

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 404 825**

51 Int. Cl.:

C30B 11/00 (2006.01)

C30B 33/02 (2006.01)

C30B 35/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.12.2009 E 09763974 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.03.2013 EP 2376679**

54 Título: **Horno de fusión-solidificación provisto de modulación de los intercambios térmicos por las paredes laterales**

30 Prioridad:

19.12.2008 FR 0807241

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

29.05.2013

73 Titular/es:

**COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES (100.0%)
Bâtiment "Le Ponant D" 25, rue Leblanc
75015 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**PELLETIER, DAVID y
GARANDET, JEAN-PAUL**

74 Agente/Representante:

POLO FLORES, Carlos

ES 2 404 825 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

Horno de fusión-solidificación provisto de modulación de los intercambios térmicos por las paredes laterales.

5 Campo técnico de la invención

La invención se refiere a un horno de fusión y de solidificación para material cristalino, provisto de:

- un crisol que tiene un fondo y paredes laterales,

10

- un sistema de aislamiento térmico lateral dispuesto en la periferia del crisol alrededor de las paredes laterales,

- medios de desplazamiento de al menos un elemento lateral del sistema de aislamiento térmico lateral, con respecto a las paredes laterales, entre una posición de aislamiento y una posición que favorezca la disipación térmica.

15

Estado de la técnica

De forma convencional, los materiales cristalinos, habitualmente los materiales semiconductores y los materiales metálicos no pueden utilizarse como tales en los diferentes campos tecnológicos debido a que carecen de la pureza suficiente y/o tienen una estructura cristalina mal adaptada. Para que los materiales cristalinos puedan responder a una especificación de cargas muy estrictas, se someten a varios ciclos de fusión-solidificación con el fin, por ejemplo, de reducir el contenido de impurezas del material, y/o imponer una organización cristalina en el material sólido final.

20

25 La purificación del material cristalino se puede llevar a cabo una primera vez durante la fase de fusión utilizando un procedimiento de purificación en fase líquida, por ejemplo, con una antorcha de plasma. Igualmente, la purificación se puede llevar a cabo durante la solidificación, ya que las impurezas se separan preferentemente de la fase sólida y se dirigen al material fundido. De forma convencional, la fase de solidificación se utiliza para definir la fase cristalina del material cristalino.

30

De forma clásica, el material a cristalizar se introduce, en forma de carga, en el interior de un crisol que está colocado en un horno vertical. El horno está provisto de medios de calefacción para fundir el material cristalino, y también de medios de enfriamiento para establecer un gradiente térmico muy concreto en el material fundido durante su fase de enfriamiento. Por ejemplo, los medios de calefacción seleccionados son de tipo inductivo, ya que

35

Sin embargo, en las diferentes fases del tratamiento del material a cristalizar, las funcionalidades tanto del horno como de sus elementos constituyentes son distintas. En primer lugar, en la fusión del material se requiere un buen aislamiento del horno y sobre todo del crisol para reducir las pérdidas térmicas y garantizar de este modo un

40

En el caso de la purificación, el control de la temperatura del horno es tan importante como conseguir un mezclado eficaz. Por tanto, es importante controlar la cantidad de energía suministrada al crisol, con respecto a la que pierde el crisol, para controlar la temperatura del material fundido. Además, un buen mezclado garantiza una renovación de la superficie exenta de contaminantes. Como se ha indicado más arriba, los medios de calentamiento inductivo realizan a la vez el calentamiento y el mezclado del baño líquido. Cuanto más corriente circula por las bobinas, más importante resultan el mezclado y el calentamiento, y por tanto, es muy difícil ejecutar con precisión un control estricto de la temperatura del horno, manteniendo al mismo tiempo una mezcla elevada, ya que estas dos condiciones son contrarias.

50

En el caso de la solidificación dirigida, la extracción del calor del material se debe controlar perfectamente, ya que el gradiente térmico aplicado al crisol es lo que condiciona el avance del frente de solidificación y, por tanto, la calidad cristalográfica del material final. Además, durante la cristalización, la fase líquida también se mezcla igualmente para garantizar un reparto homogéneo de los elementos que constituyen el material.

55

El documento WO 2005/105670 describe una instalación de fabricación de bloques de material semiconductor. Esta instalación comprende dos recintos diferenciados y dedicados a operaciones específicas. Un primer recinto y un primer crisol se utilizan para realizar la fusión y la purificación del material semiconductor. A continuación, se utilizan un segundo recinto y un segundo crisol para llevar a cabo la cristalización. Esta instalación es compleja, necesita

60

medios para trasvasar el material fundido del primer crisol al segundo crisol. Esta instalación ocupa mucha superficie, ya que es necesario instalar y gestionar dos recintos.

