

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 391 150**

51 Int. Cl.:  
**C30B 15/14** (2006.01)  
**C30B 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08784554 .1**  
96 Fecha de presentación: **17.06.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2162570**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.03.2010**

54 Título: **Dispositivo para fabricar cristales a partir de masas fundidas eléctricamente conductoras**

30 Prioridad:  
**18.06.2007 DE 102007028547**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**22.11.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**22.11.2012**

73 Titular/es:  
**FORSCHUNGSVERBUND BERLIN E.V. (100.0%)  
RUDOWER CHAUSSEE 17  
12489 BERLIN, DE**

72 Inventor/es:  
**LANGE, RALPH-PETER;  
JOCKEL, DIETMAR;  
ZIEM, MARIO;  
RUDOLPH, PETER;  
KIESSLING, FRANK;  
FRANK-ROTSCH, CHRISTIANE;  
CZUPALLA, MATTHIAS;  
NACKE, BERNARD y  
KASJANOW, HELENE**

74 Agente/Representante:  
**IZQUIERDO FACES, José**

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).

ES 2 391 150 T3

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo para fabricar cristales a partir de masas fundidas eléctricamente conductoras.

**[0001]** La presente invención se refiere a un dispositivo para fabricar cristales a partir de masa fundidas eléctricamente conductoras.

5 **[0002]** Se conocen dispositivos para generar simultáneamente un perfil de temperatura y campo magnético para su uso en el cultivo de cristales. La mayoría de las publicaciones describen dispositivos para generar un campo magnético rotatorio (transversal). En el documento DE 2 107 646, Hull IBM Technical Disclosure Bulletin vol. 23 (1980) 2756), Hoshikawa *et al.* (Jpn. J. Appl. Phys. 19 (1980) L33) y Kim *et al.*, IBM Technical Disclosure Bulletin vol. 25 (1982) 2277 así como en el documento DE 37 50 382 T2 se describe un calefactor por resistencia de grafito cilíndrico hueco compuesto por tres segmentos en conexión en triángulo y que incluye el crisol de masa fundida, por 10 el que pasa una corriente trifásica RST, de modo que la disposición genera junto a una cantidad de calor determinada un campo magnético rotatorio transversal y por consiguiente actúa como un motor de inducción, actuando el calefactor como estator y la masa fundida eléctricamente conductora incluida por el mismo como rotor. Debido a ello, en los tres casos se desplaza una masa fundida de silicio que se encuentra en un crisol de vidrio de 15 sílice en forma de vaso, según en cada caso la dirección del flujo de corriente, en movimiento de rotación que gira a la derecha o la izquierda. La disposición se propone para la generación de una convección controlada y con ello el mezclado de la masa fundida.

**[0003]** En ninguno de los documentos enumerados anteriormente se encuentran indicaciones sobre cómo está configurado en detalle el cuerpo de calefacción por resistencia que genera un campo magnético. Si se usara el 20 modelo verticalmente ranurado en forma de meandro usado habitualmente en el cultivo de cristales para aumentar el recorrido de corriente y con ello la resistencia eléctrica (véase por ejemplo la figura 3.2.-24 en la página 703 en K. Wilke, J. Bohm, Kristallzüchtung, Vlg. H. Deutsch and Thun, Frankfurt a.M. 1988), estaría limitado el acoplamiento del campo magnético en el desplazamiento de fases que está en contacto con los puntos de contacto y por consiguiente sería ineficaz dado que se neutralizan las líneas de campo en la zona de los recorridos de corriente 25 que discurren de manera contraria. Se generaría una proporción de campo longitudinal reducida en el borde superior e inferior con las secciones del cambio de recorrido de flujo que discurren horizontalmente.

**[0004]** Para obtener con respecto a la inducción magnética una configuración más eficaz de los recorridos de corriente y una conexión en estrella del cuerpo de calefacción, se propone en el documento DE 2 107 646 usar una ranuración paralela triple en forma de espiral que asciende en forma de hélice partiendo de los puntos de contacto 30 en la base del calefactor y finaliza cerca del borde superior.

**[0005]** En el documento JP 59121183 A se recomiendan dos segmentos de calefacción cilíndricamente curvados que se encuentran opuestos entre sí, que en cada caso están compuestos por una espiral de circuito con tipo de espiral en el centro del segmento y generan un campo magnético constante para suprimir los flujos de convección en la masa fundida. Una disposición de este tipo es sin embargo desde el punto de vista térmico y magnético 35 extremadamente asimétrico, es desventajoso para un cultivo de monocristales y además es inadecuado debido a la complejidad para su uso industrial. El documento JP 2001 181 088 da a conocer un dispositivo de calefacción por inducción. En caso de este dispositivo, las barras de alimentación de corriente están configuradas en forma de una pieza angular.

