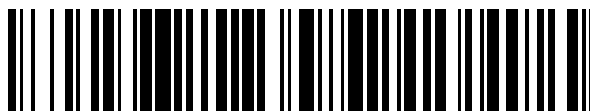


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 863**

51 Int. Cl.:  
**C30B 15/30** (2006.01)  
**C30B 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **08784553 .3**  
96 Fecha de presentación: **17.06.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2162571**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **17.03.2010**

54 Título: **Dispositivo y procedimiento para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad**

30 Prioridad:  
**18.06.2007 DE 102007028548**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**18.04.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**18.04.2012**

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

72 Inventor/es:  
**LANGE, Ralph-Peter;  
RUDOLPH, Peter;  
KLEIN, Olaf;  
FRANK-ROTSCH, Christiane y  
NACKE, Bernard**

74 Agente/Representante:  
**Izquierdo Faces, José**

ES 2 378 863 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

Dispositivo y procedimiento para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad.

**[0001]** La invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad.

5 **[0002]** Durante el crecimiento de cristales a partir de la masa fundida, el flujo de la masa fundida tiene una importancia decisiva. Éste influye, por una parte, sobre la forma del límite de fase entre el cristal y la masa fundida y, por la otra parte, en el comportamiento temporal de la temperatura en la masa fundida, la oscilación de la temperatura y las distribuciones del agente impurificador. Los flujos, que se producen en la masa fundida, están distribuidos aquí localmente de forma no homogénea. El campo de flujo en la masa fundida está condicionado por la convección térmica de empuje vertical, la convección de Marangoni, así como la rotación del cristal y del crisol.

**[0003]** Un problema científico-técnico central, que se ha de resolver, es el bloqueo de la convección de empuje vertical que aumenta fuertemente debido al volumen creciente de masa fundida y cuya falta de estacionalidad actúa negativamente sobre las propiedades estructurales y físicas de los cristales en crecimiento [véase D. T. J. Hurle, Handbook of Crystal Growth, Vol. 2a-b, Elsevier, North-Holland 1994].

15 **[0004]** El control de la convección de masa fundida posibilita la reducción de las fluctuaciones de temperatura en la masa fundida y la optimización del límite de fase.

**[0005]** En especial mediante la selección de las tasas de rotación del crisol y del cristal se influye hasta el momento sobre la convección de masa fundida. El uso de campos magnéticos ha resultado adecuado como otra contramedida técnica eficaz [G. Müller en: Theoretical and Technological Aspects of Crystal Growth, Ed. R. Fornari and C. Paorici, Trans. Tech. Publ., Zuerich 1998, pág. 87]. Mediante la generación de fuerzas de Lorentz se pueden reducir o aumentar las proporciones de flujo en masas fundidas conductoras de electricidad. Se conocen distintos procedimientos para influir en el transporte de calor y material en la masa fundida. En el documento US2002/0092461 A1 se describe un dispositivo para el crecimiento de cristales, en el que los campos magnéticos se generan en bobinas situadas fuera de la instalación de crecimiento.

25 **[0006]** Son conocidas además las disposiciones de calefactor que generan a la vez calor y un campo magnético longitudinal móvil. Así, por ejemplo, el documento DE 10102126 A1 remite a una disposición de calefactor con simetría de rotación que está configurada simultáneamente como inductor multifase en forma de espiral.

**[0007]** En el documento DE 103 49 339 A1 se propone usar dentro de la cámara de crecimiento un dispositivo calefactor en forma de bobinas dispuestas una sobre otra. El dispositivo calefactor descrito aquí sirve, por una parte, para generar un campo de temperatura necesario para el crecimiento de cristales y a la vez para generar campos magnéticos móviles. El dispositivo calefactor, construido como disposición de bobinas múltiples, encierra en forma de cilindro el crisol y la masa fundida contenida en éste. La disposición de bobinas, descrita en el documento DE 103 49 339 A1, presenta tres segmentos de bobinas que se conectan a una fuente de corriente alterna trifásica. A través de las bobinas circula respectivamente una corriente desfasada, mediante lo que se genera un campo magnético móvil ascendente o descendente. Éste induce en la masa fundida corrientes eléctricas que debido al campo magnético existente provocan fuerzas de Lorentz en la masa fundida conductora de electricidad. Mediante éstas se debe influir sobre la convección en la masa fundida.

**[0008]** Sin embargo, el dispositivo del documento DE 103 49 339 A1 tiene la desventaja de que en la masa fundida se ajusta un campo de fuerza en correspondencia con la forma cilíndrica del dispositivo calefactor con sección transversal constante y diámetro constante. En este caso, la densidad máxima generada de fuerza de Lorentz se encuentra siempre en la zona marginal radial del crisol y disminuye hacia el interior del crisol. La posición del máximo del campo de fuerza se determina por medio de la posición del crisol en la instalación de crecimiento de cristales. Sin embargo, se ha comprobado que durante el crecimiento según el proceso de Czochralski se forman, entre otros, flujos perturbadores de empuje vertical debajo del cristal, las llamadas inestabilidades de Taylor-Proudman. Con el dispositivo descrito arriba no se puede influir sobre estos flujos de empuje vertical. Asimismo, una estructura de bobinas cilíndrica uniforme, es decir, un dispositivo calefactor, cuyas bobinas presentan un diámetro constante, así como una alimentación uniforme de corriente, no permite una variación de la forma de los campos magnéticos móviles y de los campos de fuerza de Lorentz generados a partir de estos.

**[0009]** En una publicación de Thomas Wetzel bajo el título "Die Schmelzströmung im Si-Czochralski-Prozess unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder" (El flujo de masa fundida en el proceso de Czochralski para la obtención de silicio mediante la influencia de campos electromagnéticos), en: Fortschritt-Berichte VDI, serie 9, No. 328, se propone instalar debajo del fondo del crisol una bobina atravesada por una corriente alterna ("inductor de fondo") para influir en la convección de masa fundida.

**[0010]** Esto tiene la desventaja de que el inductor de fondo no se encuentra acoplado a los otros elementos calefactores.

**[0011]** Es objetivo de la invención proporcionar un dispositivo y un procedimiento para la fabricación de cristales a

partir de masas fundidas conductoras de electricidad, en los que se reduzcan claramente las fluctuaciones de temperatura en la masa fundida y se mejore la calidad del cristal. La invención tiene también el objetivo de mejorar el transporte de material y calor en la masa fundida.

5 **[0012]** El objetivo se consigue con un dispositivo y un procedimiento según las características de la reivindicación 1 y de la reivindicación 14.

**[0013]** En las reivindicaciones secundarias aparecen configuraciones ventajosas.

10 **[0014]** Por tanto, el dispositivo para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad, que presenta al menos un crisol con un fondo de crisol, que está dispuesto en una cámara de crecimiento y contiene una masa fundida, un dispositivo calefactor que envuelve el crisol y está realizado como disposición de bobinas múltiples a partir de bobinas dispuestas una sobre otra y sirve para la generación simultánea de un campo magnético móvil, estando unidas por electricidad las bobinas con al menos un dispositivo suministrador de energía dispuesto fuera de la cámara de crecimiento por medio de conexiones de bobina guiadas a través de la cámara de crecimiento, se caracteriza porque las vueltas de la disposición de bobinas múltiples presentan una distancia desde un eje central imaginario de crisol hasta el borde interior de las vueltas que al menos en una vuelta es distinta de las vueltas restantes con secciones transversales de vuelta iguales o distintas.

15 **[0015]** El procedimiento según la invención para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad mediante un dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que en una masa fundida contenida en un crisol se genera un campo de fuerza de Lorentz con un máximo de densidad de fuerza de Lorentz, situado en la zona de una pared de crisol, por medio de una disposición de bobinas múltiples construida a partir de bobinas, se caracteriza porque el máximo de densidad de fuerza de Lorentz se desplaza de la zona de la pared de crisol hacia un eje central imaginario de crisol mediante el control de las magnitudes intensidad de corriente, desplazamiento de fase y frecuencia alimentadas a las bobinas.

20 **[0016]** La disposición de bobinas múltiples según la invención asume una forma que se diferencia de la forma cilíndrica recta usual, pudiendo asumir la forma del dispositivo calefactor en especial una configuración en "forma de tulipán".

25 **[0017]** Mediante una disposición de bobinas, distinta a la forma cilíndrica, en el caso del dispositivo según la invención, el campo generado de fuerza de Lorentz se puede posicionar localmente en la masa fundida. De este modo se amplía la influencia del flujo desde las zonas marginales hasta el interior del crisol. La distribución del campo magnético de fuerza en la masa fundida se determina con el dispositivo, según la invención, no sólo por la posición del crisol dentro del dispositivo calefactor.

**[0018]** Con el dispositivo según la invención, zonas del dispositivo calefactor se pueden acoplar entre sí y realizar como disposición combinada de calefactor-campo magnético.

30 **[0019]** El dispositivo según la invención se puede usar en aquellas instalaciones de crecimiento de cristales que funcionan según el proceso de Czochralski, el método de Bridgman vertical o método Vertical Gradient Freeze, pero también según el método de Kyropoulos y Heat Exchanger. Además del crecimiento de monocristales, este dispositivo es adecuado también para la fabricación de material semiconductor policristalino.

**[0020]** En el caso del dispositivo según la invención, la distancia de al menos una vuelta desde un eje central imaginario de crisol hasta el borde interior de la vuelta se diferencia respecto a la distancia o las distancias de las otras vueltas de la disposición de bobinas múltiples.

40 **[0021]** Según la invención está previsto que en caso de que la distancia respecto al eje central imaginario de crisol sea igual en todas las vueltas, la sección transversal de vuelta en al menos una vuelta sea distinta de las vueltas restantes.