El documento FR 2553232 describe un dispositivo para elaborar un lingote de un material semiconductor policristalino. Este dispositivo está provisto de un crisol, en cuyo interior está dispuesto un material semiconductor. El dispositivo está provisto de medios de calefacción por inducción, y el crisol está calorifugado mediante un fieltro de

65

carbono dispuesto contra las paredes laterales y el fondo del crisol. El dispositivo lleva a cabo la fusión y la cristalización del material semiconductor en el propio crisol. La cristalización se consigue retirando el fieltro que está dispuesto sobre el crisol, lo que origina una disipación térmica en el fondo del crisol. De este modo, el gradiente térmico perpendicular al fondo del crisol induce un gradiente térmico de estabilización en el material fundido (con el frío en la parte inferior), que se opone a los movimientos de mezclado necesarios para obtener un material homogéneo.

El documento JP 05024964 describe un dispositivo de cristalización en el que un escudo aislante se desplaza longitudinalmente, es decir, de forma perpendicular al fondo del crisol. El documento US 2007/0227189 describe un dispositivo de cristalización en el que más conductores térmicamente se desplazan para entrar en contacto con la pared lateral de un crisol.

Objeto de la invención

El objeto de la invención es un horno de fusión-cristalización que sea fácil de poner en marcha, que utiliza solamente un crisol para la fusión y la cristalización y que permita controlar el sobrecalentamiento del material fundido teniendo a la vez un mezclado importante.

El horno según la invención se caracteriza por las reivindicaciones adjuntas y, más concretamente, por el hecho de que:

- el sistema lateral de aislamiento térmico está formado por al menos dos subelementos adyacentes que forman un anillo continuo en la posición de aislamiento y discontinuo en la posición que favorece la disipación térmica, y en que está provisto de medios para desplazar el al menos un elemento lateral citado siguiendo una dirección lateral perpendicular a una dirección longitudinal.

Descripción resumida de los dibujos

Otras ventajas y características de la invención aflorarán más claramente de la descripción que va seguida de las realizaciones concretas de la invención, proporcionadas a modo de ejemplos no limitantes, y representados por los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 representa, de forma esquemática, en vista superior, una realización concreta de un crisol y de un elemento lateral de aislamiento térmico, según la invención,

- las figuras 2 y 3 representan, de forma esquemática, en sección longitudinal, otra realización concreta de un crisol y de elementos laterales de aislamiento térmico, según la invención, en dos configuraciones de aislamiento diferentes,

- las figuras 4 a 6 representan, de forma esquemática, en vista superior, una tercera realización concreta de un crisol y de elementos laterales de aislamiento térmico, según la invención, en configuraciones de aislamiento diferentes,

- las figuras 7 y 8 representan, de forma esquemática, secciones longitudinales de un elemento lateral de aislamiento térmico, según la invención.

45 Descripción de una realización preferida de la invención

Como se muestra en las figuras 1 a 6, el horno 1 de fusión-solidificación está provisto de un crisol 2 en el que se encuentra un material cristalino 3 de tipo semiconductor o metálico. El horno 1 está provisto igualmente de medios de calentamiento por inducción electromagnética (no representados) del material cristalino 3. Los medios de calentamiento están formados, por ejemplo, por una o varias bobinas en cuyo interior circula una corriente alterna de frecuencia definida de antemano.

El crisol 2 tiene un fondo 4 y paredes laterales 5 de un material refractario no refrigerado, por tanto, el crisol es del tipo crisol caliente. Las paredes laterales 5 están orientadas según una dirección longitudinal L que es perpendicular al fondo 4 del crisol 2. Las paredes 5 tienen una altura h desde el fondo 4 del crisol 2 en la dirección longitudinal L. El crisol 2 tiene una superficie externa que corresponde a la superficie exterior de sus paredes laterales 5. El crisol 2 está asociado a medios de modulación de la disipación térmica lateral. Estos medios de modulación permiten la variación de la proporción de energía térmica que abandona el crisol 2 por sus paredes laterales 5. Existe, por tanto, un flujo modulable de energía que abandona el crisol atravesando la superficie externa del crisol 2.

Por este motivo, el horno 1 está provisto de un sistema lateral de aislamiento térmico 6, de forma anular, colocado en la periferia del crisol 2 alrededor de las paredes laterales 5. El sistema lateral de aislamiento térmico 6 se puede desplazar con respecto al crisol 2. Ventajosamente, al menos las paredes laterales 5 del crisol 2 están recubiertas con un material aislante suplementario (no representado) que está fijo con respecto al crisol 2 y que realiza un primer aislamiento térmico del crisol 2. El sistema lateral de aislamiento térmico 6 está provisto de al menos un elemento

lateral de aislamiento térmico 7 que se puede desplazar con respecto al crisol 2.

En otra variante de la realización, el sistema lateral de aislamiento térmico 6 está provisto de un elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 y un elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7' (figuras 2 a 6). El elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 está rodeado, por tanto, por el elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7' distinto. Estos dos elementos laterales de aislamiento térmico 7 y 7' son móviles y se pueden desplazar independientemente entre sí.