**[0006]** Para una amortiguación más eficaz de las corrientes de convección en un crisol de masa fundida de cristal es especialmente ventajoso el acoplamiento de un campo magnético que migra longitudinalmente, dado que 40 contrarresta en forma de un toroide de líneas de campo cerrado el patrón de corriente de la masa fundida de forma similar axialmente simétrica (véase por ejemplo Socoliuc, Magnetohydrodynamics 39 (2003) 187) y debido a ello también permite un muy buen control de la forma de límite de fases sólido-líquido en caso del procedimiento Bridgman vertical (véase por ejemplo Schwesig *et al.* J. Crystal Growth 266 (2004) 224). Todas las soluciones 45 discutidas anteriormente no cumplen este requisito.

**[0007]** Sin embargo se describen también disposiciones de calefactor que generan simultáneamente calor y un campo de ondas progresivas magnético longitudinal. Así se remite en el documento DE 10102126 A1 a una disposición de calefactor rotacionalmente simétrica que está configurada simultáneamente como inductor de 50 múltiples fases en forma de espiral. También en el documento DE 103 49 339 A1 se realizan tres secciones de bobina de calefacción que se encuentran una sobre la otra constituidas por espiras de grafito eléctricamente conductoras en forma de espiral y se conectan entre sí en configuración triangular, de modo que en caso de la circulación de tensión alterna RST con desplazamiento de fases de 120° en la masa fundida incluida se inducen líneas de campo magnético que migran toroidalmente. Se sabe que debe estar presente al menos una disposición de dos bobinas para la generación combinada de un campo de ondas progresivas térmico y magnético.

55 **[0008]** Todas estas propuestas de solución expuestas tienen los siguientes inconvenientes: por un lado, los parámetros geométricos de las espiras de bobina, tales como la sección transversal, la distancia y el número de espiras, no están especificados ni optimizados, lo que es sin embargo una condición técnica incondicional para un accionamiento simultáneo activo de la disposición para fundir o cristalizar una correspondiente sustancia y generar

un campo de ondas progresivas magnético de fuerza suficiente y debido a ello permite en primer lugar una aplicación industrial. Por otro lado, las disposiciones de calentamiento explicadas y representadas gráficamente en las publicaciones son mecánicamente inestables, dado que el peso propio de las espiras conduciría al derrumbamiento y con ello a distintas distancias entre espiras hasta el punto de cortocircuitos. Además no permiten ninguna variación dirigida de las distancias entre espiras para las respectivas secciones de bobina. Otro inconveniente consiste en que están conducidos a lo largo de en las barras de alimentación de corriente hacia los puntos de contacto eléctricos de las secciones de bobina, por ejemplo cuatro en caso de una conexión en estrella, respectivamente en un ángulo circular determinado coaxialmente en proximidad directa a la superficie de la camisa exterior de la disposición, de manera que debido sus aportes de inducción se llegan a asimetrías del campo magnético acoplado, lo que contradice a su vez una simetría de rotación exigida en caso de procesos de cultivo de cristales de los campos térmicos y másicos en la masa fundida. Además no se ilustra ninguna solución técnica con respecto a las alimentaciones de contacto para una conexión en estrella.

**[0009]** El objetivo de la invención es proporcionar un dispositivo para fabricar cristales, monocristales como policristales, a partir de masas fundidas eléctricamente conductoras, con el que se mejora el procedimiento de cultivo y con ello la calidad de los cristales que van a fabricarse, particularmente mediante la mejora de la estabilidad mecánica del dispositivo de calentamiento y en relación con la prevención de un campo adicional magnético asimétrico con acción perturbadora en la masa fundida.

**[0010]** El objetivo se soluciona mediante un dispositivo con las características de la reivindicación 1.

**[0011]** Ciertas configuraciones ventajosas del dispositivo según la invención están contenidas en las reivindicaciones dependientes.

**[0012]** Así, el dispositivo según la invención para fabricar cristales a partir de masas fundidas eléctricamente conductoras, que presenta al menos un crisol que contiene una masa fundida, dispuesto en una cámara de cultivo, un dispositivo de calentamiento que rodea al crisol, que está realizado como disposición de múltiples bobinas de bobinas dispuestas una sobre otra, presentando las bobinas espiras de bobina continuas o escalonadas y estando colocadas en las bobinas barras de alimentación de corriente que están conectadas eléctricamente con un dispositivo de alimentación de energía dispuesto fuera de la cámara de cultivo, está caracterizado por que el dispositivo de calentamiento presenta elementos estabilizadores en las espiras de bobina y las barras de alimentación de corriente están configuradas en forma de una pieza angular.

**[0013]** En una forma de realización preferente del dispositivo según la invención se prevé que los elementos de estabilización estén configurados como barras cilíndricas con entalladuras en forma de ranura.

**[0014]** En otra forma de realización preferente del dispositivo según la invención se prevé que los elementos estabilizadores estén configurados como barras cilíndricas con plaquitas.

**[0015]** En otra forma de realización preferente del dispositivo según la invención se prevé que los elementos estabilizadores estén dispuestos coaxialmente a lo largo del lado externo de las bobinas entre las barras de alimentación de corriente, enganchándose las entalladuras en forma de ranura en las espiras de bobina de las bobinas o encontrándose las plaquitas entre las espiras de bobina.