45 **[0022]** Si se observa una vuelta en dirección del eje central imaginario de crisol, se reconoce la superficie encerrada por la vuelta que forma normalmente un círculo, por cuyo punto central pasa el eje central imaginario de crisol. En una disposición de bobinas según la invención, esta superficie puede presentar la forma de una superficie geométrica cualquiera, en particular se pueden originar también elipses, cuadrados, triángulos, rectángulos u otros n ángulos como superficie encerrada.

**[0023]** Una forma de realización preferida del dispositivo según la invención se caracteriza porque debajo del fondo de crisol del crisol está dispuesta al menos otra bobina.

50 **[0024]** En otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención está previsto que las bobinas dispuestas debajo del fondo de crisol presenten vueltas dispuestas una dentro de otra.

**[0025]** Otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención prevé que las vueltas de al menos una bobina presenten una distancia respecto al eje central imaginario de crisol, que se diferencie de las bobinas restantes.

- [0026] Otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención prevé que las vueltas de al menos una bobina presenten una sección transversal de vuelta que se diferencie de las bobinas restantes.
- 5 [0027] En otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención está previsto que la distancia de al menos una vuelta desde el eje central imaginario de crisol hasta el borde interior de la vuelta sea menor respecto a la de las otras vueltas.
- [0028] Otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención se caracteriza porque al menos una sección transversal de vuelta de las vueltas dentro de una bobina es diferente respecto a las otras vueltas de la bobina.
- 10 [0029] Según la invención, la sección transversal de vuelta de las vueltas dentro de una bobina puede ser diferente. La sección transversal de vuelta puede disminuir o aumentar dentro de una bobina.
- [0030] Otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención prevé que las vueltas de las bobinas estén hechas de materiales diferentes.
- [0031] En otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención está previsto que las bobinas presenten una cantidad diferente de vueltas.
- 15 [0032] Otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención se caracteriza porque las bobinas presentan la misma cantidad de vueltas.
- [0033] Otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención prevé que la sección transversal de vuelta presente la forma de una superficie geométrica cualquiera.
- 20 [0034] En otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención está previsto que la sección transversal de vuelta presente una forma rectangular, cuadrada o redonda.
- [0035] En otra forma de realización preferida del dispositivo según la invención está previsto que una superficie, encerrada por las vueltas, presente la forma de una superficie geométrica cualquiera.
- 25 [0036] A este respecto, "la superficie encerrada por una vuelta" es aquella superficie que se reconoce cuando se observa la vuelta en dirección del eje central imaginario de crisol y cuando se observa a continuación la superficie que es encerrada por la vuelta; o sea, la superficie que se origina cuando se parte de la proyección del lado interior de vuelta de la vuelta completa sobre un plano en perpendicular al eje central imaginario de crisol y después se observa la superficie encerrada por esta proyección en el plano.
- [0037] Es posible que la superficie encerrada por las vueltas presente una forma rectangular, cuadrada o redonda.
- 30 [0038] Con el procedimiento según la invención para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad mediante un dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 1 a 12, en el que en una masa fundida contenida en un crisol se genera un campo de fuerza de Lorentz con un máximo de densidad de fuerza de Lorentz, situado en la zona de una pared de crisol, por medio de una disposición de bobinas múltiples construida a partir de bobinas, se logra que el máximo de densidad de fuerza de Lorentz se desplace de la zona de la pared de crisol hacia un eje central imaginario de crisol mediante el control de las magnitudes intensidad de corriente, desplazamiento de fase y frecuencia alimentadas a las bobinas.
- 35 [0039] La distribución de la fuerza de Lorentz en la masa fundida mediante el control de las magnitudes intensidad de corriente, desplazamiento de fase y frecuencia alimentadas a las bobinas se modifica de modo que la distribución es más adecuada para influir sobre el flujo de masa fundida al desplazarse, entre otros, el máximo de densidad de fuerza de Lorentz de la zona de la pared de crisol hacia un eje central imaginario de crisol. A este respecto, se puede usar también un dispositivo según el estado de la técnica con un dispositivo calefactor convencional dispuesto en forma de cilindro, en el que las distancias de las vueltas desde un eje central imaginario de crisol hasta la pared interior de las vueltas se mantienen iguales. En este caso se modifican únicamente las magnitudes intensidad de corriente, desplazamiento de fase y frecuencia.
- 40 [0040] En una forma de realización preferida del procedimiento según la invención está previsto que en al menos una bobina se alimente un desplazamiento de fase que se diferencia de las bobinas restantes.
- 45 [0041] Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención prevé que en las bobinas se alimenten los mismos desplazamientos de fase.
- [0042] Según la invención está previsto que al menos para un par de bobinas situadas directamente una sobre otra o una al lado de otra, el desplazamiento de fase entre la tensión aplicada en ambas bobinas se diferencie de al menos uno de los desplazamientos de fase que se originan para los pares de bobinas restantes.
- 50 [0043] En el caso de un dispositivo calefactor compuesto de tres bobinas dispuestas una sobre otra se tienen en cuenta como pares de bobinas la bobina superior y la bobina central, así como la bobina central y la bobina inferior.

Si el dispositivo calefactor tiene otras bobinas dispuestas debajo del fondo de crisol, se tienen en cuenta como pares de bobinas también otras combinaciones con estas bobinas.

5 **[0044]** De manera alternativa, en al menos un par de bobinas dispuestas directamente una sobre otra o una al lado de otra, el desplazamiento de fase entre la tensión aplicada en estas dos bobinas tiene un signo diferente al desplazamiento de fase de al menos unos de los pares de bobinas restantes. El desplazamiento de fase para al menos un par de bobinas se puede diferenciar así en el signo de los desplazamientos de fase para las bobinas restantes.

**[0045]** Está previsto además que para todos los pares de pares de bobinas situadas directamente una sobre otra o una al lado de otra exista el mismo desplazamiento de fase entre la tensión aplicada en estas dos bobinas.

10 **[0046]** Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención se caracteriza porque en al menos una bobina se alimenta una intensidad de corriente que se diferencia de las bobinas restantes.

**[0047]** Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención prevé que en las bobinas se alimenten respectivamente intensidades de corriente de igual valor.

15 **[0048]** Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención se caracteriza porque al menos una bobina se opera con una intensidad de corriente mayor respecto a las bobinas restantes.

**[0049]** Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención se caracteriza porque al menos una bobina se opera con una intensidad de corriente menor respecto a las bobinas restantes.

**[0050]** Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención se caracteriza porque al menos a una bobina se alimenta una frecuencia que se diferencia de las bobinas restantes.

20 **[0051]** Otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención prevé que a las bobinas se alimente respectivamente la misma frecuencia.

**[0052]** En otra forma de realización preferida del procedimiento según la invención está previsto que el control de las magnitudes desplazamiento de fase, intensidad de corriente y frecuencia se lleve a cabo con una disposición de bobinas múltiples en forma de cilindro hueco.

25 **[0053]** A continuación se explica detalladamente un ejemplo de realización de la invención por medio de dibujos.

**[0054]** Muestran:

Fig. 1: un corte transversal esquemático a través de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra según el estado de la técnica;

30 Fig. 2: un corte transversal esquemático a través de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra, en la que se reduce la distancia de las vueltas respecto a un eje central imaginario de crisol y se mantienen iguales las secciones transversales de vuelta;

Fig. 3: una representación esquemática de un dispositivo calefactor con tres bobinas dispuestas una sobre otra, en el que se reduce la distancia de las vueltas respecto a un eje central imaginario de crisol y se mantienen iguales las secciones transversales de vuelta;

35 Fig. 4: un corte transversal esquemático a través de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra con distancia constante de las vueltas respecto a un eje central imaginario de crisol y sección transversal de vuelta rectangular ensanchada de las vueltas de una bobina;

40 Fig. 5: una representación esquemática de un dispositivo calefactor con tres bobinas dispuestas una sobre otra con distancia constante de las vueltas respecto a un eje central imaginario de crisol y sección transversal de vuelta rectangular ensanchada de las vueltas de una bobina;

Fig. 6: un corte transversal esquemático de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra con distancia constante de las vueltas respecto a un eje central imaginario de crisol y otras bobinas, dispuestas debajo del fondo de crisol, dentro de las bobinas dispuestas una sobre otra;

45 Fig. 7: una representación esquemática de un dispositivo calefactor con tres bobinas dispuestas una sobre otra con distancia constante de las vueltas respecto a un eje central imaginario de crisol y otras bobinas dispuestas debajo del fondo de crisol;

Fig. 8: un corte transversal esquemático de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra, en la que las vueltas de una bobina presentan una distancia decreciente respecto a un eje central imaginario de crisol;

50 Fig. 9: una representación esquemática de un dispositivo calefactor con tres bobinas dispuestas una sobre otra, en

el que las vueltas de una bobina presentan una distancia decreciente respecto a un eje central imaginario de crisol;

- 5 Fig. 10: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra según el estado de la técnica para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- Fig. 11: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra y una bobina con distancia menor de las vueltas respecto al eje central imaginario de crisol para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- 10 Fig. 12: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra y una bobina con distancia mayor de las vueltas respecto al eje central imaginario de crisol para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- Fig. 13: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra con distancias diferentes de las vueltas dentro de las bobinas respecto al eje central imaginario de crisol para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- 15 Fig. 14: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra con sección transversal ensanchada de vuelta de una bobina para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- Fig. 15: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra con sección transversal ensanchada de vuelta de la bobina superior e inferior para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- 20 Fig. 16: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra con sección transversal ensanchada de vuelta de todas las bobinas para cálculos de simulación y los puntos de comprobación g hasta l;
- Fig. 17: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas dispuestas una sobre otra para cálculos de simulación y los puntos de comprobación a hasta f;
- 25 Fig. 18: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con dos bobinas dispuestas una sobre otra y una bobina dispuesta debajo del crisol para cálculos de simulación y los puntos de comprobación a hasta f;
- Fig. 19: una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales con tres bobinas con una bobina central dispuesta parcialmente debajo del crisol para cálculos de simulación y los puntos de comprobación a hasta f;
- 30 Fig. 20: una representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales;
- Fig. 21: una representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales como en la figura 20, con marca de una superficie redonda encerrada por la vuelta;
- 35 Fig. 22: otra representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales; y
- Fig. 23: una representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales como en la figura 22, con marca de una superficie cuadrada encerrada por la vuelta.