Si el sistema lateral de aislamiento térmico 6 solamente está provisto de un único elemento lateral de aislamiento térmico, el elemento lateral de aislamiento térmico 7, este último se puede asimilar al sistema 6 y se puede mostrar como el elemento lateral de aislamiento térmico 6.

Los medios de modulación de la disipación térmica lateral están provistos de medios de desplazamiento del sistema lateral de aislamiento térmico 6 con respecto a las paredes laterales del crisol 2. Los medios de desplazamiento pueden estar igualmente provistos de, según la realización, medios de desplazamiento independientes de los elementos laterales de aislamiento térmico principal 7 y adicional 7'. El sistema lateral de aislamiento térmico 6 se desplaza, por tanto, entre una posición de aislamiento y una posición que favorece la disipación térmica por las paredes laterales 5.

Los medios de desplazamiento pueden estar provistos de medios de desplazamiento de al menos un elemento lateral de aislamiento térmico 7, 7' según la dirección longitudinal L. Esta realización es ventajosa si el elemento lateral de aislamiento térmico 7, 7' tiene una altura igual a la del crisol 2. Ventajosamente, en la posición de aislamiento, toda la altura del elemento lateral de aislamiento térmico 7, 7' está nivelada con las paredes laterales para reducir las pérdidas al máximo.

Como se muestra en las figuras 2 y 3, los medios de modulación están provistos de medios de desplazamiento de los elementos laterales de aislamiento térmico principal 7 y adicional 7' según la dirección longitudinal L. En el caso de esta figura, los elementos laterales de aislamiento 7 y 7' se desplazan con respecto al fondo 4 del crisol 2 y su separación con respecto a las paredes laterales 5 es constante.

Esta realización es ventajosa si los elementos laterales de aislamiento 7 y 7' tienen una altura inferior a la del crisol 2 y particularmente inferior a la de la cantidad de materia fundida en el crisol 2. En una posición de aislamiento supuestamente vertical, los elementos laterales de aislamiento 7 y 7' recubren la totalidad de la altura de las paredes laterales 5 manteniendo a la vez, entre ellos, el máximo de superficie enfrentada. Para aumentar las pérdidas térmicas por las paredes laterales 5, no queda garantizada la cobertura de la totalidad de la altura de las paredes laterales 5. Los elementos laterales de aislamiento 7 y 7' se acercan entre sí mediante un desplazamiento longitudinal. El elemento lateral de aislamiento 7 o 7' que recubre la parte inferior de las paredes laterales 5 es el que se desplaza longitudinalmente hacia la parte superior de las paredes laterales 5.

En otra realización que se puede combinar con la precedente, los medios de desplazamiento pueden igualmente estar provistos de medios de desplazamiento del elemento lateral de aislamiento térmico 6 según una dirección lateral. La dirección lateral de desplazamiento es perpendicular a la dirección longitudinal L. En el caso de la figura, el sistema lateral de aislamiento térmico 6 está provisto de al menos un elemento lateral de aislamiento térmico que está dividido obligatoriamente en una pluralidad de subelementos para poder realizar la aproximación o la separación de cada uno de los subelementos en una dirección que le sea propia. En otras palabras, los medios de modulación de la disipación térmica lateral están provistos de medios para desplazar cada subelemento de forma independiente entre sí.

El sistema lateral de aislamiento térmico 6 está compuesto, por tanto, por al menos dos subelementos 7a, 7b (figura 1). El elemento lateral de aislamiento térmico está recortado siguiendo al menos un primer plano de corte secante respecto al fondo del crisol 2.

Como se ilustra en las figuras 4 a 6, el elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 está compuesto por tres subelementos 7a, 7b y 7c que forman un anillo que rodea el crisol 2. Este anillo es continuo porque el elemento lateral de aislamiento térmico está en una posición de aislamiento, es decir, que todos los subelementos están ensamblados. En una posición que favorece la disipación térmica, los subelementos ya no están ensamblados y el anillo es discontinuo.

Esto se refiere de igual modo al sistema lateral de aislamiento térmico 6 que rodea el crisol rectangular de la figura 1.

De forma análoga, el elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7' está compuesto por tres subelementos 7'a, 7'b, 7'c en las figuras 4 a 6. Los elementos laterales de aislamiento térmico 7 y 7' pueden recortarse según planos de corte diferentes secantes respecto al fondo del crisol 2.

Cada subelemento 7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c está provisto de dos superficies principales y cuatro superficies

secundarias. La superficie principal colocada en frente de la superficie externa de la pared lateral del crisol se denomina superficie interna del subelemento. La superficie principal dirigida hacia el exterior se denomina superficie externa del subelemento. La superficie interna de un subelemento es complementaria de la superficie externa del subelemento o del crisol enfrentado. Así, a modo de ejemplo, la superficie interna de los subelementos 7a es
 5 sensiblemente complementaria de la superficie externa frente al crisol, de forma que puedan encajarse una sobre la otra. Les elementos laterales de aislamiento térmico 6 y 7 pueden así rodear las paredes laterales 5 del crisol 2 para conseguir un aislamiento térmico máximo.