**[0016]** Una siguiente forma de realización preferente del dispositivo según la invención prevé que estén presentes al menos dos elementos estabilizadores.

**[0017]** Mediante la colocación de los elementos estabilizadores se evita una desventaja esencial de todas las disposiciones existentes hasta el momento, concretamente el derrumbamiento de las espiras del calefactor mecánicamente inestables, y se proporciona otro parámetro para la influencia del campo térmico y del magnético, concretamente distancias variables o constantes entre las espiras individuales.

**[0018]** Otra forma de realización preferente del dispositivo según la invención está caracterizada por que está presente al menos una entalladura en forma de ranura en los elementos estabilizadores.

**[0019]** En otra forma de realización preferente del dispositivo según la invención se prevé que los elementos estabilizadores presenten al menos una plaquita.

**[0020]** El dispositivo según la invención está caracterizado por que las barras de alimentación de corriente presentan al menos una barra horizontal y una barra vertical, estando conectadas entre sí éstas una con respecto a la otra en forma de una pieza angular.

**[0021]** El dispositivo según la invención prevé que la longitud de barra de las barras horizontales corresponde al menos a la longitud de la profundidad de penetración del flujo magnético a una frecuencia usada respectivamente.

**[0022]** Con esta disposición se impide una inducción de corrientes que a partir del flujo de corriente de las alimentaciones de corriente verticales en la masa fundida, que conduciría a asimetrías del flujo generado con el calefactor de bobinas.

- [0023]** En el dispositivo según la invención se prevé que la barra horizontal de las barras de alimentación de corriente están conectadas de manera eléctricamente conductora con al menos una bobina.
- [0024]** La barra horizontal de las barras de alimentación de corriente está conectada de manera eléctricamente conductora con dos bobinas, cuando actúan como punto neutro en caso de una conexión en estrella.
- 5 **[0025]** Otra forma de realización preferente del dispositivo según la invención prevé que las barras verticales de las barras de alimentación de corriente estén conectadas de manera eléctricamente conductora fuera de la cámara de cultivo con el dispositivo de alimentación de energía.
- [0026]** La barra vertical de las barras de alimentación de corriente se pone en contacto eléctricamente conductora inicialmente con una realización de recipiente resistente a la presión y vacío y entonces está conectado de manera  
10 eléctricamente conductora fuera de la cámara de cultivo con el dispositivo de alimentación de energía.
- [0027]** Una siguiente forma de realización preferente del dispositivo según la invención está caracterizada por que una barra de alimentación de corriente presenta dos barras horizontales que están conectadas eléctricamente con las bobinas.
- [0028]** Con ello se consigue que una alimentación de corriente representa el punto neutro dos bobinas adyacentes  
15 entre sí, de manera que se ahorra una alimentación. Una bobina se conecta eléctricamente de modo que se obtiene una dirección de campo idéntica a las otras bobinas.
- [0029]** En otra configuración preferente del dispositivo según la invención se prevé que las espiras de bobina (9) presenten una sección transversal de espira (Q) con una anchura de espira (B) y una altura de espira (H) en la proporción de 10:1 a 1:10.
- 20 **[0030]** Otra forma de realización preferente del dispositivo según la invención está caracterizada por que las espiras de bobina presentan una sección transversal de espira con la anchura de espira y la altura de espira en la proporción de 5:1.
- [0031]** La geometría de las espiras de bobina se adapta según la invención a su estabilidad y a su resistencia específica.
- 25 **[0032]** Una siguiente configuración preferente del dispositivo según la invención prevé que la sección transversal de espira (Q) presente una forma geométrica cualquiera.
- [0033]** Con la solución según la invención se evita los inconvenientes señalados del estado de la técnica: los elementos estabilizadores se ocupan de que la distancia entre espiras se mantenga mecánicamente estable y constante o estable y ensanchada o reducida para el ajuste de un gradiente de temperatura por toda la longitud del  
30 dispositivo de calentamiento o una longitud de bobina.
- [0034]** Los recorridos de corriente ascendentes en forma de espiral o escalonados que forman las bobinas del dispositivo de calentamiento cilíndrico hueco de grafito extrapuro, presentan una sección transversal de espira tal y distancias entre espiras tal que en caso de paso de corriente de determinada intensidad por un lado se alcanza la temperatura de fusión de la respectiva sustancia de cultivo o se excede hasta aproximadamente 100°C y por otro  
35 lado con igual intensidad de corriente pero desplazamiento de fases optimizado (ángulo de fases) y frecuencia de la corriente trifásica se genera un campo de ondas progresiva magnético con una intensidad de inducción de este tipo y fuerza de líneas de campo que es opuesta a la fuerza de flujo de las corrientes de convección en las masas fundidas, neutralizando o invirtiendo ésta o está rectificadas a la fuerza de flujo de las corrientes de convección en la masa fundida y refuerza ésta.
- 40 **[0035]** El dispositivo según la invención puede usarse en aquellas instalaciones de cultivo de cristales que trabajen según el procedimiento de Czochralski, el procedimiento de congelación de gradiente o Bridgman vertical, pero también según el procedimiento de intercambiador de calor y Kyropoulos. Además, este dispositivo es adecuado (junto al cultivo de monocristales) también para fabricar material semiconductor policristalino.
- [0036]** Se ha demostrado que una optimización como prelude de la fabricación del dispositivo según la invención  
45 puede realizarse con ayuda de una modelación numérica, a partir de la cual se calcula inicialmente la configuración y la fuerza de flujo de la convección y a continuación con la especificación del rendimiento calorífico fijado para el cultivo, es decir de la corriente de filamento, y de la tensión de filamento, se determina la geometría y la distancia de las espiras así como la frecuencia y el desplazamiento de fases de la corriente trifásica, de modo que se consigue la acción mencionada anteriormente de la mejor manera posible.
- 50 **[0037]** La simetría de rotación térmica y magnética del dispositivo se garantiza según la invención debido a que las barras de alimentación de corriente en los puntos de contacto de las bobinas no discurren según la invención de manera paralela al eje a lo largo de la superficie de la camisa de las bobinas, sino que están configurados como en forma de una pieza angular, "en forma de corona" y por consiguiente alimentan la corriente a través de brazos salientes horizontales, las barras horizontales de las barras de alimentación de corriente. Las barras de alimentación