40 **[0055]** En la figura 1 se muestra una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales en corte transversal según el estado de la técnica. En una cámara de crecimiento 1 se encuentra un dispositivo calefactor 4, un crisol 3 con una pared de crisol 3a, un fondo de crisol 3b y un eje central imaginario de crisol 3c que está rodeado completamente por tres bobinas 5, 6, 7 dispuestas una sobre otra. El dispositivo calefactor 4 está construido a partir de estas tres bobinas 5, 6, 7 de grafito dispuestas axialmente una sobre otra con 3 vueltas en cada caso. Se muestra también una masa fundida 2 situada en el crisol y un cristal estirado 9. Las vueltas 8 de las bobinas 5, 6, 7 presentan respectivamente una sección transversal constante de vuelta 4b. La distancia 4a de las vueltas 8 desde un eje central imaginario de crisol 3c hasta el borde interior 4c de las vueltas 8 es asimismo constante, de modo que el dispositivo calefactor 4, construido como disposición de bobinas múltiples, presenta una forma cilíndrica hueca constante. Las bobinas 5, 6, 7 están unidas por electricidad con un dispositivo suministrador de energía 14 mediante las conexiones de bobina 10, 11, 12, 13 a través de la cámara de crecimiento 1 y se pueden conectar mediante las conexiones de bobina 10, 11, 12, 13 a una fuente de corriente alterna como dispositivo

45 suministrador de energía 14.

50

**[0056]** En el caso de la disposición según el estado de la técnica de la figura 1, el máximo calculado de la densidad simulada de fuerza de Lorentz se encuentra en la zona del borde de crisol, es decir, en la zona de la pared de crisol 3a. Sólo se puede influir en la posición axial mediante la posición del crisol 3 en el dispositivo calefactor 4. En este

caso no es posible un desplazamiento de la densidad de fuerza de Lorentz en dirección de un eje central imaginario de crisol 3c o un aumento local de la fuerza magnética.

5 **[0057]** En la figura 2 se muestra una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales en corte transversal, cuyo dispositivo calefactor 4 está construido a partir de tres bobinas 5, 6, 7 dispuestas una sobre otra con sección transversal constante de vuelta 4b. A diferencia de las vueltas en la figura 1, las vueltas 8 de las bobinas 5, 6, 7 presentan una distancia decreciente 4a en relación con la pared interior 4c de las vueltas 8 respecto al eje central imaginario de crisol 3c. La distancia 4a disminuye también dentro de las bobinas 5, 6, 7. Las vueltas 8 del dispositivo calefactor 4 encierran más estrechamente el crisol 3 en la zona del fondo de crisol 3b.

10 **[0058]** La figura 3 muestra una representación esquemática de un dispositivo calefactor 4 hecho a partir de tres bobinas 5, 6, 7 dispuestas una sobre otra con sección transversal constante de vuelta 4b según la figura 2.

15 **[0059]** A partir de los cálculos de simulación de la distribución de la fuerza de Lorentz en una masa fundida conductora de electricidad resulta evidente que en las disposiciones descritas en las figuras 2 y 3, la densidad máxima de fuerza de Lorentz se puede desplazar ligeramente del borde de crisol (pared de crisol 3a) en dirección del eje central imaginario de crisol 3c en la zona inferior de la masa fundida. Además, se produce un aumento local de la fuerza en la zona del fondo de crisol 3b debido a la disminución de la distancia 4a desde el eje central imaginario de crisol 4a hasta el borde interior 4c de la vuelta de bobina 8 en la zona de las bobinas 6 y 7. Este desplazamiento acertado de la densidad máxima de fuerza de Lorentz permite influir de manera más efectiva sobre la convección de empuje vertical, condicionada térmicamente, en la masa fundida.

20 **[0060]** En la figura 4 se muestra una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales en corte transversal con tres bobinas 5, 6 y 7 dispuestas una sobre otra, en la que está ampliada la sección transversal de vuelta 4b de una bobina 6 respecto a la de las bobinas restantes 5, 7. Las vueltas 8 de la bobina central 6 presentan una sección transversal de vuelta 4b rectangular ensanchada, mientras que la distancia 4a de las vueltas 8 permanece igual en relación con el eje central imaginario de crisol 3c respecto al borde interior 4c en todas las bobinas 5, 6, 7.

25 **[0061]** La figura 5 muestra la representación esquemática de un dispositivo calefactor 4 según la figura 4, en el que las vueltas 8 de la bobina central 6 presentan una sección transversal de vuelta ensanchada 4b.

30 **[0062]** En la figura 6 se muestra una representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales en corte transversal con tres bobinas 5, 6, 7 dispuestas una sobre otra y una sección transversal de vuelta 4b constante respectivamente de las bobinas 5, 6, 7, en la que otras dos bobinas 15 y 16 están dispuestas debajo del fondo de crisol 3b. En el caso de las bobinas 15 y 16, las vueltas 8 están dispuestas una dentro de otra y ambas bobinas se encuentran a la altura de la vuelta 7.

35 **[0063]** La figura 7 muestra la representación esquemática de un dispositivo calefactor 4, similar a la de la figura 6, pero en este caso, las bobinas 15 y 16 siguen estando dispuestas en la parte inferior. Las bobinas 15 y 16 dispuestas respectivamente debajo del fondo de crisol 3b presentan una sección transversal de vuelta 4b menor respecto a las bobinas 5, 6 y 7.

40 **[0064]** Con las disposiciones según la invención de las figuras 6 y 7 se puede lograr un desplazamiento del máximo de la distribución axial de la densidad de fuerza de Lorentz desde el borde de crisol o la pared de crisol 3a en dirección del eje central imaginario de crisol 3c. Esto permite influir de forma efectiva sobre la convección térmica producida, en particular en la zona situada debajo del cristal 9, lo que tiene una gran importancia para la estabilización del crecimiento monocristalino. Las instalaciones descritas son adecuadas en particular para disposiciones con una masa fundida grande 2 y con una convección de empuje vertical especialmente fuerte.

45 **[0065]** La representación esquemática de una instalación de crecimiento de cristales según la figura 8 muestra una disposición de bobinas múltiples con tres bobinas 5, 6, 7 dispuestas una sobre otra, en la que se reduce la distancia 4a de las vueltas 8 en relación con un eje central imaginario de crisol 3c respecto al borde interior de las vueltas 8 sólo de una bobina 7 respectivamente, a saber la de la bobina inferior. La sección transversal de vuelta 4b de las vueltas 8 de las bobinas 5, 6, 7 se mantiene igual.

**[0066]** La figura 9 muestra la representación esquemática de un dispositivo calefactor 4 en correspondencia con la figura 8 con una distancia decreciente 4a de las vueltas 8 en relación con un eje central imaginario de crisol 3c respecto al borde interior de las vueltas 8 de la bobina inferior 7.

50 **[0067]** Con las disposiciones según la invención de las figuras 8 y 9 se puede lograr un desplazamiento acertado del máximo de la densidad de fuerza de Lorentz en la masa fundida 2 conductora de electricidad desde el borde de crisol, la pared de crisol 3. La variación de la distancia 4a respecto al eje central imaginario de crisol 3c permite ajustar la posición del efecto máximo de la fuerza que puede bloquear de manera acertada la convección de empuje vertical.

55 **[0068]** A partir de los cálculos de simulación de la distribución de la fuerza de Lorentz en una masa fundida conductora de electricidad resulta evidente que en el dispositivo según la invención, la fuerza máxima de Lorentz se

desplaza de la zona de la pared de crisol 3a, en el borde de crisol, en dirección del eje central de crisol 3c en la zona inferior de la masa fundida. Este desplazamiento radial de la densidad máxima de fuerza de Lorentz permite influir de manera más efectiva sobre la convección de empuje vertical.

5 **[0069]** Para el desplazamiento del máximo de la densidad de fuerza de Lorentz desde la zona de la pared de crisol 3a hasta el eje central de crisol 3c, o sea, hasta el interior del crisol, se varían las magnitudes de intensidad de corriente  $I$  [A], ángulo de fase  $\varphi$  [°] y frecuencia  $f$  [Hz] en las bobinas 5, 6, 7 del dispositivo calefactor 4, así como la forma del dispositivo calefactor 4.

10 **[0070]** Por medio de los dispositivos según las figuras 10 a 19 se realizan a continuación cálculos de simulación para variantes de control para la alimentación de las magnitudes intensidad de corriente  $I$  [A], ángulo de fase  $\varphi$  [°] y frecuencia  $f$  [Hz] a las bobinas 5, 6, 7 de los dispositivos según la invención con el fin de influir sobre la fuerza de Lorentz en la masa fundida 2. Los puntos de comprobación a hasta  $l$  identifican aquí los valores de medición correspondientes para la densidad de fuerza de Lorentz en la masa fundida 2.

15 **[0071]** Para la modificación de la densidad de fuerza de Lorentz, en particular para el desplazamiento del máximo de la zona de la pared de crisol 3a al eje central de crisol 3c, o sea, hacia el interior del crisol, se varían las magnitudes intensidad de corriente  $I$  [A], ángulo de fase  $\varphi$  [°] y frecuencia  $f$  [Hz] en las bobinas 5, 6, 7 del dispositivo calefactor 4.

