, el procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares incluye fundir silicio en bruto en S210, descargar silicio fundido en S220, colar un sustrato de silicio en S230, enfriar rápidamente el sustrato de silicio en S240 y transferir el sustrato de silicio en S250. En esta realización, el procedimiento se realiza usando el aparato de acuerdo con la realización de la invención.

10 En la operación S210 de fundir una materia prima, se coloca silicio en bruto en la unidad de crisol y se derrite mediante una unidad calefactora. En este caso, la temperatura del silicio fundido se controla de manera uniforme usando el primer mecanismo calefactor montado en la pared exterior del crisol doble y el segundo mecanismo calefactor montado en la superficie inferior externa del crisol doble.

En la operación S220 de descargar el silicio fundido, el silicio fundido se descarga por medio del puerto de descarga de la unidad de crisol.

15 En este caso, para incrementar la fluidez del silicio fundido, el silicio fundido puede descargarse por medio del puerto de descarga de la unidad de crisol a una temperatura de 1.350~1.500. En este caso, para inducir la descarga del silicio fundido, se suministra un gas inerte a la unidad de crisol para comprimir el silicio fundido. El gas inerte puede suministrarse para mantener una presión interna de la unidad de crisol en el intervalo 1~5 bares.

En la operación S230 de colar el sustrato de silicio, el silicio fundido se moldea hasta formar el sustrato de silicio en un espacio de colada de la unidad de colada que se conecta con el puerto de descarga.

20 La operación S230 de colar el sustrato de silicio puede incluir la solidificación primaria del sustrato de silicio colado (no se muestra) y la solidificación secundaria del sustrato de silicio colado para liberar la tensión del sustrato de silicio solidificado.

25 En este caso, la temperatura calefactora primaria puede mantenerse entre 900~1.100 y la temperatura calefactora secundaria puede mantenerse entre 700~900. En este momento, mientras que el silicio fundido pasa por la región de solidificación de la unidad de colada, se procede a la solidificación del silicio fundido, con una interconexión sólida/líquida del silicio fundido que se mantiene en la dirección vertical y el sustrato de silicio solidificado libera tensión térmica al pasar por la región de liberación de tensión de la unidad de colada.

30 En la operación S240 de enfriar rápidamente el sustrato de silicio, el sustrato de silicio, producido por medio de la unidad de colada, se enfría rápidamente mediante la unidad de refrigeración. La unidad de refrigeración enfría rápidamente el sustrato de silicio a 200 o menos para impedir la deformación de las superficies de los rodillos de transferencia que están fabricado de un polímero como el teflón para minimizar el impacto sobre el sustrato 135 de silicio.

En la operación S250 de transferir el sustrato de silicio, el sustrato de silicio enfriado se transfiere en la dirección horizontal. En este caso, el ritmo de solidificación del silicio fundido es igual a la velocidad de transferencia del sustrato de silicio, permitiendo la colada continua del sustrato de silicio.

35 De este modo, puede completarse el procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando colada continua.

Según lo cual, cuando se aplica el sustrato de silicio, fabricado usando el procedimiento de acuerdo con la realización de la invención, a un sustrato para células solares, es posible proporcionar una célula solar que tiene una alta eficacia en la conversión de energía con bajos costes de fabricación.