de corriente no están curvadas hasta una distancia poco crítica, ascendiendo ésta al menos a la profundidad de penetración del flujo magnético a la frecuencia usada y están unidas con las realizaciones de la cámara de cultivo.

**[0038]** A continuación se explica en más detalle un ejemplo de realización de la invención por medio de dibujos.

**[0039]** Muestran

- 5 la figura 1: una sección transversal esquemática a través de una instalación de cultivo de cristales,  
la figura 2 una representación esquemática del dispositivo de calentamiento de la instalación de cultivo de cristales,  
la figura 3I una representación esquemática de elementos estabilizadores con entalladuras en forma de ranura,  
la figura 3II una representación esquemática de los elementos estabilizadores con entalladuras en forma de ranura  
10 y las espiras de bobina contiguas,  
la figura 3III una representación esquemática de los elementos estabilizadores con plaquitas.  
la figura 4 una representación gráfica de la distribución del componente de fuerza magnética vertical dependiendo de la geometría de las barras de alimentación de corriente.

15 **[0040]** En la figura 1 se muestra la representación esquemática de una instalación de cultivo de cristales en sección transversal.

**[0041]** En una cámara de cultivo 10 se encuentra un crisol 12 que contiene una masa fundida 11. El crisol 12 se rodea de un dispositivo de calentamiento 1. Se muestra también un cristal 8 solidificado a partir de la masa fundida 11.

20 **[0042]** El dispositivo de calentamiento 1 está construido por tres bobinas 1a, 1b, 1c dispuestas una sobre otra. Las espiras de bobina 9 de las bobinas 1a, 1b, 1c presentan una sección transversal de espira Q. Las bobinas 1a, 1b, 1c tienen respectivamente una longitud de bobina La, Lb, Lc. En las bobinas 1a, 1b, 1c se encuentran barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c y 2m eléctricamente conductoras que se conducen por la cámara de cultivo 10 y están conectadas eléctricamente con un dispositivo de alimentación de energía 13. La figura 1 muestra también los elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d dispuestos entre las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2d, 2m.

25 **[0043]** La figura 2 muestra una representación esquemática del dispositivo de calentamiento para una instalación de cultivo de cristales.

30 **[0044]** El dispositivo de calentamiento 1 está constituido por una disposición de múltiples bobinas con tres bobinas 1a, 1b, 1c de grafito dispuestas una sobre otra que presentan espiras de bobina 9 escalonadas. En las bobinas 1a, 1b, 1c del dispositivo de calentamiento 1 están dispuestos cuatro elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d, que actúan como barras de mantenimiento de distancia, en ángulo de 90° respectivamente entre las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c, 2m. Las espiras de bobina 9 de las bobinas 1a, 1b, 1c presentan una anchura de espira B, una altura de espira H y una distancia entre espiras A. Las bobinas 1a, 1b, 1c están conectadas entre sí a través de las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c, 2m, de modo que obtienen en relación con la corriente una configuración en estrella.

35 **[0045]** Las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c y 2m están configuradas en forma de una pieza angular, es decir "en forma de corona". Presentan respectivamente al menos una barra horizontal 5a, 5b, 5c, 5m y una barra vertical 6a, 6b, 6c, 6m que están conectadas entre sí sin soldadura en ángulo recto. La barra horizontal 5a, 5b, 5c, 5m está conectada eléctricamente con los contactos de las bobinas 1a, 1b, 1c. La longitud de barra 7 de las barras horizontales 5a, 5b, 5c, 5m corresponde al menos a la profundidad de penetración del flujo magnético a la frecuencia  
40 usada de la corriente alterna trifásica, es decir las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c, 2m configuradas como pieza angular no se curvan hasta una distancia crítica a las bobinas 1a, 1b, 1c del dispositivo de calentamiento 1 de al menos la profundidad de penetración del flujo magnético a la frecuencia usada. Las barras de alimentación de corriente 2a, 2b y 2c se ponen en contacto de ese modo con los puntos finales de la bobina. La barra de alimentación de corriente 2m dotada de dos barras horizontales 5m, 5n forma el contacto de punto medio común de  
45 la conexión en estrella.

