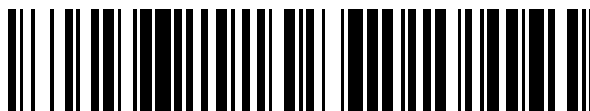


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 449 699**

51 Int. Cl.:

C30B 15/10 (2006.01)

C30B 15/14 (2006.01)

C30B 29/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.11.2010** **E 10801372 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.11.2013** **EP 2504470**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para la fabricación de monocristales a partir de material semiconductor**

30 Prioridad:

24.11.2009 DE 102009056125

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

20.03.2014

73 Titular/es:

FORSCHUNGSVERBUND BERLIN E.V. (100.0%)
Rudower Chaussee 17
12483 Berlin, DE

72 Inventor/es:

RIEMANN, HELGE;
ABROSIMOV, NIKOLAI V.;
FISCHER, JÖRG y
RENNER, MATTHIAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 449 699 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

Procedimiento y dispositivo para la fabricación de monocristales a partir de material semiconductor

La invención se refiere a un procedimiento y a un dispositivo para la fabricación de monocristales a partir de material semiconductor. En este caso, un cristal de vacunación monocristalino es sumergido en la superficie de fundición, es parcialmente fundido y controlado en dirección vertical, con lo que crece un monocristal. Este proceso de fabricación fundamental del silicio monocristalino es casi idéntico, independiente de su utilización, por ejemplo en la electrónica o bien en la industria solar.

Debido a la necesidad fuertemente elevada y cada vez más creciente de silicio monocristalino como material de partida de células solares y para la electrónica han sido desarrollados procedimientos, con los que se pueden fabricar económicamente monocristales con el menos número posible de impurezas y de dimensiones grandes. De esta manera son habituales y se han descrito diferentes procedimientos para la fabricación de tales monocristales.

Un procedimiento estándar habitual y difundido para la fabricación de monocristales es el procedimiento Czochralski, en el que el material de semiconductores que debe extraerse de un monocristal es llevado a un crisol de cuarzo para la fundición y a partir de esta fundición se extrae el cristal hacia arriba. Los inconvenientes esenciales de este procedimiento consisten en que la colada disuelve en cualquier caso el crisol, con lo que la colada y, por lo tanto, el cristal se contaminan, y el crisol de cuarzo debe sustituirse después de un tiempo de actividad relativamente corto. Existen también soluciones, para conseguir con métodos costosos para el crisol que cuarzo un tiempo de actividad más prolongado, como se describe en el documento DE 102 17 946 A1. Sin embargo, en cualquier caso solamente se extrae un cristal con contaminaciones típicas de CZ, que están distribuidas adicionalmente axialmente de forma inhomogénea.

En el documento DE 24 16 489 se describe un procedimiento para el cultivo de monocristales escasamente mezclados o bien libres de mezclas de silicio de acuerdo con el procedimiento Czochralski, en el que deben eliminarse los inconvenientes del procedimiento Czochralski por que en lugar de un crisol, de manera similar al procedimiento de pedestal, se utiliza una barra de reserva fundida como fuente de material. En el caso de utilización de un inductor como fuente de calor y selección adecuada de la frecuencia de la corriente alterna que circula a través del inductor, no se funde, como consecuencia del desplazamiento de la corriente en combinación con las pérdidas de calor laterales en la superficie de la barra de reserva, una capa marginal sólida, que representa un recipiente para la colada y de esta manera posibilita una extracción del cristal libre de sustancias extrañas de una manera similar al procedimiento de pedestal. Un inconveniente esencial de esta solución consiste en que solamente se pueden extraer cristales, que presentan un diámetro esencialmente menor que la barra de reserva. Además, en esta solución, el borde no fundido de la barra de reserva debe ceder, debido a la conductividad relativamente buena del material macizo para su estabilización, mucho calor que debe compensarse a través de la alimentación de energía inductiva.