Análogamente, las superficies internas y externas enfrentadas a los elementos laterales de aislamiento térmico
 10 principal 7 y adicional 7' son complementarias de forma que pueden encajarse una sobre la otra. El elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7' puede así rodear las paredes laterales del elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 para conseguir un aislamiento térmico máximo en su posición de aislamiento.

Como se muestra en las figuras 3 a 6, los medios de modulación pueden estar provistos de medios de
 15 desplazamiento de los elementos laterales de aislamiento 7 y 7' según las direcciones laterales A. Puesto que cada elemento lateral de aislamiento 7 y 7' está compuesto de una pluralidad de subelementos, estos subelementos se desplazan siguiendo una dirección lateral, que les es propia y está predefinida, Aa, Ab, Ac en la figura 4. Esta dirección lateral de desplazamiento puede ser, por tanto, radial o tangencial. Así, es previsible tener un desplazamiento tangencial con respecto a las superficies laterales, es decir, un desplazamiento según la tangente a
 20 un radio de un crisol cilíndrico o en paralelo a una cara lateral de un crisol de base cuadrada o rectangular. Es también previsible tener un desplazamiento radial.

Esta dirección lateral de desplazamiento es perpendicular a la dirección longitudinal L del crisol 2 y pasa por un
 punto característico de cada aislante elemental (7a-7c, 7'a-7'c). La dirección lateral de desplazamiento A puede ser
 25 un vector ortogonal a la superficie interna plana del subelemento. En el caso del paralelepípedo, la dirección lateral de desplazamiento puede ser además la dirección que garantiza la obtención de una separación idéntica entre las diferentes caras de los subelementos y las paredes laterales frente al con respecto al crisol 2.

Los planos de corte de los elementos laterales de aislamiento térmico 7 y 7' son ventajosamente idénticos, pero
 30 igualmente pueden estar desplazados. Es igualmente previsible que los elementos laterales de aislamiento térmico 7 y 7' no tengan el mismo número de subelementos. Puesto que los elementos laterales de aislamiento térmico 7 y 7' pueden estar divididos según planos de corte diferentes, un subelemento del elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 puede recubrir, por ejemplo, dos subelementos del elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7'. Por tanto, no tienen necesariamente que tener las mismas direcciones de desplazamiento, contrariamente al caso
 35 particular ilustrado en las figuras 4 a 6.

En una realización particular que se puede combinar con las anteriores, la superficie interna del sistema lateral de
 aislamiento térmico 6 o del elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 es ligeramente más grande que la
 40 superficie externa del crisol 2 de forma que en una posición de aislamiento, una fina película de aire o de gas predeterminado está presente entre el crisol 2 y el elemento lateral de aislamiento 6 o 7, es decir entre el crisol 2 y cada uno de los subelementos. Esto puede ser de la misma forma entre los elementos laterales de aislamiento térmico principal 7 y adicional 7' para que, en una posición de aislamiento, una fina película de aire o de gas predeterminado esté presente entre estos dos elementos 7 y 7'.

Si, el crisol 2 tiene forma cilíndrica, los subelementos 7, 7' del sistema lateral de aislamiento térmico 6 tienen
 ventajosamente la forma de un arco de circunferencia de grosor predeterminado. Si el crisol 2 tiene una base
 cuadrada o una base rectangular, la superficie interna de los subelementos puede ser una superficie plana. Sin
 embargo, si el subelemento está frente a un lateral del crisol 2, su superficie interne se denomina compleja, y está
 50 provista de un ángulo entre dos superficies planas (figura 1).

Para que se pueda utilizar en una fase de fusión, purificación y solidificación, el sistema lateral de aislamiento
 térmico 6 se desplaza entre una posición de aislamiento y una posición que favorece la disipación térmica por las
 paredes laterales 5. De forma típica, el sistema lateral de aislamiento térmico 6 se acerca o se aleja de las paredes
 laterales 5 o del fondo 4 del crisol 2.

Como se muestra en las figuras 3 a 6, en su posición de aislamiento, la distancia entre el crisol 2 y el sistema lateral
 de aislamiento térmico 6 es la mínima autorizada, lo que se traduce por una distancia mínima de los elementos
 laterales principal 7 y adicional 7' con respecto a las paredes laterales 5. Esta distancia mínima puede ser nula o
 igual a un espesor predeterminado. En su posición que favorece la disipación térmica, la distancia entre el crisol 2 y
 60 el sistema lateral de aislamiento térmico 6 es la mayor autorizada, y la disipación térmica por las paredes laterales 5 son las más importantes.

De esta forma, según la configuración tomada por los medios de modulación, la disipación térmica por las paredes
 laterales del crisol puede ser muy reducida o bien más importante, pudiendo variar la proporción de disipación
 65 térmica por las paredes laterales de forma continua o discontinua.