**[0046]** Las bobinas 1a, 1b, 1c están acopladas a una fuente de tensión alterna como dispositivo de alimentación de energía 13. Es posible una conexión en triángulo o una conexión en estrella. En caso de una conexión triangular se suprime la barra horizontal 5m.

50 **[0047]** Una conexión en estrella tiene la ventaja de una libre elección del desplazamiento de fases. Para ello ha de conducirse hacia fuera el punto medio común.

**[0048]** Los cuatro elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d compuestos de material cerámico de alta temperatura respaldan la estabilidad mecánica del dispositivo de calentamiento 1 y proporcionan distancias entre espiras A

equidistantes o variables. De esta manera se mantiene la distancia entre espiras A de las espiras de bobina 9 de las bobinas 1a, 1b, 1c de manera flexiblemente influenciable.

5 **[0049]** Un diámetro interno I del dispositivo de calentamiento 1 asciende a 130 mm y permite la encapsulación del crisol 12 de dimensión externa más pequeña. En caso de la circulación de una corriente trifásica de determinada frecuencia y desplazamiento de fases se consigue según en cada caso la dirección de giro un movimiento hacia arriba o hacia debajo de las líneas de campo de ondas progresivas magnéticos en la masa fundida 11.

10 **[0050]** Las medidas geométricas de las espiras de bobina 9, particularmente la altura de espira H, la anchura de espira B y la distancia entre espiras A, se fabrican con ayuda de una modelación numérica de modo que la inducción acoplada en la masa fundida y la intensidad de las líneas de campo magnético generan la contrafuerza necesaria para la inhibición de la convección. Simultáneamente, una longitud de bobina La, Lb, Lc por bobina 1a, 1b, 1c y una sección transversal de espira Q de las espiras de bobina 9 deben obtener una resistencia tal que en caso de paso corriente de determinada intensidad se genera el calor necesario para la fusión.

15 **[0051]** Para ello debe conocerse la energía necesaria en kW. Con la corriente necesaria para la generación de un flujo magnético correspondientemente grande puede calcularse entonces según la ley de Ohm la sección transversal de las bobinas.

**[0052]** La figura 3I a la figura 3III muestran en representación esquemática los elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d compuestos por material cerámico de alta temperatura.

20 **[0053]** Así en la figura 3I se representa la representación esquemática de los elementos estabilizadores 3a, 3b, con entalladuras en forma de ranura 4. Las entalladuras en forma de ranura 4 presentan dimensiones tales que éstas se acoplan en las espiras de bobina 9 de las bobinas 1a, 1b, 1c. de esta manera se influye la distancia entre bobinas A de las bobinas 1a, 1b, 1c. Los elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d actúan como barras de mantenimiento de la distancia entre las espiras. La figura 3II muestra cómo las espiras de bobinas 9 de las bobinas 1a, 1b, 1c encajan en las entalladuras en forma de ranura 4 de los elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d.

25 **[0054]** La figura 3III muestra otra configuración de los elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d en forma de plaquitas 14 compuestas por corindón, que se empujan sobre una barra cilíndrica.

30 **[0055]** Como alternativa pueden empujarse las entalladuras en forma de ranura 4 mediante estas plaquitas 14 compuestas por material correspondiente sobre las barras y colocarlas entre las espiras. Estas plaquitas 14 pueden tener iguales pero también distintos espesores y por consiguiente permiten igualmente una variación de las distancias entre espiras. Una fijación de las plaquitas 14 mediante los elementos estabilizadores 3a, 3b, 3c, 3d es necesaria para limitar el movimiento provocado por la vibración del calefactor.

35 **[0056]** En la tabla 1 se muestran los resultados de cálculos para obtener la frecuencia, el desplazamiento de fases y para obtener la geometría de las espiras de bobina 9 así como para obtener la potencia eléctrica generada para tres materiales semiconductores importantes: germanio (Ge), arsenuro de galio (GaAs) y antimonuro de galio (GaSb). Para las mediciones y cálculos de los parámetros se usó un aparato de cultivo Bridgman vertical (VGF - *Vertical Gradient Freeze*, congelación de gradiente vertical). Para fundir los materiales Ge, GaAs y GaSb se suministra una corriente de 450 A y una potencia de 6 kW en el dispositivo de calentamiento 1. La inducción magnética se encuentra en el intervalo de 4 mT - 5 mT. A partir de los cálculos de optimización se obtienen para los tres materiales los siguientes parámetros de bobina del dispositivo de calentamiento: anchura de espira B = 50 mm, altura de espira H = 10 mm, distancia entre espiras A = 4 mm, longitud de espira La, Lb, Lc de las bobinas 1a, 1b, 1c = 66 mm. Para una línea de alimentación de corriente sin pérdidas, las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c y 2m presentan al menos una sección transversal de 25 mm x 70 mm.