20 **[0072]** En el caso de los cálculos de simulación según los dispositivos de las figuras 10 a 16, la potencia alimentada al dispositivo calefactor 4 se selecciona de modo que en el punto triple 17, punto, en el que la fase sólida, líquida y gaseosa está en equilibrio, se ajusta la temperatura de fusión de GaAs que es de 1511 K. Se simula qué campos electromagnéticos se obtienen si con un dispositivo compuesto de tres bobinas 5, 6 y 7 dispuestas una sobre otra se aplican tensiones alternas adecuadas con una frecuencia de 300 Hz.

**[0073]** Las simulaciones muestran que se puede variar la intensidad y la forma de las fuerzas de Lorentz, que actúan en la masa fundida 2, con el fin de darles una forma ventajosa para la configuración del crecimiento existente respectivamente.

25 **[0074]** A este respecto puede haber diferentes posibilidades para obtener una variación determinada de la fuerza.

30 **[0075]** En una primera simulación realizada con un dispositivo según la figura 10, el dispositivo está compuesto de un dispositivo calefactor 4 formado a partir tres bobinas 5, 6 y 7 dispuestas una sobre otra con cuatro vueltas 8 respectivamente. La distancia 4a de las vueltas 8 respecto a un eje central imaginario de crisol 3c y al borde interior 3c de las vueltas 8, así como las secciones transversales de vuelta 4b son iguales en esta disposición. En todas las bobinas 5, 6 y 7 se aplica una tensión con la misma amplitud y el desplazamiento de fase entre la bobina superior 5 y la bobina central 6 es de  $-70^\circ$ . Asimismo, el desplazamiento de fase entre las tensiones, que se aplican en la bobina central 6 y en la bobina inferior 7, es de  $-70^\circ$ .

35 **[0076]** A fin de obtener la temperatura de 1511 K en el punto triple 17, se ha de alimentar en total una potencia de 5,4 kW que se reparte casi de forma uniforme en las doce vueltas 8, de modo que a cada vuelta 8 se alimenta una potencia de 450 W aproximadamente.

**[0077]** Para los puntos de comprobación g, h, i, j, k y l, las densidades de fuerza de Lorentz medidas se indican en la tabla 1.

**Tabla 1:**

Punto de comprobación	Densidad de fuerza de Lorentz [N/m <sup>3</sup> ] horizontal	Densidad de fuerza de Lorentz [N/m <sup>3</sup> ] vertical
g	26,106	-46,272
h	-68,311	-87,569
i	-30,966	-32,601
j	-85,737	-66,465
k	-34,645	-15,362
l	-91,229	-39,035

**[0078]** En una segunda simulación, realizada asimismo con un dispositivo según la figura 10, se varían los desplazamientos de fase alimentados y las tensiones aplicadas en las bobinas.

**[0079]** El desplazamiento de fase entre la bobina superior 5 y la tensión aplicada en la bobina central 6 es de  $-100^\circ$ ,



mientras que el desplazamiento de fase entre las tensiones, que se aplican en la bobina central 6 y la bobina inferior 7, es de  $-40^\circ$ . Las potencias alimentadas corresponden a las de la primera simulación.

5 **[0080]** En una tercera simulación con una disposición según la figura 10, la tensión aplicada en la bobina central 6 es el doble del valor de la tensión en cada una de las dos bobinas 5 y 7. Esto provoca que en la bobina central 6 circule el doble de la corriente y exista una potencia cuatro veces mayor que en la bobina superior 5 o en la bobina inferior 7. De los 5,3 kW aproximadamente de potencia que se han de alimentar para el control de 1511 K en el punto triple 17, aproximadamente 880 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina central 6 y 220 W corresponden en cada caso a las ocho vueltas en total de la bobina superior 5 y la bobina inferior 7. Los desplazamientos de fase entre las tensiones en la bobina superior 5 y la bobina central 6 son de  $-70^\circ$ , al igual que el desplazamiento de fase entre las tensiones en la bobina central 6 y la bobina inferior 7.

10 **[0081]** En la tabla 2 se recogen las densidades resultantes de fuerza de Lorentz en los puntos de comprobación g hasta l.

**Tabla 2:**

Punto de comprobación	Densidad de fuerza de Lorentz [ $N/m^3$ ] horizontal en caso de diferencias de fase diferentes	Densidad de fuerza de Lorentz [ $N/m^3$ ] vertical en caso de diferencias de fase diferentes	Densidad de fuerza de Lorentz [ $N/m^3$ ] horizontal en caso de tensiones diferentes	Densidad de fuerza de Lorentz [ $N/m^3$ ] vertical en caso de tensiones diferentes
g	-18,396	-36,164	-39,271	-44,874
h	-47,463	-75,351	-104,201	-80,063
15 i	-24,192	-25,294	-47,500	-25,136
j	-67,389	-57,528	-135,908	-52,131
k	-29,636	-8,874	-52,712	-1,403
20 l	-79,405	-28,962	-143,354	-15,921

25 **[0082]** Debido a las diferencias de fase diferentes se modifica la intensidad y la dirección de la densidad de fuerza de Lorentz. La aplicación de una tensión mayor en la bobina central 6 garantiza que la fuerza aumente e indique más en la dirección horizontal.

**[0083]** En una cuarta simulación, realizada con un dispositivo según la figura 11, se varían las distancias 4a de las vueltas 8 desde un eje central imaginario de crisol 3c hasta el borde interior 4c de las vueltas 8 de las bobinas 5, 6 y 7.

30 **[0084]** El dispositivo según la figura 11 está compuesto de un dispositivo calefactor 4 formado a partir de tres bobinas 5, 6 y 7 dispuestas una sobre otra con cuatro vueltas 8 respectivamente, siendo aquí la distancia 4a de las vueltas 8 en relación con un eje central imaginario de crisol 3c respecto al borde interior 4c de las vueltas 8 de la bobina central 6 menor que la de las bobinas restantes 5 y 7. Como de este modo se reduce la circunferencia de la bobina central 6 y, por tanto, disminuye también la resistencia eléctrica de la bobina 6, se alimenta un poco más de potencia a la bobina central 6 que a la bobina superior 5 y la bobina inferior 7 en caso de la misma potencia aplicada. De los 5,4 kW aproximadamente de potencia que se han de alimentar para el control de los 1511 K en el punto triple 17, aproximadamente 470 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas 8 de la bobina central 6 y 440 W corresponden en cada caso a las ocho vueltas en total de la bobina superior 5 y la bobina inferior 7.

40 **[0085]** Los desplazamientos de fase entre la bobina superior 5 y la bobina central 6 son de  $-70^\circ$ , al igual que el desplazamiento de fase entre la bobina central 6 y la bobina inferior 7.

45 **[0086]** En una quinta simulación realizada con un dispositivo según la figura 12, éste está compuesto de un dispositivo calefactor 4 formado a partir de tres bobinas 5, 6 y 7 dispuestas una sobre otra con cuatro vueltas 8 respectivamente, siendo aquí la distancia 4a de las vueltas 8 en relación con un eje central imaginario de crisol 3c respecto al borde interior 4c de las vueltas 8 de la bobina central 6 mayor que la de las bobinas restantes 5 y 7. Como se ha reducido la circunferencia de la bobina superior 5 y de la bobina inferior 7 y, por tanto, ha disminuido también la resistencia eléctrica de las bobinas 5 y 7, se alimenta más potencia a cada uno de estas bobinas que a la bobina central 6 en caso de la misma potencia aplicada. De los 5,4 kW aproximadamente de potencia que se han de alimentar para el control de los 1511 K en el punto triple 17, aproximadamente 430 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas 8 de la bobina central 6 y aproximadamente 465 W corresponden en cada caso a las ocho vueltas 8 en total de la bobina superior 5 y la bobina inferior 7.

**[0087]** Los desplazamientos de fase entre la bobina superior 5 y la bobina central 6 son de  $-70^\circ$ , al igual que el desplazamiento de fase entre la bobina central 6 y la bobina inferior 7.

**[0088]** Una sexta simulación se realizó con un dispositivo según la figura 13, en el que también dentro de las bobinas individuales cambia la distancia 4a del eje central imaginario de crisol 3c al borde interior 4c de las vueltas 8, es decir, disminuye o aumenta. De los 5,4 kW aproximadamente de potencia que se han de alimentar para el control de los 1611 K en el punto triple 17, 442 W corresponden ahora en las cuatro vueltas 8 de la bobina superior 5 a la vuelta superior y 461 W, 438 W y 475 W corresponden a la vuelta inferior 8 de la bobina 5. En las cuatro vueltas de la bobina central 6, 432 W corresponden a la vuelta superior de esta bobina y los otros 461 W, 461 W y 432 corresponden a la vuelta inferior 8 de la bobina 6. Por último, en las cuatro vueltas 8 de la bobina inferior 7, 469 W corresponden a la vuelta superior 8 y los otros 432 W, 455 W y 437 W corresponden a la vuelta inferior 8 de la bobina 7.

**[0089]** Los desplazamientos de fase entre la bobina superior 5 y la bobina central 6 son de  $-70^\circ$ , al igual que el desplazamiento de fase entre la bobina central 6 y la bobina inferior 7.

**[0090]** En la tabla 3 se recogen las densidades medidas de fuerza de Lorentz para los puntos de comprobación g, h, i, j, k, l.