5 Durante la fase de fusión, la disipación térmica se reduce al mínimo, lo que permite tener simultáneamente una calefacción y un mezclado eficaces con los medios de calentamiento por inducción conservando al mismo tiempo un buen rendimiento energético de la operación. Durante la cristalización, la disipación térmica por las paredes laterales son más importantes y pueden aumentar de forma continua o de forma discreta a medida que transcurre la cristalización para adaptarse a la modificación de la conductancia térmica del material contenido en el crisol.

10 En esta realización, es ventajoso que los medios de modulación estén provistos de medios de desplazamiento del sistema lateral de aislamiento 6, por ejemplo, de elementos laterales de aislamiento 7 y 7', en rotación alrededor del eje longitudinal del crisol 2. Al realizar la rotación del sistema lateral 6 o de los elementos 7 y 7' independientemente entre sí, se evita la formación de zonas frías en el crisol que son especialmente perjudiciales. Los elementos 7 y 7' se pueden desplazar independientemente entre sí, uno de los dos puede así estar fijo con respecto al otro, pueden desplazarse a velocidades diferentes o en sentidos opuestos.

15 La posición longitudinal del elemento lateral de aislamiento térmico 6 con respecto a fondo 4 del crisol 2 permite crear un gradiente térmico axial más o menos importante a lo largo de la altura del crisol 2.

20 En otra realización particular que corresponde a la combinación de las diferentes realizaciones de las figuras 1 a 6, el sistema lateral de aislamiento térmico 6 puede desplazarse según una dirección longitudinal y según una dirección lateral. Esta realización se puede aplicar, evidentemente, a los elementos laterales de aislamiento térmico principal 7 y adicional 7'. Ambos elementos laterales de aislamiento 7 y 7' se pueden desplazar, por tanto, en las direcciones longitudinal y laterales. Es también previsible que el elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 se desplaza según una dirección longitudinal y que el elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7' se desplaza según una dirección lateral.

25 El material aislante que constituye el sistema lateral de aislamiento térmico 6 está realizado ventajosamente a partir de un material eléctricamente aislante de forma que se limite lo máximo posible el acoplamiento electromagnético generado por los medios de calentamiento del horno. El material aislante tiene una conductividad eléctrica inferior a 1 S/m. El material aislante se escoge igualmente entre materiales que tienen una conductividad térmica baja, de forma típica inferior a 15W/m/K.

35 El material aislante del sistema lateral de aislamiento térmico 6 se puede seleccionar, por ejemplo, entre aluminio, Macor™, mulita o circonio. Ventajosamente, todos los elementos y subelementos laterales de aislamiento térmico están hechos del mismo material.

Ventajosamente, el material aislante tiene un coeficiente de emisividad comprendido entre 0,3 y 0,6. Así, si la emisividad es baja, se refuerza el carácter aislante térmico del aislante térmico lateral y del aislante térmico lateral adicional, pero aumenta la inercia del horno.

40 El horno puede funcionar a vacío o con una atmósfera gaseosa controlada. Esta atmósfera gaseosa puede estar compuesta por un gas seleccionado entre argón, oxígeno, hidrógeno, helio, nitrógeno o aire, o una mezcla de estos gases. Ventajosamente, la atmósfera está compuesta por un gas neutro o una mezcla de gases neutros.

45 Las pérdidas térmicas por las paredes laterales 5 se realizan por irradiación y por convección si el horno 1 está provisto de una atmósfera gaseosa.

50 Según la dirección longitudinal, el espesor del sistema lateral de aislamiento térmico 6 y/o de los elementos 7 y 7' es constante o puede mostrar una variación continua. La sección del elemento lateral de aislamiento térmico 7 y 7' en un plano de corte perpendicular al fondo del crisol tiene una forma rectangular o la de un trapecio rectangular. Si el espesor no es constante para toda la altura del elemento lateral de aislamiento 6, 7, 7', el espesor más importante se coloca ventajosamente en la parte superior del aislante térmico. Esta variación en el espesor también permite crear un gradiente térmico axial más o menos importante sobre la altura del crisol 2.

55 En una realización particular, el aislante térmico lateral y/o el aislante térmico lateral adicional está perforado por una pluralidad de orificios con el fin de modular la disipación térmica. Por tanto, puede ser ventajoso controlar la rotación o el ángulo de desfase entre los elementos laterales de aislamiento 7 y 7' con el fin de obstruir totalmente/parcialmente los orificios del elemento térmico lateral principal 7 mediante el elemento térmico lateral adicional 7'. Este modo de funcionamiento es particularmente ventajoso en el caso de un crisol cilíndrico.

60 En esta realización, los medios de modulación están provistos de medios de desplazamiento del sistema lateral de aislamiento 6, por ejemplo, de los elementos laterales de aislamiento 7 y 7', en rotación alrededor del eje longitudinal del crisol 2.