Tabla 1:

Parámetro	Ge	GaAs	GaSb
Frecuencia f [Hz]	250	500	300
Ángulo de fases N[°]	60	60	70
Potencia de calentamiento P [kW]	2,4	2,2	2,0
Distancia entre espiras A [mm]	4	4	4
Anchura de espira B [mm]	50	50	50
Altura de espira H [mm]	10	10	10

50 **[0057]** En la figura 4 la modelación numérica de la distribución del componente de fuerza magnético vertical por elemento de volumen a través del perímetro de la superficie de la masa fundida. La línea con las cruces como puntos de valor representa el componente de fuerza magnético Fz, en caso de uso de barras de alimentación de corriente que están realizadas coaxialmente cerca de la camisa del dispositivo de calentamiento 1. La línea con los triángulos como puntos de valor muestra la distribución de los componentes de fuerza magnéticos en caso del uso de las barras de alimentación de corriente 2a, 2b, 2c, 2m "en forma de corona" configuradas según la invención como pieza angular.

5 **[0058]** A partir de la representación se deduce la influencia considerable de la parte de corriente en las alimentaciones en el campo magnético acoplado y su acción de fuerza en la masa fundida. Sin las alimentaciones de corriente en forma de corona según la invención conducidas desde fuera hasta las espiras se genera mediante la corriente que fluye en precisamente estas alimentaciones un campo magnético no deseado de magnitud considerable que perturba claramente la simetría de toda la estructura y puede influirse difícilmente a través de medidas electrónicas. En un calefactor magnético debe fluir una corriente determinada para poder generar un campo magnético. Con ayuda de las alimentaciones en forma de corona según la invención se alcanza una reducción clara a completa de los efectos asimétricos mostrados.

**Lista de números de referencia**

- 10 **[0059]**
- 1 dispositivo de calentamiento
  - 1a bobina
  - 1b bobina
  - 1c bobina
  - 15 2a barra de alimentación de corriente
  - 2b barra de alimentación de corriente
  - 2c barra de alimentación de corriente
  - 2m barra de alimentación de corriente
  - 3a elemento estabilizador
  - 20 3b elemento estabilizador
  - 3c elemento estabilizador
  - 3d elemento estabilizador
  - 4 entalladura en forma de ranura
  - 5a barra horizontal
  - 25 5b barra horizontal
  - 5c barra horizontal
  - 5m barra horizontal
  - 5n barra horizontal
  - 6a barra vertical
  - 30 6b barra vertical
  - 6c barra vertical
  - 6m barra vertical
  - 7 longitud de barra de las barras horizontales
  - 8 cristal
  - 35 9 espira de bobina
  - 10 cámara de cultivo
  - 11 masa fundida
  - 12 crisol
  - 13 dispositivo de alimentación de energía
  - 40 14 plaquita

	A	distancia entre espiras
	H	altura de espira
	B	anchura de espira
	n	número de espiras
5	La	longitud de bobina
	Lb	longitud de bobina
	Lc	longitud de bobina
	Q	sección transversal de espira
	I	diámetro interno del dispositivo de calentamiento

10

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para cultivar cristales a partir de masas fundidas eléctricamente conductoras que presenta al menos un crisol (12) que contiene una masa fundida (11), dispuesto en una cámara de cultivo (10), un dispositivo de calentamiento (1) que rodea al crisol (12), que está realizado como disposición de múltiples bobinas de bobinas (1a, 1b, 1c) dispuestas una sobre otra, presentando las bobinas (1a, 1b, 1c) espiras de bobina continuas o escalonadas (9) y estando colocadas en las bobinas (1a, 1b, 1c) barras de alimentación de corriente (2a, 2b, 2c, 2m) que están conectadas eléctricamente con un dispositivo de alimentación de energía (13) dispuesto fuera de la cámara de cultivo (10), **caracterizado por que** el dispositivo de calentamiento (1) presenta elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c), (3d) en las espiras de bobina (9) y las barras de alimentación de corriente (2a), (2b), (2c), (2m) presentan al menos una barra horizontal (5a, 5b, 5c, 5m) y una barra vertical (6a, 6b, 6c, 6m) que están conectadas entre sí en forma de una pieza angular, estando conectada de manera eléctricamente conductora la barra horizontal (5a, 5b, 5c, 5m) con al menos una bobina (1a, 1b, 1c) y correspondiendo una longitud de barra (7) de la barra horizontal (5a, 5b, 5c, 5m) al menos a una profundidad de penetración del flujo magnético a una frecuencia usada respectivamente.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado por que** los elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c), (3d) están configurados como barras cilíndricas con entalladuras en forma de ranura (4).
3. Dispositivo según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado por que** los elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c), (3d) están configurados como barras cilíndricas con plaquitas (14).
4. Dispositivo según la reivindicación 1 a 3, **caracterizado por que** los elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c), (3d) están dispuestos coaxialmente a lo largo del lado externo de las bobinas entre las barras de alimentación de corriente (2a), (2b), (2c), (2m), enganchándose las entalladuras en forma de ranura (4) en las espiras de bobina (9) de las bobinas (1a), (1b), (1c) o encontrándose las plaquitas (14) entre las espiras de bobina (9).
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** están presentes al menos dos elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c) (3d).
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** está presente al menos una entalladura en forma de ranura (4) en los elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c), (3d).
7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** los elementos estabilizadores (3a), (3b), (3c), (3d) presentan al menos una plaquita (14).
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** las barras verticales (6a), (6b), (6c), (6m) de las barras de alimentación de corriente (2a), (2b), (2c), (2m) están conectadas eléctricamente fuera de la cámara de cultivo (10) con el dispositivo de alimentación de energía (13).
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** una barra de alimentación de corriente (2m) presenta dos barras horizontales (5m, 5n) que están conectadas eléctricamente con las bobinas.
10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizado por que** las espiras de bobina (9) presentan una sección transversal de espira (Q) con una anchura de espira (B) y una altura de espira (H) en la proporción de 10:1 a 1:10.
11. Dispositivo según la reivindicación 10, **caracterizado por que** las espiras de bobina (9) presentan una sección transversal de espira (Q) con la anchura de espira (B) y la altura de espira (H) en la proporción de 5:1.