También en el procedimiento descrito en el documento DE 44 47 398 deben eliminarse los inconvenientes del procedimiento Czochralski. A tal fin, está previsto que el material semiconductor que se encuentra en el crisol sea fundido en primer lugar a través de una bobina de inducción. De esta manera aparece en primer lugar una colada, que rellena el crisol. La potencia calefactora se reduce a continuación hasta el punto de que se configura una capa sólida estable en la pared interior del crisol. La capa marginal solidificada es, en su función, una capa de pasivación y proporciona adicionalmente un cuerpo de fondo para la auto-estabilización de la temperatura en la colada. Durante la fase del recalentamiento de la colada, ésta entra en reacción con la pared exterior del crisol, llegando oxígeno y otras contaminaciones a la colada. Como en el ejemplo precedente, también en esta solución debe cederse mucha energía a las zonas marginales en el entorno más frío, para estabilizar aquí la capa marginal sólida. El volumen de los cristales a fabricar con el dispositivo propuesto es limitado, puesto que debido a la ausencia de posibilidades de recalentamiento de la colada no es posible una recarga con Si sólido y una recarga con silicio líquido implicaría una entrada de sustancias extrañas.

Otro procedimiento es el procedimiento de Zona Flotante (FZ), con el que se pueden extraer monocristales de Si de alta pureza. En el documento DE 30 07 377 A1 se describen los rasgos básicos del procedimiento FZ. Aquí son inconvenientes el diámetro limitado y los altos costes de fabricación de barras brutas policristalinas adecuadas.

Un tercer procedimiento para la fabricación de monocristales es el procedimiento de pedestal igualmente libre de crisol. Una barra policristalina es fundida a través de un inductor en todo su lado frontal superior. La zona fundida es puesta en contacto a través de la abertura del inductor con un cristal de vacunación y el monocristal creciente, a diferencia del procedimiento de fundición por zonas, es extraído hacia arriba. Un inconveniente esencial del procedimiento de pedestal es que el diámetro del cristal extraído es claramente menor que el de la abertura del inductor de la barra bruta.

Las etapas esenciales del procedimiento y las características esenciales del dispositivo, que son características para el procedimiento de pedestal, se describen en el documento DE 21 10 882 A1. Una barra policristalina, que está constituida por el material semiconductor, es fundida en su cima a través de una calefacción, a partir de la cual se

extrae entonces un monocristal.

Otro ejemplo para la extracción del monocristal de acuerdo con el procedimiento de pedestal se representa en detalle en el documento CA 7135245 A.

5 También en el documento US 2.961.305 A se ha descrito una solución para la extracción de un monocristal de acuerdo con el procedimiento de pedestal.

10 El inconveniente esencial del procedimiento de pedestal clásico consiste en que el monocristal extraído presenta siempre un diámetro más reducido que la barra bruta utilizada. La barra bruta tiene de nuevo un diámetro limitado, que está predeterminado por el procedimiento Siemens para la fabricación de silicio. Especialmente para un diámetro grande del cristal es cada vez más desfavorable su relación con respecto al diámetro de la barra de reserva por razones técnica de calor. Para evitar estos inconvenientes se conocen otras soluciones, que utilizan el procedimiento de pedestal.

15 Así, por ejemplo, se describe en el documento DE 35 19 632 A1 un procedimiento y un dispositivo para la extracción de barras de silicio monocristalino, en el que se rellena un granulado de silicio en un recipiente, en el que debe generarse un mar de colada en la superficie, a partir del cual se puede extraer entonces el monocristal. Para la generación del mar de colada está previsto que a través del flujo de corriente se calienten dos electrodos de silicio, de tal manera que a través del flujo de corriente entre dos electrodos de silicio, que penetran en el granulado, se calienta el granulado hasta el punto de que se forma un mar de colada. Pero este procedimiento no se puede realizar en la práctica, puesto que los electrodos, que deben estar fabricados de silicio, para no contaminar la colada resultante y, por lo tanto, el cristal a extraer, a la temperatura de la colada tienen una resistencia eléctrica específica
20 aproximadamente 30 veces más alta que la colada resultante. De esta manera, por cada unidad de volumen se convierten aproximadamente 30 % de la energía eléctrica alimentada en el mar de colada en calor, mientras que el 97 % restante aproximadamente de la energía eléctrica debe liberarse en los electrodos de silicio sólidos, lo que conduciría a que éstos o bien se fundirían ellos mismos o, en cambio, se solidificaría la colada.