65 Ventajosamente, el espesor del sistema lateral de aislamiento térmico 6 o la suma de los espesores de los elementos 7 y 7' está comprendida entre 2 y 20mm, aún más ventajosamente entre 5 y 10mm. De forma típica, la

altura del sistema lateral de aislamiento térmico 6 está comprendida entre 10 y 20 cm.

A modo de ejemplo, el desplazamiento según la dirección lateral entre el sistema lateral de aislamiento térmico 6 y el crisol puede estar comprendido entre 0 y 10cm.

5

A modo de ejemplo, igualmente, el desplazamiento longitudinal del sistema lateral de aislamiento térmico 6 está comprendido entre 5 y 15cm.

10 El flujo de calor extraído del crisol 2 está modulado por la variación de la configuración geométrica del crisol 2 con respecto al elemento lateral de aislamiento térmico 6 y eventualmente a los elementos 7 y 7'. La modulación del flujo térmico se puede realizar con una modulación única o en combinación:

- la separación, en una dirección lateral, entre el sistema lateral de aislamiento térmico 6 y las paredes laterales 5,

15 - la separación, en una dirección lateral, entre el elemento lateral de aislamiento térmico principal 7 y el elemento lateral de aislamiento térmico adicional 7 así como su separación con respecto a crisol,

- el recubrimiento, en una dirección vertical, del elemento lateral de aislamiento térmico 6, o los elementos 7 y 7', con las paredes laterales 5 del crisol 2,

20

- el recubrimiento, en una dirección vertical, con los elementos 7 y 7' entre ellos,

- la composición de la atmósfera gaseosa dentro del horno 1,

25 - el recubrimiento por rotación angular.

A modo de ejemplo, un horno de cristalogénesis según la invención es un horno adaptado al silicio que se puede realizar de la siguiente forma. Los medios de modulación de la disipación térmica lateral están provistos de un elemento lateral de aislamiento térmico principal y un elemento lateral de aislamiento térmico adicional. Estos dos elementos laterales de aislamiento térmico están hechos de aluminio. El crisol es de tipo cilíndrico, como el de la figura 3. El diámetro del crisol es igual a 20 cm y las paredes laterales tienen una altura igual a 25 cm. Los elementos laterales de aislamiento térmico tienen una altura igual a 15cm y un espesor igual a 8 mm. El horno está provisto igualmente de un material aislante fijo cuyo espesor es igual a 5 cm. Durante su funcionamiento, la temperatura de la cara interna del aislante es de aproximadamente 800°C.

35

Durante la fase de fusión, los elementos laterales de aislamiento térmico se encuentran en una posición de aislamiento. Están ensamblados al crisol con el fin de reducir al máximo las pérdidas térmicas desde las paredes laterales del crisol. Esta posición de aislamiento se muestra en la figura 2 o 4. El flujo de calor extraído del crisol por las paredes laterales es de aproximadamente 10 kW. Tras iniciarse la solidificación, el elemento lateral de aislamiento térmico adicional se desplaza longitudinalmente de forma continua con una velocidad vinculada a la velocidad de solidificación del silicio desde el fondo del crisol. La dirección de solidificación del silicio es idéntica a la dirección de desplazamiento del elemento lateral de aislamiento térmico adicional. La velocidad de solidificación es de aproximadamente 10 m/h.

45 Al finalizar la solidificación, cuando ya no queda material fundido, el elemento lateral de aislamiento térmico adicional se ha desplazado longitudinalmente unos 10 cm y esta configuración se ha mostrado en la figura 3 o 6. El flujo de calor extraído por las paredes laterales es de aproximadamente 13 kW, lo que representa un aumento del 30% en el flujo extraído con respecto a la configuración de aislamiento.

50 En el caso en que los dos elementos laterales de aislamiento térmico ya no estén fabricados en aluminio, sino en Macor™, el aumento del flujo extraído con respecto a la configuración de aislamiento es de aproximadamente un 75%.

55 El horno está provisto de medios de refrigeración colocados bajo el fondo del crisol con el fin de imponer un gradiente térmico vertical.