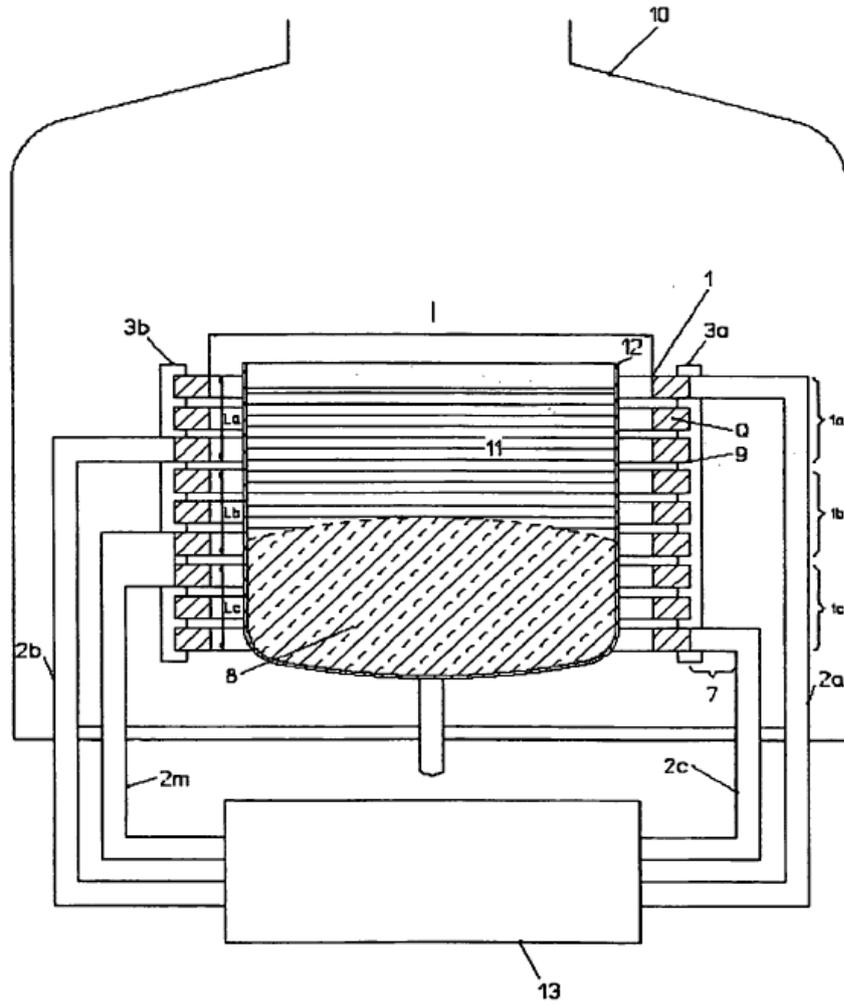


Fig. 1

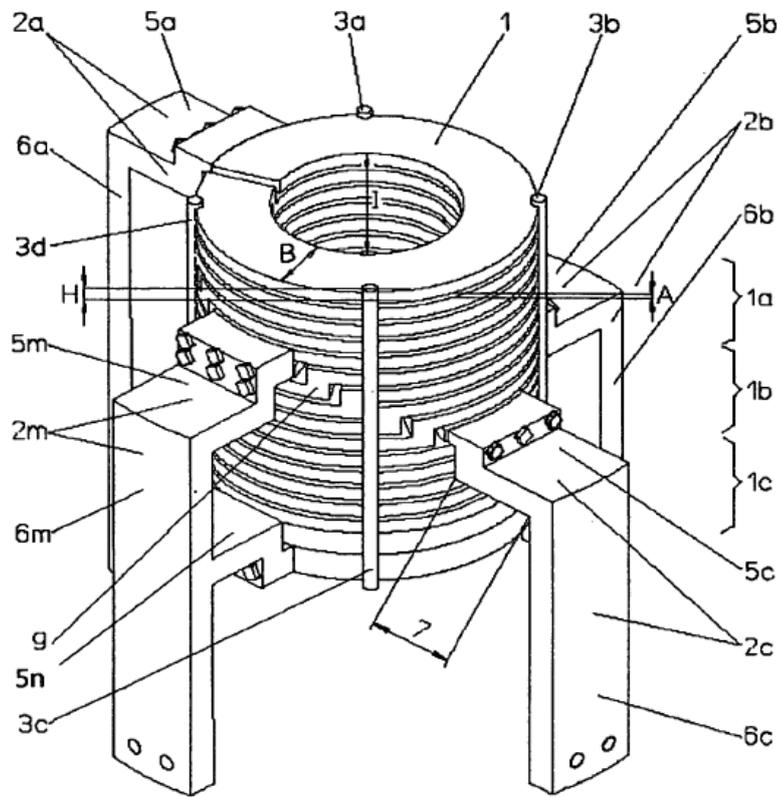


Fig. 2

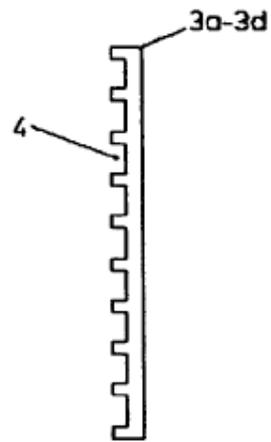


Fig. 3 I