25 Otro ejemplo se representa en el documento DE 35 25 177 A1. Aquí se insertan los electrodos de silicio en taladros, que están realizados en un bloque de silicio macizo. A través de la fundición de los electrodos de silicio y la refrigeración del bloque de silicio debe conseguirse que entre dos electrodos de silicio se genere un arco voltaico, que se enciende a través de un tercer electrodo de silicio. El inconveniente de esta solución consiste especialmente en que los electrodos deben calentarse adicionalmente y debe refrigerarse el bloque de silicio. Además, en la práctica es dudoso que en la disposición propuesta se forme realmente a través de los dos electrodos un mar de colada de este tipo, a partir del cual se pueda extraer entonces un monocristal de silicio. Aquí también se aplica el problema de energía descrito ya con relación al documento DE 35 19 632 A1.

35 En el documento DE 43 18 184 A1 se han descrito un procedimiento y un dispositivo para la extracción de monocristales a partir de una colada. El procedimiento prevé que un cristal de vacunación monocristalino crezca para forman un monocristal, sumergiendo el cristal de vacunación en la colada y elevándose de forma controlada en dirección vertical con respecto a la colada. La colada forma un mar de colada, que se mantiene sólo por la tensión superficial y por fuerzas electromagnéticas de una bobina de inducción sobre un cuerpo de soporte macizo, que está fabricado a partir de un material semiconductor. Durante el crecimiento del monocristal se recarga material semiconductor en forma sólida o líquida en la colada. A través de un calentamiento adicional del cuerpo de soporte se apoya activamente la bobina de inducción, que sirve como fuente de calor para la generación y/o mantenimiento
40 de la colada y de esta manera se pueden compensar las pérdidas de calor, que se producen forzosamente durante la recarga del material semiconductor. La bobina de inducción está configurada con preferencia plana y se encuentra por encima del cuerpo de soporte. La distancia con respecto a éste es variable. El mar de colada descansa sobre el cuerpo de soporte, que se puede calentar a través de una calefacción de resistencia, que está dispuesta como fuente de calor adicional en una cavidad del cuerpo de soporte. Con preferencia, el cuerpo de soporte no está formado de una pieza, sino que está compuesto de varios segmentos. A través de una configuración adecuada de los segmentos individuales se ha creado en el cuerpo de soporte una cavidad, que sirve para la recepción de la calefacción de resistencia adicional.

45 El inconveniente de esta solución consiste especialmente en que el cuerpo de soporte debe fabricarse de silicio de forma muy costosa y este cuerpo de soporte, después de la terminación del proceso de extracción debería desplazarse de nuevo de retorno a su estado de partida a través de nuevo procesamiento mecánico. Además, a través de la calefacción de resistencia resulta un gasto de energía adicional considerable. Puesto que el cuerpo de soporte está fabricado de silicio macizo, son necesarias medidas adicionales para mantener un gradiente de temperatura entre la calefacción de resistencia y el mar de colada, para que se mantengan al mismo tiempo estables el volumen de la colada y el cuerpo de soporte propiamente dicho.

55 El cometido de la invención consiste en indicar un procedimiento y un dispositivo, con los que se pueden fabricar económicamente monocristales con las propiedades del material del procedimiento FZ en un proceso continuo, cuyo diámetro y longitud no están limitados en principio. En este caso, debe generarse un crisol de material propio, que se

encuentra en un recipiente individual para la preparación de la colada de semiconductores. No deben emplearse electrodos o bien calentamientos de resistencia para la alimentación de energía. El procedimiento debe presentar un balance de energía favorable y solamente pérdidas reducidas de energía.