**Tabla 3:**

Puntos de comprobación	Densidades de fuerza de Lorentz [N/m <sup>3</sup> ]							
	Según fig. 10 (Comparación)		Distancia 4a bobina 6 menor		Distancia 4a bobina 6 mayor		Cambiar distancias 4a dentro de las bobinas	
	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical
20 g	-26,106	-	-29,088	-44,894	-22,775	-46,114	-24,169	-43,773
		46,272						
h	-68,311	-	-77,287	-84,424	-58,363	-87,452	-63,133	-81,185
		87,569						
i	-30,966	-	-34,110	-29,524	-26,221	-33,246	-28,456	-30,609
		32,601						
j	-85,737	-	-98,088	-63,263	-71,5511	-66,655	-79,371	-62,325
		66,456						
25 k	-34,645	-	-39,372	-11,567	-29,637	-17,648	-31,375	-14,191
		15,362						
l	-91,229	-	-104,339	-34,959	-77,397	-41,280	-81,732	-36,195
		39,035						

**[0091]** En una séptima simulación, realizada con un dispositivo según la figura 14, se varía la sección transversal de vuelta 4b de las bobinas en el dispositivo calefactor.

**[0092]** En un dispositivo según la figura 14, las vueltas 8 de la bobina central 6 están ensanchadas en comparación con las vueltas de las bobinas restantes 5 y 7, es decir, la sección transversal de vuelta 4b de la bobina central 6 es en esta disposición mayor que la de las demás bobinas. La tensión aplicada se selecciona de modo que en las tres bobinas 5, 6 y 7 existe aproximadamente la misma potencia calefactora. De los 5,4 kW aproximadamente de potencia que se han de alimentar para el control de los 1511 K en el punto triple 17, aproximadamente 455 W corresponden a las cuatro vueltas de la bobina superior 5, aproximadamente 444 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina central 6 y aproximadamente 447 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina inferior 7.

**[0093]** Los desplazamientos de fase entre la bobina superior 5 y la bobina central 6 son de  $-70^\circ$ , al igual que el desplazamiento de fase de la bobina central 6 y la bobina inferior 7.

**[0094]** En una octava simulación con un dispositivo según la figura 15 se volvió a variar la sección transversal de vuelta 4b de las bobinas en el dispositivo calefactor.

**[0095]** En un dispositivo según la figura 15, las vueltas 8 de la bobina superior 5 y de la bobina inferior 7 están ensanchadas en comparación con las vueltas de la bobina central 6, es decir, la sección transversal de vuelta 4b de la bobina central 6 es en esta disposición menor que la de las demás bobinas. La tensión aplicada se selecciona de modo que en cada una de estas dos bobinas 5 y 7 existe aproximadamente la misma potencia calefactora que en la bobina central 6. De los 5,4 kW aproximadamente de potencia que se han de alimentar para el control de los 1511 K en el punto triple 17, aproximadamente 452 W corresponden a las cuatro vueltas de la bobina superior 5, aproximadamente 451 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina central 6 y aproximadamente 443 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina inferior 7.

**[0096]** En una novena simulación según la figura 16 se seleccionó un dispositivo, en el que las vueltas de todas las bobinas 5, 6, 7 presentan una sección transversal de vuelta ampliada 4b. De los 5,4 kW de potencia que se han de alimentar para el control de los 1511 K en el punto triple 17, aproximadamente 454 W corresponden a las cuatro vueltas de la bobina superior 5, aproximadamente 446 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina central 6 y aproximadamente 443 W corresponden en cada caso a las cuatro vueltas de la bobina inferior 7. Los desplazamientos de fase entre la bobina superior 5 y la bobina central 6 son de  $-70^\circ$ , al igual que el desplazamiento de fase de la bobina central 6 y la bobina inferior 7.

**[0097]** Las densidades de fuerza de Lorentz, resultantes en el caso de las disposiciones mencionadas (figuras 14 a 16), se recogen en la tabla 4.

**Tabla 4:**

Punto de comprobación	Densidades de fuerza de Lorentz [N/m <sup>3</sup> ]							
	Según fig. 10		Sección transversal de vuelta 4b bobina central 6 más ancha		Sección transversal de vuelta 4b bobina 5 y 7 más ancha		Sección transversal de vuelta 4b bobinas 5, 6, 7 más ancha	
	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical	horizontal	vertical
g	-26,106	-46,272	-42,364	-62,003	-32,010	-67,647	-49,987	-88,282
h	-68,311	-87,569	-111,311	-114,922	-82,779	-128,164	-129,347	-166,684
i	-30,966	-32,601	-50,731	-39,120	-37,131	-49,779	-58,745	-62,015
j	-85,737	-66,456	-144,033	-83,172	-100,830	-101,596	-163,368	-126,328
k	-34,645	-15,362	-58,100	-12,584	-41,495	-29,427	-66,103	-29,441
l	-91,229	-39,035	-153,259	-40,083	-107,376	-67,459	-174,120	-74,762

**[0098]** Debido al ensanchamiento de la sección transversal de vuelta 4b de la bobina central 6 y la disminución, producida así, de la resistencia de esta bobina se puede obtener un flujo de corriente mayor en la bobina central 6 también en caso de una distribución uniforme de la potencia alimentada en las tres bobinas 5, 6 y 7, como en la simulación en la que se ensanchó la bobina central 6. Esto varía la forma del campo magnético y, por tanto, las fuerzas de Lorentz en la masa fundida 2, de modo que en la simulación según la figura 14, la componente de fuerza horizontal es claramente mayor en comparación con la simulación según la figura 10. La componente de fuerza vertical en los puntos de comprobación g, h, i en la simulación según la figura 14 es claramente mayor que en la simulación según la figura 10; en los puntos de comprobación j y l, ésta es sólo ligeramente mayor y en el punto de comprobación k disminuye un poco.

**[0099]** En la simulación según la figura 15 con un dispositivo con sección transversal ensanchada de vuelta 4b de la bobina superior e inferior 5 y 7 y en caso de una distribución uniforme de la energía alimentada se demuestra que la componente vertical de la fuerza de Lorentz aumenta claramente más que la componente horizontal y que la variación de la fuerza depende del lugar.

**[0100]** Si se operan todas las bobinas con sección transversal ensanchada de vuelta 4b (figura 16), las densidades de fuerza de Lorentz, que actúan en la masa fundida, se incrementan de manera uniforme y las direcciones de las densidades de fuerza no varían. Si sólo se ensancha la sección transversal de vuelta 4b de la bobina central 6, las densidades de fuerza se incrementan en la masa fundida 2, las direcciones de las fuerzas varían y el aumento de la fuerza no es homogéneo. El ensanchamiento acertado de la sección transversal de vuelta 4b de una o varias bobinas posibilita no sólo el aumento de los campos de fuerza, como en el caso de un ensanchamiento homogéneo de la sección transversal de vuelta 4b, sino que permite también variar la dirección de la fuerza.

**[0101]** Un aumento de la componente de fuerza horizontal respecto a la componente vertical se obtiene entonces al alimentarse a la bobina central 6 una potencia mayor que en las bobinas restantes 5 y 7. Un efecto similar se obtiene si se ensancha la sección transversal de vuelta 4b de la bobina central y se alimenta además a todas las bobinas aproximadamente la misma potencia.

[0102] Otros cálculos de simulación se realizan con dispositivos según las figuras 17 a 19.

[0103] En un décimo cálculo de simulación con un dispositivo según la figura 17, el desplazamiento de fase entre las bobinas 5 y 6 y entre las bobinas 6 y 7 es respectivamente de 120°. A las tres bobinas 5, 6, 7 se alimentó en cada caso la misma intensidad de corriente de 145 A y una frecuencia de 50 Hz.

5 [0104] Se ha demostrado que en caso de un dispositivo calefactor según la figura 17 con tres bobinas 5, 6, 7 dispuestas una sobre otra con la misma distancia 4a del eje central imaginario de crisol 3c al borde interior 4c de las vueltas 8 y con la misma sección transversal de vuelta 4b, la densidad de fuerza de Lorentz en la masa fundida 2 es esencialmente mayor en la zona cercana a la pared de crisol 3a, los puntos de comprobación d, e, f, que en el fondo de crisol 3b, los puntos de comprobación a, b, c. La densidad de fuerza de Lorentz en la masa fundida 2 disminuye  
10 aquí de la pared de crisol 3a al eje central imaginario de crisol 3c del crisol 3b en dos órdenes de magnitud. Los valores calculados para la disposición según la figura 17 están representados en la tabla 5 en la primera fila.

[0105] En una oncenava simulación con una disposición de calefactor según la figura 18 con 2 bobinas cilíndricas 5, 6 dispuestas una sobre otra y una tercera bobina 7 con distancias decrecientes 4a de las vueltas 8 respecto al eje central imaginario de crisol 4c, el máximo de la densidad de fuerza de Lorentz se puede desplazar en el fondo de crisol 3b hacia la zona del punto de comprobación c. En esta simulación, todas las bobinas 5, 6 y 7 se alimentaron con una frecuencia de 50 Hz y un desplazamiento de fase respectivamente de 120° entre las bobinas. Para el aumento del efecto magnético de fuerza en el fondo de crisol 3b, la intensidad de corriente alimentada era de 145 A en la bobina 7 y, a diferencia de esto, de 30 A respectivamente en las bobinas 5 y 6.  
15

[0106] Los resultados están representados en la tabla 5 en la segunda fila de valores. Se ha comprobado que la convección de empuje vertical, condicionada térmicamente, se puede reducir fuertemente en la zona situada debajo del cristal 9.  
20

[0107] Una duodécima simulación para influir sobre la densidad de fuerza de Lorentz en el fondo de crisol 3b se realizó con un dispositivo según la figura 19. En el caso de este dispositivo, una bobina cilíndrica 5 se encuentra por encima de una bobina 6 que se caracteriza porque presenta dos vueltas 8 a una distancia idéntica 4a del eje central imaginario de crisol 4c y dos vueltas 8 a una distancia reducida 4a. La bobina 7 tiene sólo vueltas 8 situadas una dentro de otra a una distancia diferente 4a del eje central imaginario de crisol 4c. En esta disposición, las tres bobinas se activaron de la siguiente forma: La frecuencia es de 50 Hz y la intensidad de corriente alimentada, de 145 A en las tres bobinas. El desplazamiento de fase entre la bobina 5 y 6 es de 10° y entre la bobina 6 y 7 es de 70°.  
25

[0108] Debido a la variación del desplazamiento de fase entre las bobinas 5, 6 y 7 se puede obtener también un desplazamiento del máximo y de la densidad de fuerza de Lorentz calculada respecto al punto de comprobación c. Los resultados de la simulación están recogidos en la tabla 5 en la tercera fila de medición. La ventaja en comparación con una variación de la intensidad de corriente radica en que no se afecta la distribución de la temperatura debido a las intensidades de corriente alimentadas. Resulta adecuada además una combinación de la variación de intensidad de corriente y desplazamiento de fase entre las bobinas para obtener un "campo de fuerza de Lorentz a medida" y garantizar a la vez un crecimiento de cristal a partir de la masa fundida.  
30  
35

[0109] En la tabla 5 se recogen los resultados de las densidades calculadas de fuerza de Lorentz en los puntos de comprobación a-f para los cálculos de simulación según los dispositivos de las figuras 17 a 19.