REIVINDICACIONES

1. Horno (1) de fusión y de solidificación para material cristalino (3) provisto de:
- 5 - un crisol (2) que tiene un fondo (4) y paredes laterales (5), mostrando el crisol una dirección longitudinal perpendicular al fondo (4)
- un sistema lateral de aislamiento térmico (6) colocado alrededor del crisol (2) frente a las paredes laterales (5), estando provisto el sistema lateral de aislamiento térmico (6) de al menos un elemento lateral (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) que se desplaza entre una posición de aislamiento y una posición que favorece la disipación térmica,
- 10 **horno caracterizado porque:**
- el sistema lateral de aislamiento térmico (6) está constituido por al menos dos subelementos adyacentes que forman un anillo continuo en la posición de aislamiento y discontinuo en la posición que favorece la disipación térmica, y **porque** está provisto de medios de desplazamiento de mismo con al menos un elemento lateral (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) siguiendo una dirección lateral perpendicular a la dirección longitudinal.
- 15
2. Horno según la reivindicación 1, **caracterizado porque** el sistema lateral de aislamiento térmico (6) está provisto de al menos elementos laterales de aislamiento principal (7a, 7b, 7c) y adicional (7'a, 7'b, 7'c).
- 20
3. Horno según una de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado porque** los medios de desplazamiento están provistos de medios de desplazamiento de al menos un elemento lateral (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) del sistema lateral de aislamiento térmico (6), según una dirección longitudinal.
- 25
4. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** los medios de desplazamiento están provistos de medios de desplazamiento de al menos un elemento lateral (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) del sistema lateral de aislamiento térmico (6) en rotación con respecto al eje longitudinal del crisol (2).
5. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado porque** al menos un
- 30 elemento lateral de aislamiento térmico (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) tiene una emisividad comprendida entre 0,3 y 0,6.
6. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 **caracterizado porque** el sistema lateral de aislamiento térmico (6) está fabricado de un material seleccionado entre aluminio, Macor™, mulita o circonio.
- 35
7. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el sistema lateral de aislamiento térmico (6) tiene una altura idéntica a la altura de las paredes laterales (5).
8. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el sistema lateral de aislamiento térmico (6) tiene una altura inferior a la altura de las paredes laterales (5).
- 40
9. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado porque** al menos un elemento lateral (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) del sistema lateral de aislamiento térmico (6) tiene una sección rectangular según un plano perpendicular al fondo (4) del crisol (2).
- 45
10. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** al menos un elemento lateral (7a, 7b, 7c, 7'a, 7'b, 7'c) del sistema lateral de aislamiento térmico (6) tiene una sección trapezoidal rectangular a una según un plano perpendicular al fondo (4) del crisol (2).
11. Horno según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado porque** está provisto de
- 50 medios de calentamiento del material cristalino por inducción electromagnética, y **porque** el sistema lateral de aislamiento térmico (6) tiene una conductividad eléctrica inferior a 1 S/m y una conductividad térmica inferior a 15 W/m/K.