Este cometido se realiza a través del procedimiento de acuerdo con la invención, que se caracteriza por medio de las características de la reivindicación 1 de la patente. En este caso, se extrae un monocristal a partir de una colada, que forma un mar de colada en la superficie de un material semiconductor. El monocristal es extraído en un cristal de vacunación a través del orificio central de un inductor. El inductor se forma de acuerdo con el estado conocido de la técnica a partir de un disco plano. El material semiconductor, sobre el que se configura el mar de colada, se encuentra en forma de un montón granulado en un recipiente transparente para campos magnéticos de alta frecuencia. Este material semiconductor configura, por decirlo así, un "crisol propio" para el mar de colada, de manera que este "crisol propio" está constituido por el mismo material que la colada. En el procedimiento de acuerdo con la invención, se aprovecha el efecto físico, que consiste en la conductividad térmica y eléctrica especialmente reducida del granulado más grueso, comparado con la capa intermedia sólida compacta y la colada. El granulado presenta, en virtud de los espacios intermedios y una unión solamente puntual entre los granos individuales, una conductividad eléctrica muy reducida, con lo que no se inducen en el granulado corrientes parásitas relevantes. De esta manera, De esta manera se calienta el granulado solamente en una medida insignificante a través del inductor. En la colada, que presenta aquí la máxima conductividad, se configuran corrientes parásitas inductivas fuertes, de manera que aquí tiene lugar también la máxima entrada de potencia y, por lo tanto, se generan las temperaturas más altas hasta el recalentamiento local en la superficie libre. Puesto que el material semiconductor granulado es también un mal conductor térmico, se garantiza que se pueda controlar el tamaño del mar de colada con el inductor dispuesto por encima del mar de colada. Además, de esta manera se garantiza que la colada no entre en contacto con el recipiente, con lo que se puede garantizar su pureza, sin que se planteen requerimientos especiales de pureza al recipiente.

Por las razones mencionadas anteriormente, se utilizan exclusivamente calentamientos inductivos para la generación de la temperatura en el mar de colada.

El mar de colada, que está rodeado por el montón granulado, es generado principalmente a través de la energía del inductor dispuesto por encima de su superficie, que es alimentada con una alta frecuencia de aproximadamente 1 a 4 MHz. A través de la distancia del inductor desde la superficie y a través de la corriente HF alimentada se pueden controlar bien el tamaño y la profundidad del mar de colada. La forma de este inductor está seleccionada para que su distribución de la potencia inductiva genere un mar de colada, cuya profundidad es al menos 20 % de su diámetro y cuya superficie libre está más dilatada lateralmente al menos 5 a 10 mm que la planta del inductor. El inductor presenta un orificio central que corresponde a la sección transversal deseada del cristal. Con un inductor de una espiral, que presenta una ranura principal y un orificio central redondo, se genera, por ejemplo, una distribución de la temperatura casi simétrica rotatoria, de manera que se genera un mar de colada casi redondo y se extrae un cristal con sección transversal redonda desde el orificio central.

La extracción de un cristal redondo se apoya con preferencia porque el dispositivo de extracción gira alrededor de su eje con el cristal en crecimiento.

A través de la selección de otras formas del inductor, por ejemplo con orificios centrales de forma rectangular o poligonal también combinados con ranuras adyacentes, se genera una distribución de la temperatura modificada geométricamente de manera correspondiente, que repercute de manera favorable para el crecimiento de cristales con sección transversal rectangular o poligonal, de manera que para estos casos hay que mantener, en principio, la rotación el cristal. La dilatación lateral del inductor excede la sección transversal del cristal en todos los cantos exteriores en más de 20 a 30 mm y es con preferencia de 1,5 a 2 veces mayor que la sección transversal del cristal.

Es ventajoso hacer girar el recipiente lentamente alrededor de su eje, para garantizar una colada uniforme del material recargado.