**Tabla 5:**

Densidades de fuerza de Lorentz para puntos de comprobación en los dispositivos	a [N/m <sup>3</sup> ]	b [N/m <sup>3</sup> ]	c [N/m <sup>3</sup> ]	d [N/m <sup>3</sup> ]	e [N/m <sup>3</sup> ]	f [N/m <sup>3</sup> ]
Fig. 17	0,2	2	9	21	23	26
Fig. 18	4	22	33	17	1	-5
Fig. 19	6	33	54	45	22	1

45 [0110] En la figura 20 se muestra una representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales. La figura 21 muestra una representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales, como en la figura 20, con la marca de una superficie redonda encerrada por la vuelta. La figura 22 muestra otra representación esquemática de la vista en planta de una instalación de crecimiento de cristales y en la figura 23 se muestra una representación esquemática de la vista en planta de una  
50 instalación de crecimiento de cristales, como en la figura 22, en la que la superficie marcada y encerrada por la vuelta es cuadrada.

Lista de signos de referencia

**[0111]**

	1	Cámara de crecimiento
	2	Masa fundida
	3	Crisol
5	3a	Pared de crisol
	3b	Fondo de crisol
	3c	Eje central imaginario de crisol
	4	Dispositivo calefactor
	4a	Distancia
10	4b	Sección transversal de vuelta
	4c	Pared interior
	5	Bobina
	6	Bobina
	7	Bobina
15	8	Vueltas
	9	Cristal
	10	Conexión de bobina
	11	Conexión de bobina
	12	Conexión de bobina
20	13	Conexión de bobina
	14	Dispositivo suministrador de energía
	15	Bobina
	16	Bobina
	17	Punto triple
25	18	Superficie encerrada por una vuelta
	n	Cantidad de vueltas
	a	Punto de comprobación
	b	Punto de comprobación
	c	Punto de comprobación
30	d	Punto de comprobación
	e	Punto de comprobación
	f	Punto de comprobación
	g	Punto de comprobación
	h	Punto de comprobación
35	i	Punto de comprobación
	j	Punto de comprobación

- k Punto de comprobación
- l Punto de comprobación

## REIVINDICACIONES

1. Dispositivo para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad, que presenta al menos un crisol (3) con un fondo de crisol (3b), que está dispuesto en una cámara de crecimiento (1) y contiene una masa fundida (2), un dispositivo calefactor (4) que envuelve el crisol y está realizado como disposición de bobinas múltiples a partir de bobinas (5), (6), (7) dispuestas una sobre otra y sirve para la generación simultánea de un campo magnético móvil, estando unidas por electricidad las bobinas con al menos un dispositivo suministrador de energía (14) dispuesto fuera de la cámara de crecimiento (1) por medio de conexiones de bobina (10), (11), (12), (13) guiadas a través de la cámara de crecimiento (1), **caracterizado por que** las vueltas (8) de la disposición de bobinas múltiples presentan una distancia (4a) desde un eje central imaginario del crisol (3c) hasta el borde interior (4c) de las vueltas (8) que al menos en una vuelta (8) es distinta de las vueltas restantes (8) con secciones transversales de vuelta (4b) iguales o distintas.
2. Dispositivo según la reivindicación 1, **caracterizado por que** debajo del fondo de crisol (3b) del crisol (3) está dispuesta al menos otra bobina (15), (16).
3. Dispositivo según la reivindicación 2, **caracterizado por que** las bobinas (15), (16) dispuestas debajo del fondo de crisol presentan vueltas (8) dispuestas una dentro de otra.
4. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado por que** las vueltas (8) de al menos una bobina (5), (6), (7), (15), (16) presentan una distancia (4a) respecto al eje central imaginario de crisol (3c), que se diferencia de las bobinas restantes (5), (6), (7), (15), (16).
5. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado por que** las vueltas (8) de al menos una bobina (5), (6), (7), (15), (16) presentan una sección transversal de vuelta (4b) que se diferencia de las bobinas restantes (5), (7).
6. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado por que** la distancia (4a) de al menos una vuelta (8) desde el eje central imaginario de crisol (3c) hasta el borde interior (4c) de la vuelta (8) es menor respecto a la de las otras vueltas (8).
7. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado por que** al menos una sección transversal de vuelta (4b) de las vueltas dentro de una bobina (5), (6), (7), (15), (16) es diferente respecto a las otras vueltas (8) de la bobina (5), (6), (7), (15), (16).
8. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizado por que** las vueltas (8) de las bobinas (5), (6), (7), (15), (16) están hechas de materiales diferentes.
9. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** las bobinas (5), (6), (7), (15), (16) presentan una cantidad diferente (n) de vueltas (8).
10. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 8, **caracterizado por que** las bobinas (5), (6), (7), (15), (16) presentan la misma cantidad (n) de vueltas (8).
11. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 10, **caracterizado por que** la sección transversal de vuelta (4b) presenta la forma de una superficie geométrica cualquiera.
12. Dispositivo según la reivindicación 11, **caracterizado por que** la sección transversal de vuelta (4b) presenta una forma rectangular, cuadrada o redonda.
13. Dispositivo según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizado por que** una superficie (18), encerrada por la vuelta (8), presenta la forma de una superficie geométrica cualquiera.
14. Procedimiento para la fabricación de cristales a partir de masas fundidas conductoras de electricidad mediante un dispositivo según al menos una de las reivindicaciones 1 a 13, en el que en una masa fundida (2) contenida en un crisol (3) se genera un campo de fuerza de Lorentz con un máximo de densidad de fuerza de Lorentz, situado en la zona de una pared de crisol (3a), por medio de una disposición de bobinas múltiples construida a partir de bobinas (5), (6), (7), **caracterizado por que** el máximo de densidad de fuerza de Lorentz se desplaza de la zona de la pared de crisol (3a) hacia un eje central imaginario de crisol (3c) mediante el control de las magnitudes intensidad de corriente, desplazamiento de fase y frecuencia alimentadas a las bobinas (5), (6), (7), (15), (16).
15. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado por que** al menos a una bobina (5), (6), (7), (15), (16) se alimenta un desplazamiento de fase que se diferencia de las bobinas restantes.
16. Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado por que** en las bobinas (5), (6), (7), (15), (16) se alimentan los mismos desplazamientos de fase.
17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 16, **caracterizado por que** al menos a una bobina (5), (6), (7), (15), (16) se alimenta una intensidad de corriente que se diferencia de las bobinas restantes.

18. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 16, **caracterizado por que** en las bobinas (5), (6), (7), (15), (16) se alimentan respectivamente intensidades de corriente de igual valor.
19. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 18, **caracterizado por que** al menos una bobina (6) se opera con una intensidad de corriente mayor respecto a las bobinas restantes (5), (7), (15), (16).
- 5 20. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 18, **caracterizado por que** al menos una bobina (6) se opera con una intensidad de corriente menor respecto a las bobinas restantes (5), (7), (15), (16).
21. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 20, **caracterizado por que** al menos a una bobina (5), (6), (7), (15), (16) se alimenta una frecuencia que se diferencia de las bobinas restantes.
- 10 22. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 20, **caracterizado por que** a las bobinas (5), (6), (7), (15), (16) se alimenta respectivamente la misma frecuencia.
23. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 22, **caracterizado por que** el control de las magnitudes desplazamiento de fase, intensidad de corriente y frecuencia se lleva a cabo con una disposición de bobinas múltiples en forma de cilindro hueco.