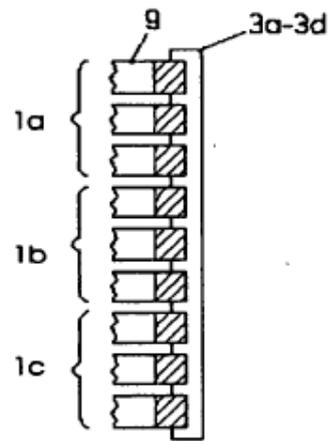


Fig. 3 II

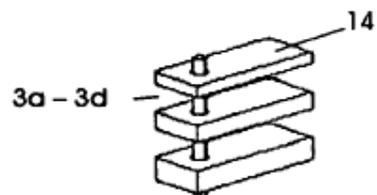


Fig. 3 III

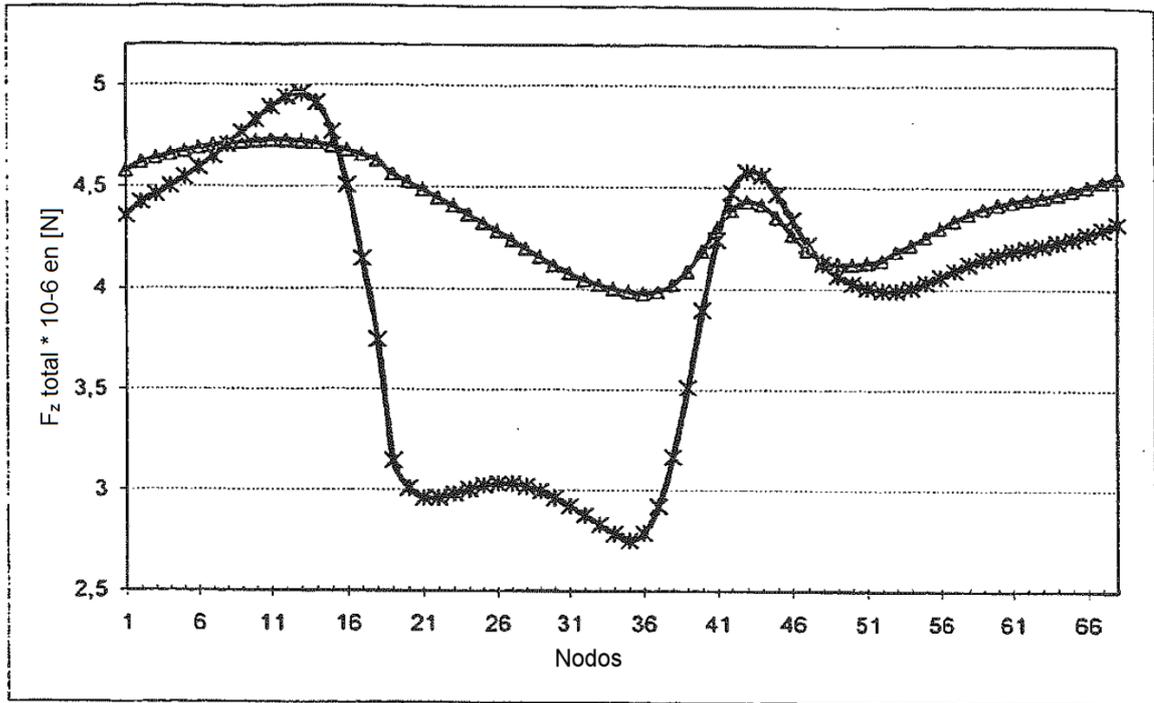


Fig. 4