Para que para secciones transversales grandes el cristal del mar de colada sea suficientemente profundo en el centro y de esta manera e pueda alimentar calor de fundición suficiente durante la recarga de material semiconductor granulado, está prevista una calefacción por inducción adicional, que calienta de manera predominante le mar de colada desde abajo, de nuevo sin alimentar energía considerable en este caso al granulado. Esta calefacción por inducción está configurada en forma de una bobina, que es alimentada con una corriente de alta frecuencia de frecuencia más reducida de aproximadamente 5 a 500 kHz y cuyas espirales están dispuestas alrededor del recipiente. Debido a la profundidad de penetración grande condicionada por la frecuencia y la selección de la disposición de la bobina de inducción se induce energía térmica con preferencia en la zona límite entre el material semiconductor y la colada. Al mismo tiempo se ajusta de forma selectiva un gradiente de temperatura de este tipo entre la pared del recipiente y el mar de colada, de tal manera que el material semiconductor permanece estable en el entorno de la pared del recipiente no calentada, es decir, que presenta una resistencia térmica y eléctrica suficiente. De esta manera se garantiza que la colada, desde la que se extrae el monocristal, no entre en contacto con la pared del recipiente y no se puedan desprender sustancias desde éste, que

contaminarían la colada. Para la realización de un mar de colada configurado de forma óptima puede ser ventajoso disponer otro inductor con preferencia plano directamente debajo del recipiente. De manera alternativa, los otros dos inductores, que están dispuestos alrededor del recipiente y debajo del fondo del recipiente, pueden estar interconectados como una bobina.

- 5 De manera más ventajosa, el material semiconductor granulado está constituido de piezas rotas o bien de granulado de lecho fluidizado. El tamaño preferido del grano está entre aproximadamente 0,01 mm y 20 mm.

El dispositivo de acuerdo con la invención para la realización de dicho procedimiento se caracteriza por las características de la reivindicación 11. En este caso, se utiliza un dispositivo, que se parece, en principio, a los dispositivos conocidos para la realización de un procedimiento de pedestal. Por encima del recipiente, en el que se encuentra el material semiconductor granulado, sobre el que se genera el mar de colada, está dispuesto un inductor de una espira en forma de disco, a través de cuyo orificio central se extrae el monocristal. La sección transversal del orificio central se dimensiona de manera correspondiente a la sección transversal del cristal a extraer. Un cristal con sección transversal redonda se extrae desde un orificio central redondo. Orificios centrales con sección transversal rectangular o bien poligonal, combinados también con ranuras adicionales, generan unas distribuciones de la temperatura modificada de acuerdo con la geometría, que son favorables para el crecimiento de cristales con sección transversal rectangular o bien poligonal. Por encima del inductor se encuentra un dispositivo de extracción habitual con el cristal de vacunación fijado en él. El aparato presenta un diámetro tal y una altura tal que entre la pared del recipiente y el mar de colada está presente en todas las direcciones al menos un espesor suficiente de material semiconductor no fundido. El "crisol propio" resultante de esta manera presenta un espesor de pared de algunos centímetros. El recipiente está constituido por un material aislante de electricidad y resistente a la temperatura así como transparente para campos magnéticos de alta frecuencia. En el material del recipiente no se plantean requerimientos especiales con respecto a la pureza o a la estabilidad química o bien mecánica / térmica. Como recipiente es adecuado, por ejemplo, cristal de cuarzo. El recipiente no debe ser móvil en la dirección vertical. El inductor en forma de disco por encima del recipiente está realizado móvil en dirección vertical frente al recipiente.

- 25 La bobina de inducción dispuesta alrededor del recipiente presenta aproximadamente de 3 a 5 arrollamientos, que están dispuestos aproximadamente a la altura del mar de colada con una distancia de ≤ 5 mm con respecto a la pared exterior del recipiente. La bobina de inducción dispuesta debajo del recipiente presenta de la misma manera una distancia de ≤ 5 mm con respecto al fondo del recipiente.

30 Para la recarga de material semiconductor granulado está prevista una alimentación, que está guiada a través de un orificio adicional en el inductor en el recipiente, de manera que el material semiconductor recargado se rellena sobre el borde del mar de colada, con lo que, por una parte, su nivel se mantiene constante y, por otra parte, se funden los granos de granulado, antes de que puedan llegar flotando hacia el límite de las fases de cristalización. Esto último conduciría a la pérdida de la monocristalinidad.