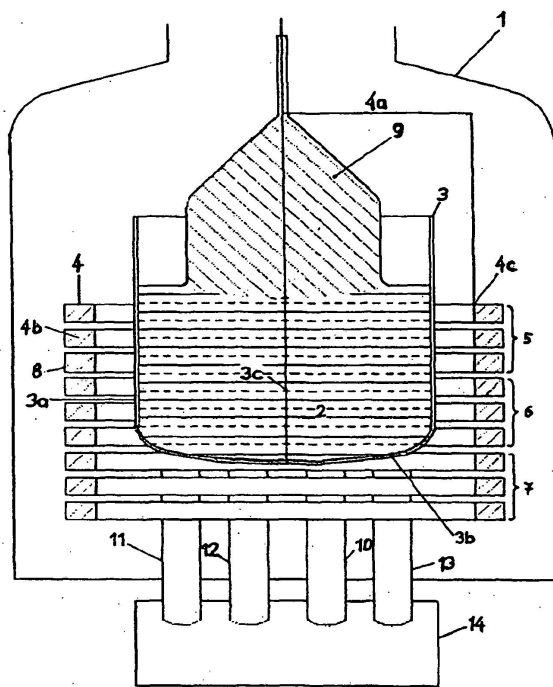


Fig. 1

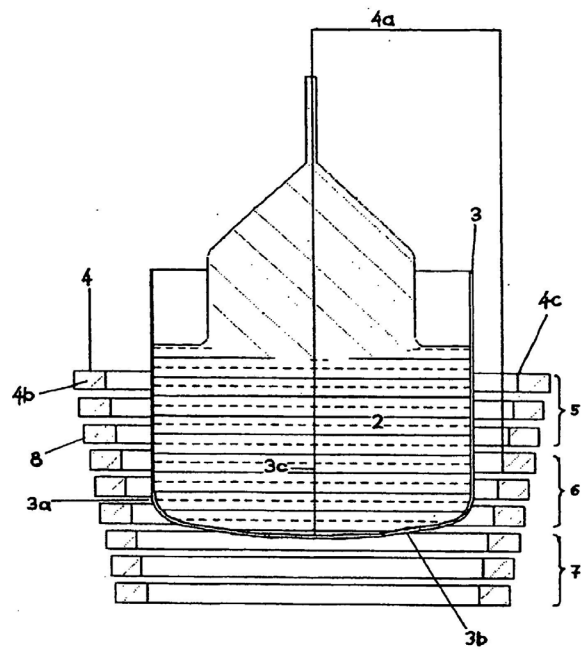


Fig. 2

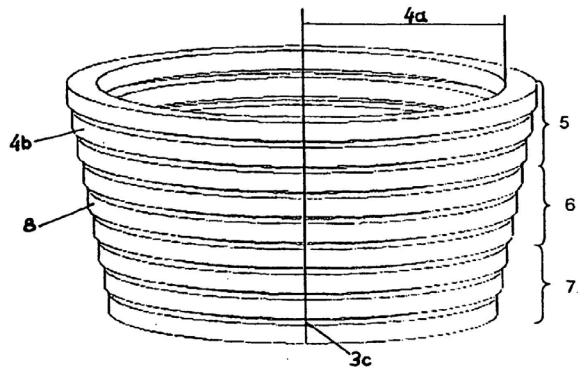


Fig. 3

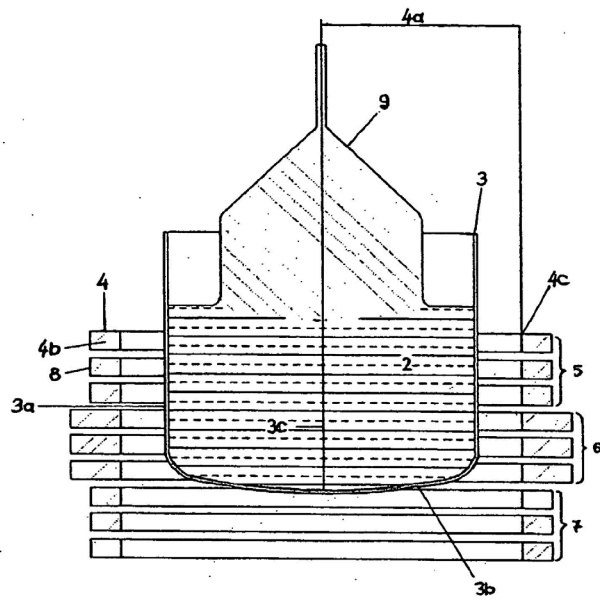


Fig. 4

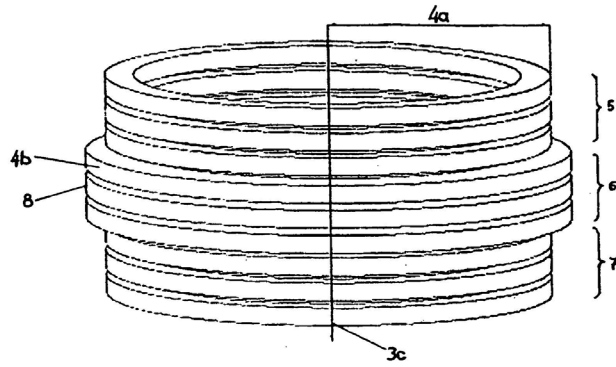


Fig. 5

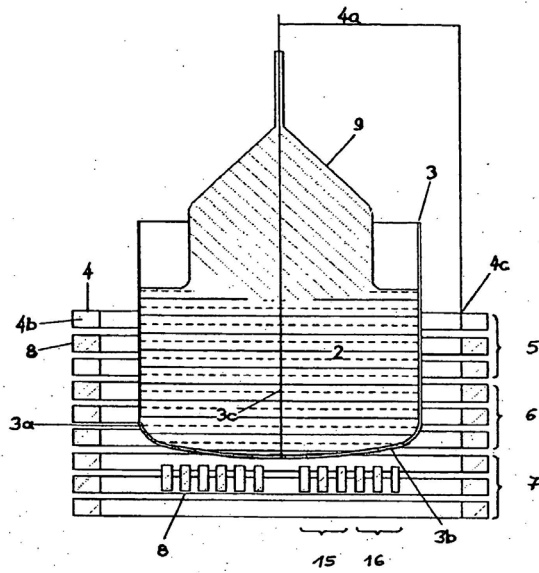


Fig. 6

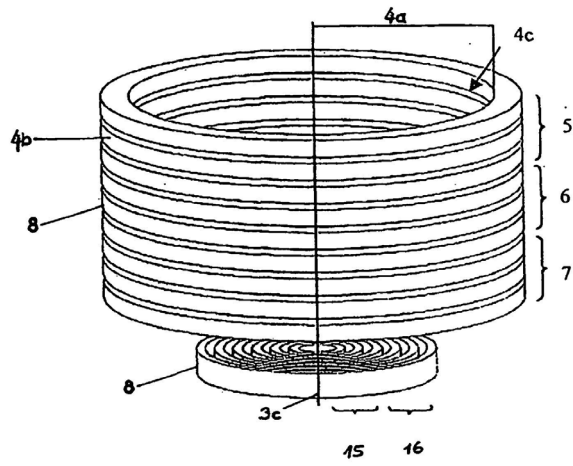


Fig. 7.