40 Aunque se han descrito algunas realizaciones en el presente documento, los expertos en la materia deberán entender que estas realizaciones se ofrecen únicamente a modo ilustrativo y que pueden hacerse diversas modificaciones, variaciones y alteraciones sin alejarse del espíritu y del alcance de la invención. Por lo tanto, el alcance de la invención deberá limitarse únicamente mediante las reivindicaciones adjuntas y los equivalentes de las mismas.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato de fabricación de un sustrato de silicio usando colada continua, que comprende:
  - una unidad de crisol configurada para recibir silicio en bruto y que tiene un puerto de descarga que penetra en una pared lateral de la misma y está dispuesta en una dirección horizontal;
  - 5 una unidad calefactora que se proporciona en una pared exterior y en una superficie inferior externa de la unidad de crisol y que calienta la unidad de crisol para fundir el silicio en bruto en la unidad de crisol y formar silicio fundido;
  - una unidad de colada que cuele el silicio fundido, descargado por medio del puerto de descarga de la unidad de crisol, hasta formar un sustrato de silicio, comprendiendo la unidad de colada un cuerpo de la unidad de colada que tiene un espacio de colada definido en su interior para conectarse horizontalmente con el puerto de descarga de la unidad de crisol y un mecanismo calefactor adyuvante que precalienta el cuerpo de la unidad de colada para controlar una temperatura de solidificación del sustrato de silicio;
  - 10 una unidad de refrigeración que enfría rápidamente el sustrato de silicio colado; y
  - una unidad de transferencia dispuesta en un extremo de la unidad de refrigeración que transfiere el sustrato de silicio solidificado.
2. El aparato de la reivindicación 1, en el que el puerto de descarga tiene un espesor de 100-400  $\mu\text{m}$ .
3. El aparato de la reivindicación 1, en el que la unidad de crisol comprende:
  - un crisol doble que comprende un crisol de grafito que define un espacio cerrado y un crisol de cuarzo insertado en el crisol de grafito;
  - 20 una compuerta de silicio en bruto que penetra en el techo del crisol doble y por medio de la cual se suministra el silicio en bruto al crisol doble; y
  - un puerto de suministro de gas que está separado de la compuerta de silicio en bruto y por medio del cual se suministra un gas inerte al interior del crisol doble.
4. El aparato de la reivindicación 3, en el que el gas inerte se suministra al interior del crisol doble por medio del puerto de suministro de gas y comprime el silicio fundido para inducir la descarga del silicio fundido.
5. El aparato de la reivindicación 3, en el que la unidad calefactora comprende un primer mecanismo calefactor dispuesto a lo largo de la pared exterior del crisol doble y un segundo mecanismo calefactor dispuesto a lo largo de la superficie inferior externa del crisol doble, controlándose por separado el primer y segundo mecanismos calefactores.
- 30 6. El aparato de la reivindicación 5, en el que cada uno del primer y segundo mecanismos calefactores es uno de un calentador y una bobina de inducción.
7. El aparato de la reivindicación 1, en el que el espacio de colada de la unidad de colada comprende una región de solidificación para una solidificación primaria del sustrato de silicio colado y una región de liberación de tensión para una solidificación secundaria del sustrato de silicio colado para liberar tensión del sustrato de silicio colado.
- 35 8. El aparato de la reivindicación 7, en el que la unidad de colada comprende además un mecanismo calefactor adyuvante, comprendiendo el mecanismo calefactor adyuvante un primer mecanismo calefactor adyuvante ubicado en correspondencia con la región de solidificación para calentar en primer lugar el sustrato de silicio colado y un segundo mecanismo calefactor adyuvante ubicado en correspondencia con la región de liberación de tensión para calentar en segundo lugar el sustrato de silicio colado.
- 40 9. El aparato de la reivindicación 8, en el que cada uno del primer y segundo mecanismos calefactores adyuvantes es uno de un calentador y una bobina de inducción.
10. El aparato de la reivindicación 1, en el que la unidad de transferencia comprende un par de rodillos que rotan en direcciones opuestas.
- 45 11. Un procedimiento de fabricación de un sustrato de silicio para células solares usando el aparato de acuerdo con una cualquiera o más de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo el procedimiento:
  - suministrar silicio en bruto a la unidad de crisol, seguido de calentar el silicio en bruto usando la unidad calefactora;
  - descargar el silicio fundido por medio del puerto de descarga de la unidad de crisol;
  - 50 colar el silicio fundido hasta formar un sustrato de silicio en el espacio de colada de la unidad de colada conectada con el puerto de descarga de la unidad de crisol;
  - enfriar rápidamente el sustrato de silicio colado en la unidad de refrigeración; y
  - transferir el sustrato de silicio enfriado en una dirección horizontal.

12. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que la descarga del silicio fundido comprende suministrar un gas inerte a la unidad de crisol para inducir la descarga del silicio fundido al comprimir el silicio fundido y el gas inerte se suministra a la unidad de crisol para mantener una presión interna de la unidad de crisol en el intervalo de 1-5 bares.
- 5 13. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que el silicio fundido se descarga a una temperatura de 1.300~1.500 °C.
14. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que colar el silicio fundido hasta formar un sustrato de silicio comprende, en primer lugar, solidificar el sustrato de silicio colado y, en segundo lugar, solidificar el sustrato de silicio colado para liberar tensión del sustrato de silicio solidificado.
- 10 15. El procedimiento de la reivindicación 11, en el que el sustrato de silicio colado se enfría rápidamente hasta 200 °C o menos mediante la unidad de refrigeración.

Fig. 1

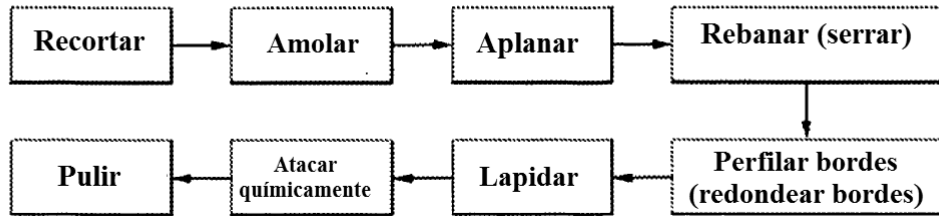


Fig. 2

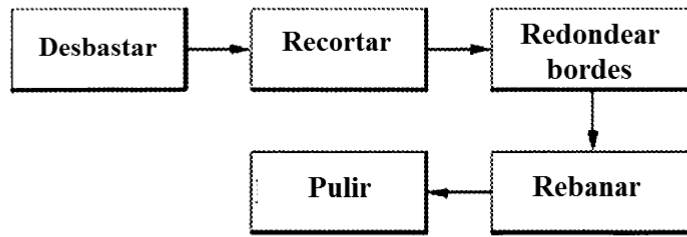


Fig. 3

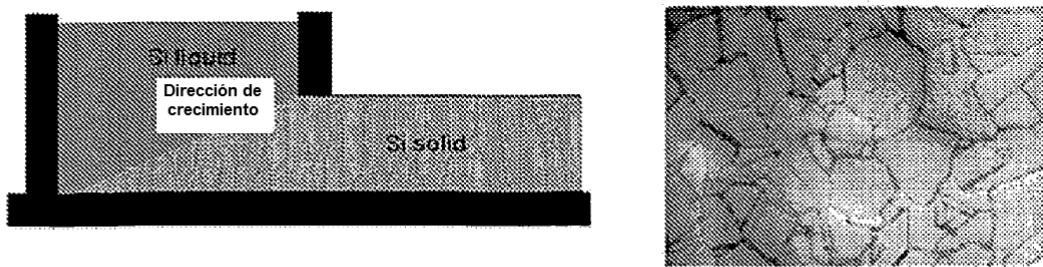


Fig. 4

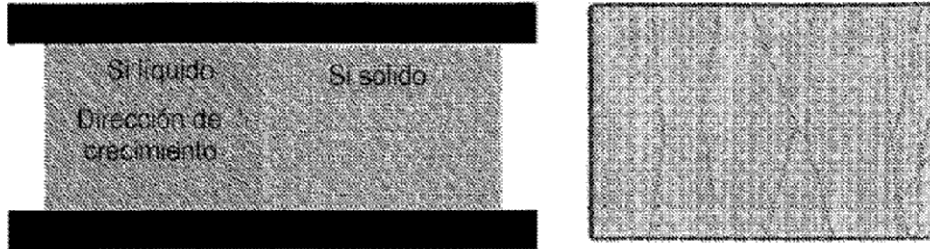


Fig. 5

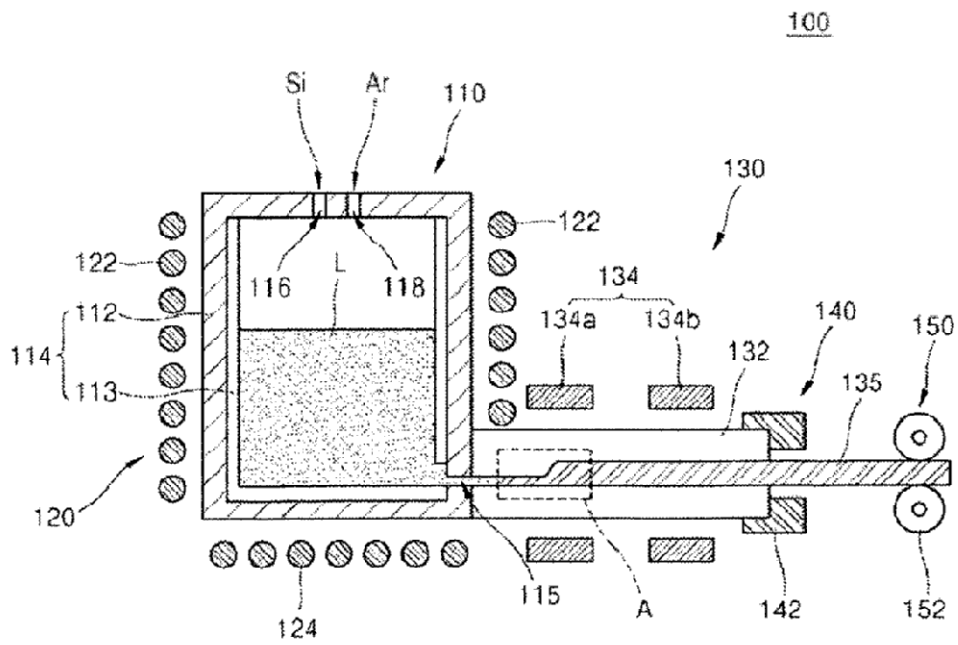


Fig. 6

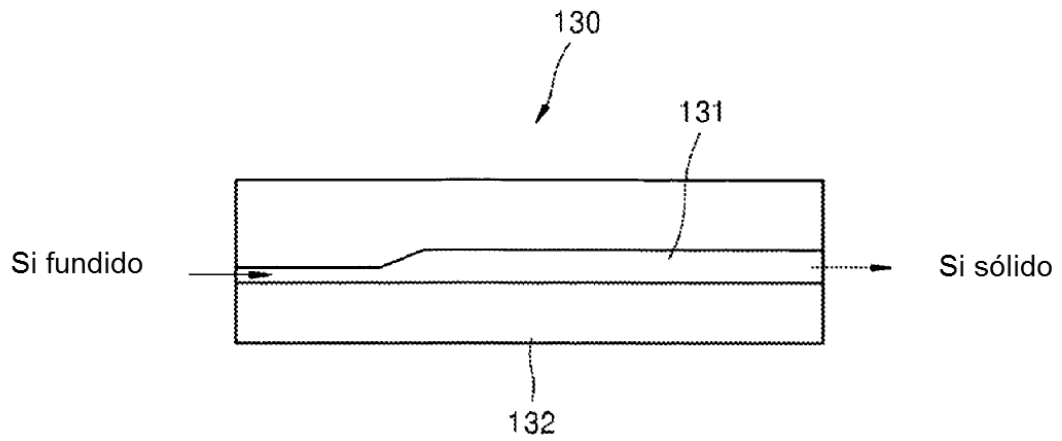


Fig. 7

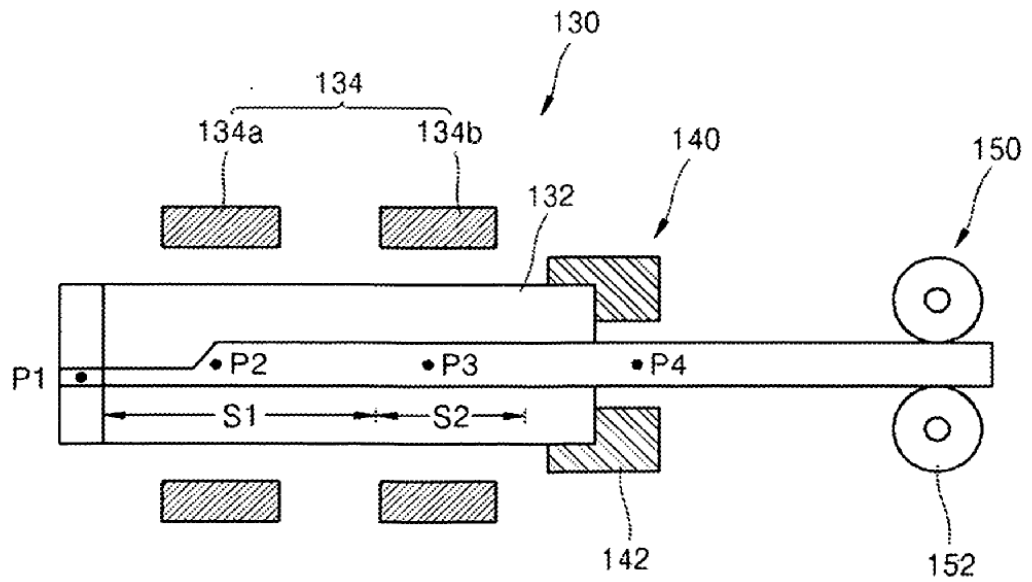


Fig. 8

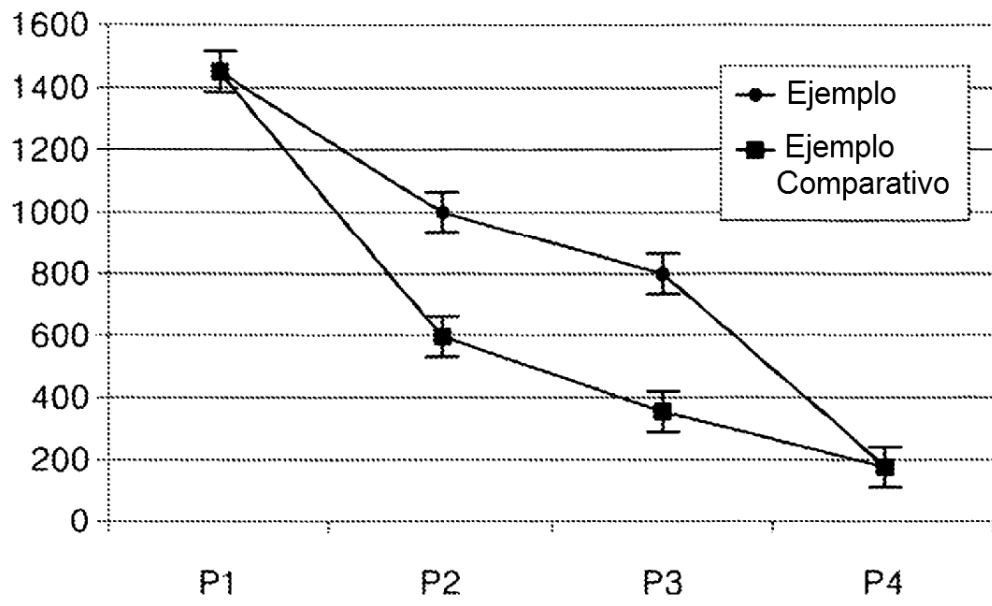


Fig. 9