- 35 Si la calidad del granulado no fuese suficiente para el cultivo de monocristales, de manera alternativa se pueden extraer con este procedimiento también barras de semiconductores policristalinos, por ejemplo como barras brutas para un cultivo posterior de cristal FZ. Otras configuraciones ventajosas se pueden deducir a partir de las reivindicaciones dependientes.

40 Las ventajas del procedimiento de acuerdo con la invención consisten en que se puede extraer un monocristal con las propiedades del material de un monocristal extraído por zonas en un proceso continuo, cuya sección transversal no se determina, en principio, por el material bruto, como es el caso en el procedimiento FZ y en el procedimiento de pedestal. Su sección transversal se limita, en principio, por la sección transversal del orificio central del inductor utilizado. Su longitud se limita especialmente por el tamaño de la cámara de cultivo hermética al gas de la instalación, en la que está dispuesto el dispositivo de acuerdo con la invención así como el recorrido del dispositivo de extracción utilizado. El recipiente empujado para el alojamiento del material semiconductor granulado debe estar constituido por material no magnético, aislante de electricidad, por ejemplo por cristal de cuarzo económico, puesto que no entra en contacto con la colada y no se desgasta en principio. El material semiconductor se puede emplear en forma de granulado económico o fracción granulada. El balance de energía del procedimiento de acuerdo con la invención es más favorable que en los procedimientos comparables de acuerdo con el estado conocido de la técnica.

- 50 El procedimiento de acuerdo con la invención así como el dispositivo para la realización de este procedimiento se explican en detalle a continuación con la ayuda de un ejemplo de realización. En el ejemplo seleccionado debe extraerse un cristal de silicio con un diámetro de aproximadamente 50 mm.

La figura 1 muestra una vista lateral esquemática del dispositivo de acuerdo con la invención.

- 55 El dibujo correspondiente, figura 1, muestra una vista lateral esquemática del dispositivo de acuerdo con la invención, con el que se realiza el procedimiento de acuerdo con la invención. El dispositivo mostrado está alojado en la cámara de cultivo hermética al gas no representada de una instalación FZ, que está llena con argón. En el ejemplo seleccionado, debe extraerse un monocristal con sección transversal redonda. El recipiente 1, en el que se

encuentra el material de partida para la fabricación del cristal de silicio en forma de granulado de silicio 2, está dispuesto sobre un husillo interior de extracción 11 de la instalación FZ. El recipiente 1 utilizado está constituido de cristal de cuarzo estándar y tiene un diámetro D1 de aproximadamente 20 cm así como una altura H1 de aproximadamente 10 cm. El recipiente 1 está lleno en el ejemplo seleccionado con el granulado de silicio 2 hasta una altura de aproximadamente 9 cm. El tamaño del grano del granulado de silicio 2 tiene aproximadamente de 0,3 a 3 mm.

Por encima del recipiente 1, sobre el granulado de silicio 2, está dispuesto un inductor redondo 4, configurado en forma de disco de una espiral, que presenta un orificio central redondo 5 y una ranura principal, en la que están conectadas las dos alimentaciones de corriente. El diámetro D2 del inductor 4 es menor que el diámetro D1 del recipiente 1, con lo que se puede posicionar herméticamente en la superficie del montón. El diámetro D4 del orificio central redondo 5 del inductor 4 tiene en el ejemplo seleccionado aproximadamente 60 mm. De esta manera se puede extraer un cristal 6 con un diámetro D5 de aproximadamente 50 mm. El inductor 4 es atravesado por una corriente HF con una frecuencia de aproximadamente 3 MHz con una potencia del generador de aproximadamente 25 kW. Este inductor 4 genera un campo de temperatura simétrico rotatorio, con lo que se mantiene un mar de colada redondo 7. El diámetro D3 del mar de colada 7 tiene en el ejemplo seleccionado aproximadamente 120 mm. Por encima del inductor 4 se encuentra el husillo superior de extracción 3, que lleva el cristal germinal y posteriormente el monocristal 6 en crecimiento, y se extrae hacia arriba desde la colada.