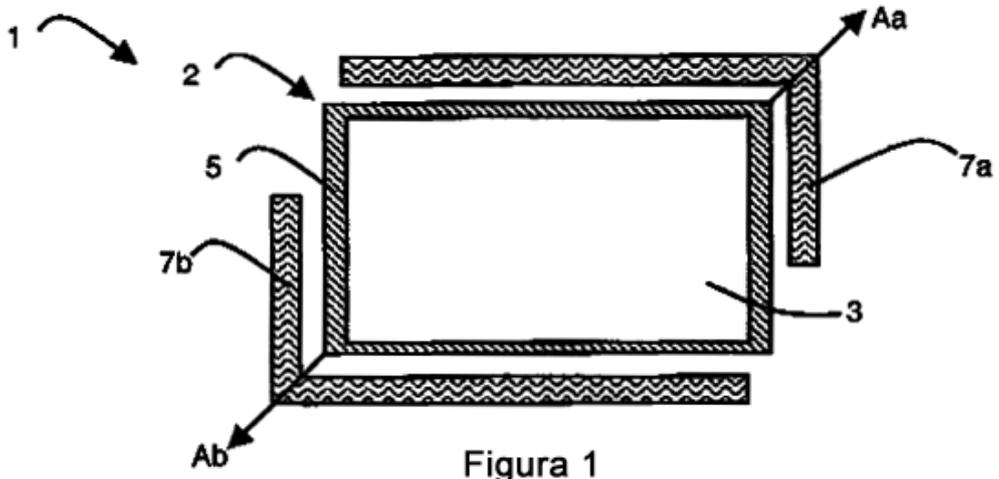


Figura 1

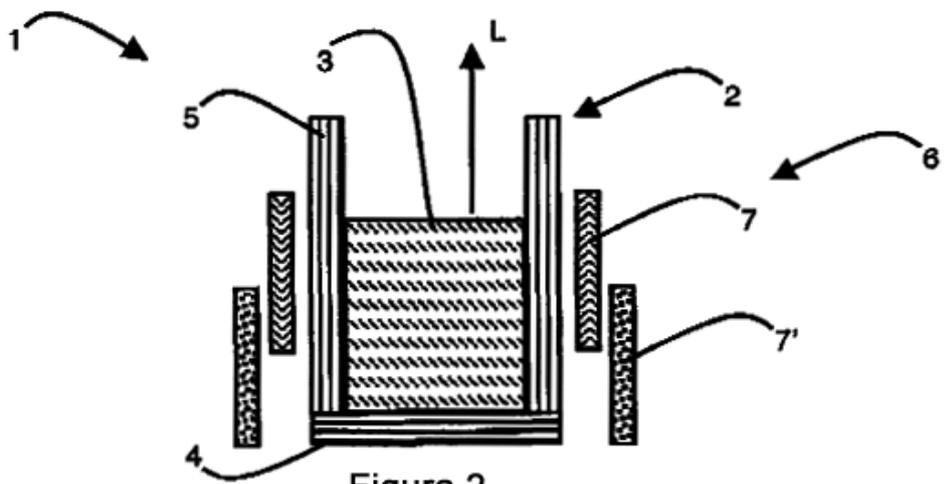


Figura 2

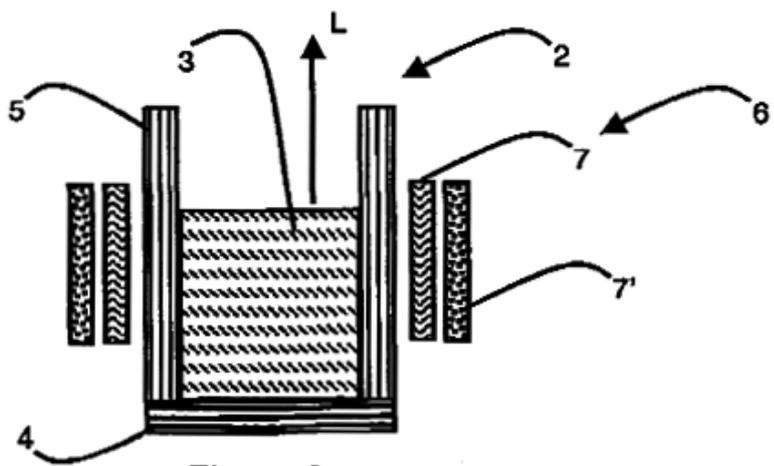


Figura 3

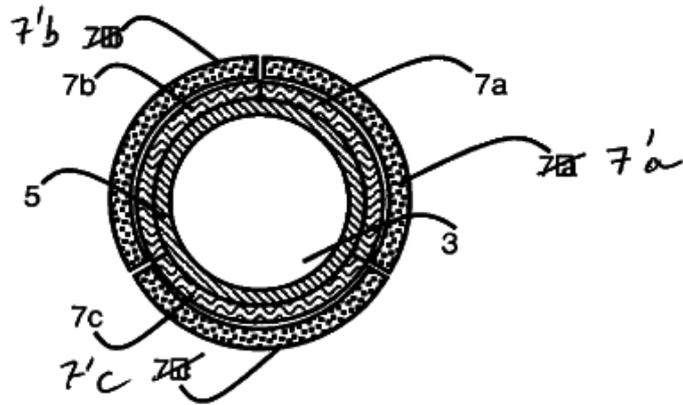


Figura 4

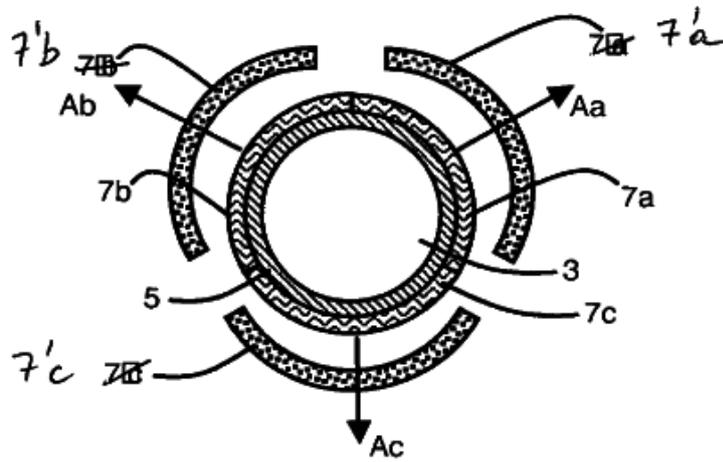


Figura 5

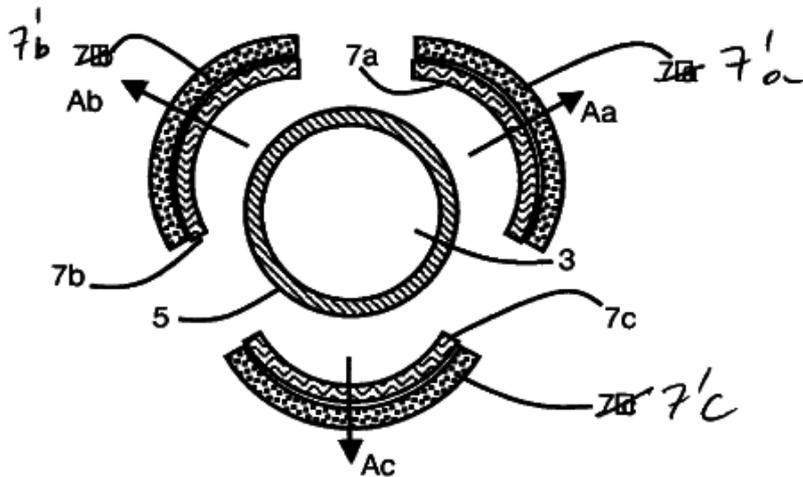


Figura 6



Figura 7



Figura 8