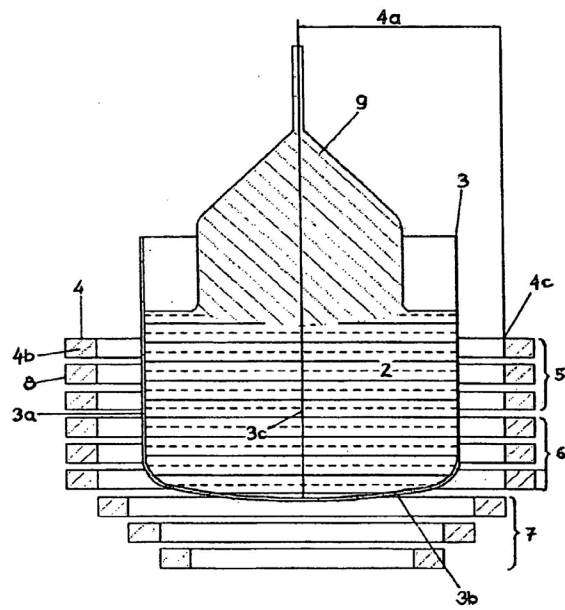


Fig. 8



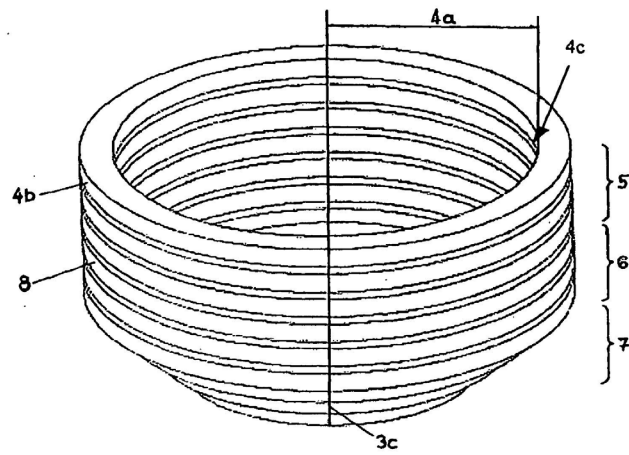


Fig. 9

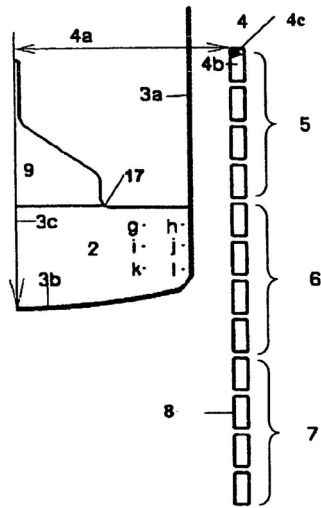


Fig. 10

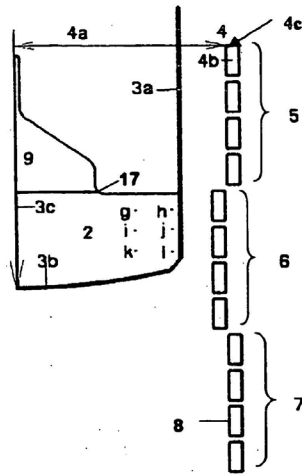


Fig. 11

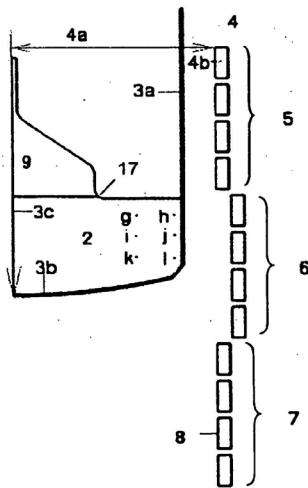


Fig. 12

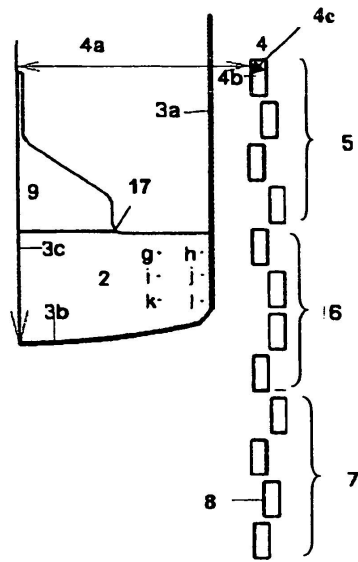


Fig. 13

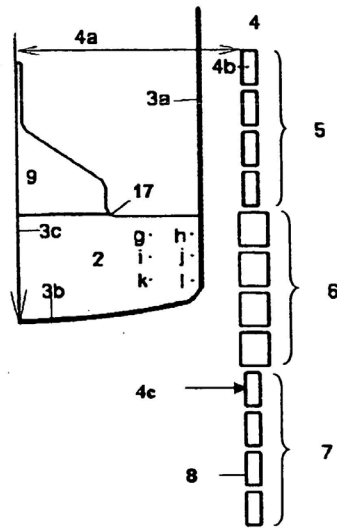


Fig. 14

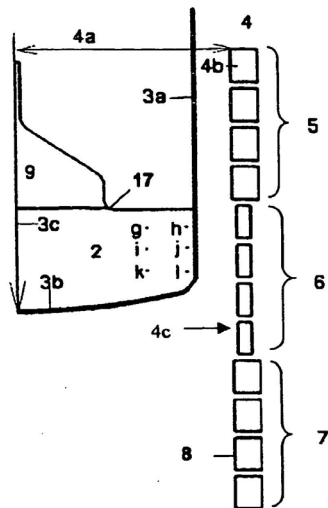


Fig. 15

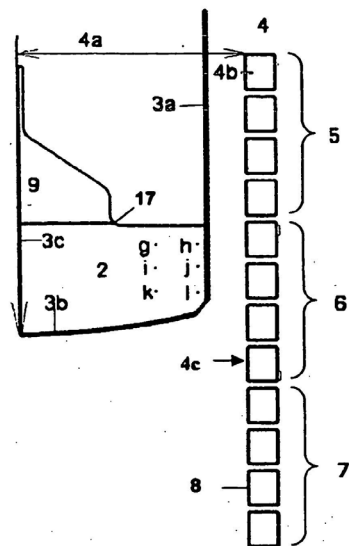


Fig. 16

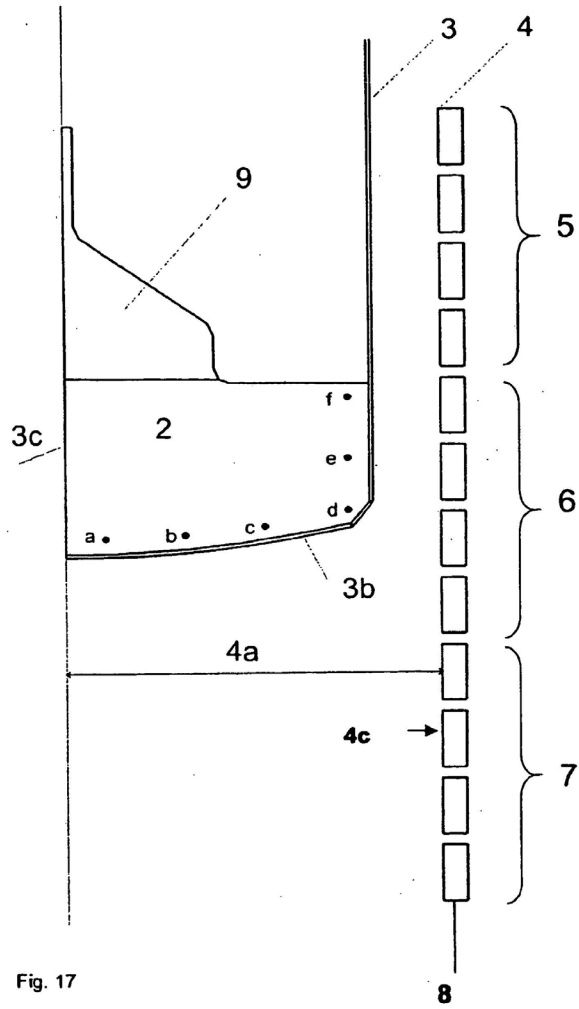


Fig. 17



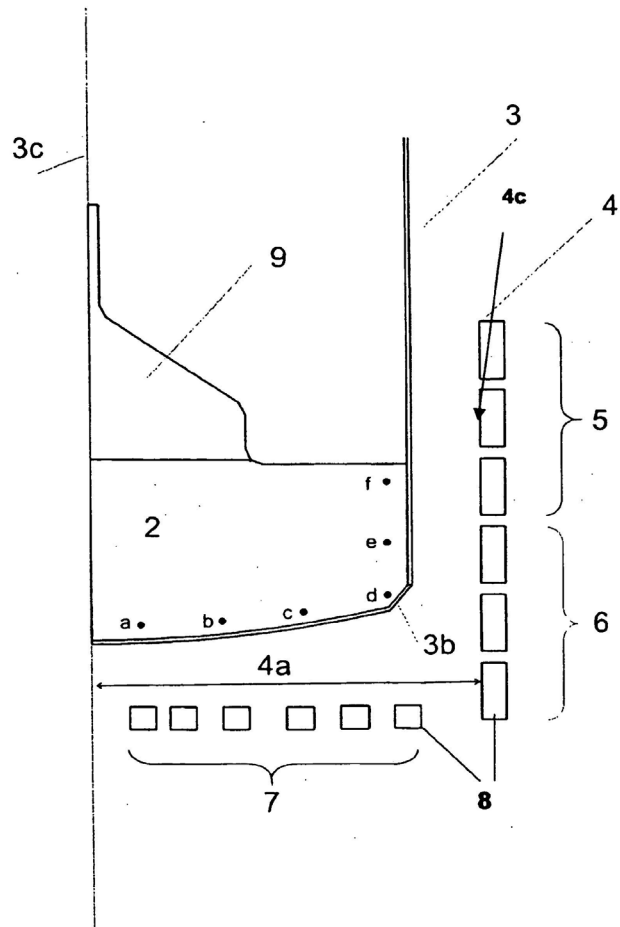


Fig. 18

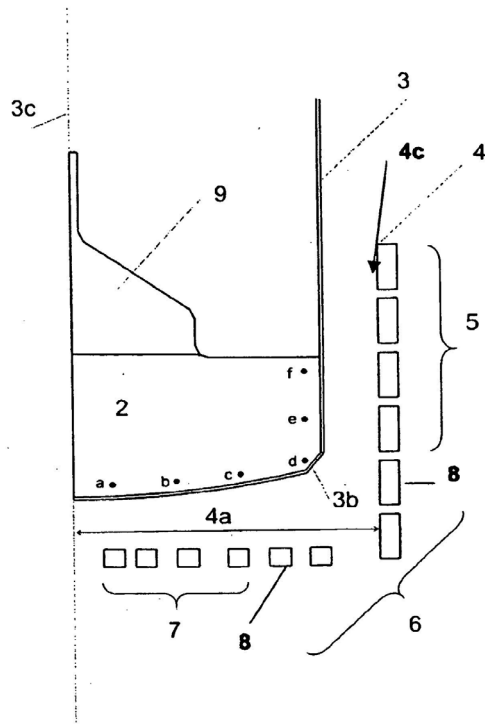


Fig. 19

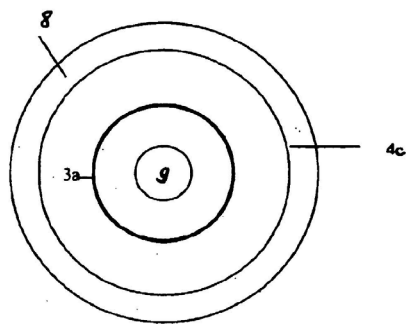


Fig. 20

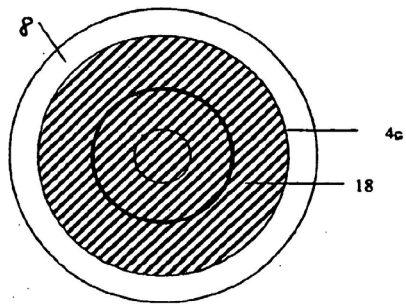


Fig. 21

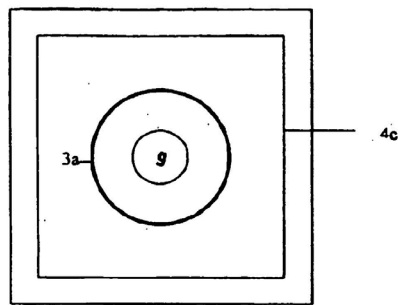


Fig. 22

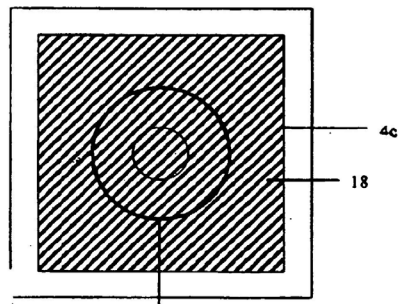


Fig. 23