Alrededor del recipiente 1 está dispuesto otro inductor 8, que está configurado como bobina de inducción de varios espirales. El número de arrollamientos es aproximadamente 4 arrollamientos y la distancia de los arrollamientos con respecto a la pared exterior del recipiente 1 es aproximadamente 3 mm. La bobina de inducción 8 presenta una altura de aproximadamente 30 mm y está dispuesta en la zona superior del recipiente. Está atravesada por una corriente con una frecuencia de aproximadamente 10 kHz y una potencia de aproximadamente 3 kW. El campo de temperatura generado por el inductor cilíndrico 8 provoca que en el centro debajo del mar de colada 7 se mantenga el granulado de silicio 2 a temperatura de fusión de aproximadamente 1412°C. En el granulado de silicio 2, en virtud de su resistencia eléctrica y térmica alta, tal gradiente de temperatura provoca que en la pared interior del recipiente 1 exista una temperatura de máximo aproximadamente 500°C. Puesto que el granulado de silicio 2 presenta la pureza requerida y la colada solamente entra en contacto con el granulado de silicio 2 y no con la pared de la carcasa, desde ésta no llegan prácticamente contaminaciones a la colada y al monocristal 6 extraído. Por lo tanto, en esta disposición de habla también de "crisol propio", puesto que el crisol se forma a través de material semiconductor propio.

El dispositivo de acuerdo con la invención presenta en el ejemplo seleccionado un inductor 9 adicional, que está dispuesto debajo del recipiente 1. Este otro inductor 9 está configurado con preferencia como bobina de inducción plana, en forma de espiral, de varias espirales. A través de este inductor 9 adicional se provoca que el tamaño y especialmente la profundidad del mar de colada 7 se puedan controlar de una manera óptima a través de la actuación sobre la superficie límite con el montón de granulado de silicio 2.

A través de una instalación de recarga 10, en función de la velocidad de extracción y del diámetro D5 del cristal 6 a través de un orificio adicional en el inductor 4, se recarga continuamente tanto granulado 2 que el nivel H2 del mar de colada 7 se mantiene siempre constante. De esta manera se garantiza que el cristal 6 se pueda extraer continuamente, sin que se consuma el material del montón o bien del crisol propio. El recipiente 1 es girado alrededor de su eje con el husillo inferior de extracción 11 con aproximadamente 3 revoluciones por minuto. De esta manera, se garantiza una colada uniforme del material recargado, para mantener siempre un mar de colada redondo 7 e impedir que granulado 2 fundido incompleto pueda llegar al límite de crecimiento del cristal 6.

Cuando el cristal 6 ha alcanzado la longitud prevista, que está limitada por las dimensiones del dispositivo de extracción, se extrae desde la colada, de manera que después de la conexión de las corrientes a través del inductor 4 así como la bobina de inducción 8 y, dado el caso, la bobina de inducción 9, se solidifica el material semiconductor 7 que permanece en el mar de colada.

Si el dispositivo está preparado para un nuevo proceso de extracción, después de un pre-calentamiento del mar de colada 7 solidificado se funde de nuevo por inducción y después del restablecimiento del nivel de la colada y de la vacunación de un cristal germinal se puede iniciar un nuevo proceso de extracción.

Lista de signos de referencia

- 1 Recipiente
- 2 Granulado de silicio
- 3 Husillo superior de extracción
- 4 Inductor en forma de disco de una espiral
- 5 Orificio central del inductor 4
- 6 Cristal
- 7 Mar de colada

	8	Inductor cilíndrico de varias espirales
	9	Inductor plano de varias espirales
	10	Instalación de recarga
	11	Husillo inferior de extracción
5	D1	Diámetro del recipiente
	D2	Diámetro del inductor 4
	D3	Diámetro del mar de colada
	D4	Diámetro del orificio central del inductor 4
	D5	Diámetro del cristal
10	H1	Altura del recipiente
	H2	Nivel del mar de colada

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para la fabricación de monocristales a partir de material semiconductor con las propiedades del material de un monocristal extraído por zonas, en el que el monocristal es generado en un cristal de vacunación a partir de la colada, que se encuentra como mar de colada sobre un montón que está constituido por material semiconductor granulado, que es extraído hacia arriba a través de un inductor plano (llamado inductor de Pancake), atravesado por una corriente HF, que presenta un arrollamiento y una ranura como alimentación de corriente, a través del orificio central de este inductor plano, caracterizado por que el material semiconductor granulado (2) se encuentra en un recipiente (1) permeable para campos magnéticos de alta frecuencia, cuya pared no entra en contacto con el mar de colada (7) y en la superficie de este montón (2) se genera a través del acoplamiento de potencia térmica del inductor plano (4) dispuesto por encima del recipiente (1) así como a través de la actuación térmica de al menos otro inductor (8, 9), que está dispuesto fuera del recipiente (1), un campo de temperatura, que garantiza la aparición de un mar de colada (7) abierto y suficientemente profundo en la superficie del montón (2) de grano grueso, que está incrustado en material semiconductor (2) no fundido.
- 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el material semiconductor granulado (2) presenta un tamaño de grano de 0,01 mm a 20 mm.
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el orificio central (5) del inductor (4) en forma de disco de una espiral presenta para la extracción de un cristal (6) con sección transversal redonda de la misma manera una sección transversal redonda.
- 4.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que para la extracción de un cristal redondo (6), el husillo de extracción (3) gira alrededor de su eje con el cristal (6) en crecimiento.
- 5.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que para la extracción de un cristal (6) con sección transversal rectangular, el orificio central (5) del inductor (4) en forma de disco de una espiral presenta de la misma manera una sección transversal rectangular.
- 6.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que para la extracción de un cristal (6) con sección transversal poligonal, el orificio central (5) de inductor (4) en forma de disco de una espiral presenta una sección transversal analógica.
- 7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la corriente de alta frecuencia, que fluye a través del inductor plano (4), presenta una frecuencia entre 1 y 4 MHz.
- 8.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que la corriente de alta frecuencia, que fluye a través de los otros inductores (8, 9), presenta una frecuencia entre 5 y 500 kHz.
- 9.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que se recarga material semiconductor granulado (2) de acuerdo con la velocidad de extracción de monocristal (6) en el mar de colada y se funde, de manera que su nivel (H2) se mantiene constante en el recipiente (1).
- 10.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que el recipiente (1) gira alrededor de su eje con el material semiconductor granulado (2).
- 11.- Dispositivo para la fabricación de monocristales a partir de material semiconductor con las propiedades del material de un monocristal extraído por zonas, con el procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que por encima del recipiente (1) en forma de disco, que está lleno con material semiconductor granulado (2), está dispuesto un inductor (4) plano configurado en forma de disco, que presenta una ranura principal como alimentación de corriente y un orificio central (5), que corresponde a la sección transversal deseada del cristal, a través del cual se puede extraer hacia arriba el monocristal (6) por medio de un dispositivo de extracción (3) y este inductor (4) en forma de disco dispone de un orificio o escotadura adicional, a través del cual se rellena material semiconductor a través de un dispositivo de recarga (10), así como al menos otro inductor (8, 9) rodea el recipiente (1) desde el exterior.
- 12.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado porque la dilatación lateral del inductor (4) plano de una espiral configurado en forma de disco excede la sección transversal del cristal en todos los cantos exteriores en más de 20 a 30 mm y es al menos 1,5 a 2 veces mayor que la sección transversal del cristal.
- 13.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que el orificio central (5) del inductor (4) plano de una espiral configurado en forma de disco presenta una forma que corresponde a la sección transversal deseada del cristal, que permite extraer el cristal a través de este orificio, de tal manera que se evita un contacto entre el inductor y el cristal o el menisco de colada.
- 14.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por al menos otro inductor (8), que está realizado

como bobina y está dispuesto alrededor del recipiente.

15.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que un inductor plano (9) adicional está dispuesto debajo del recipiente.

5 16.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que el recipiente (1) está constituido de un material aislante eléctrico resistente a la temperatura y a la abrasión.

17.- Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 17, caracterizado por que el recipiente (1) está constituido de vidrio de cuarzo.

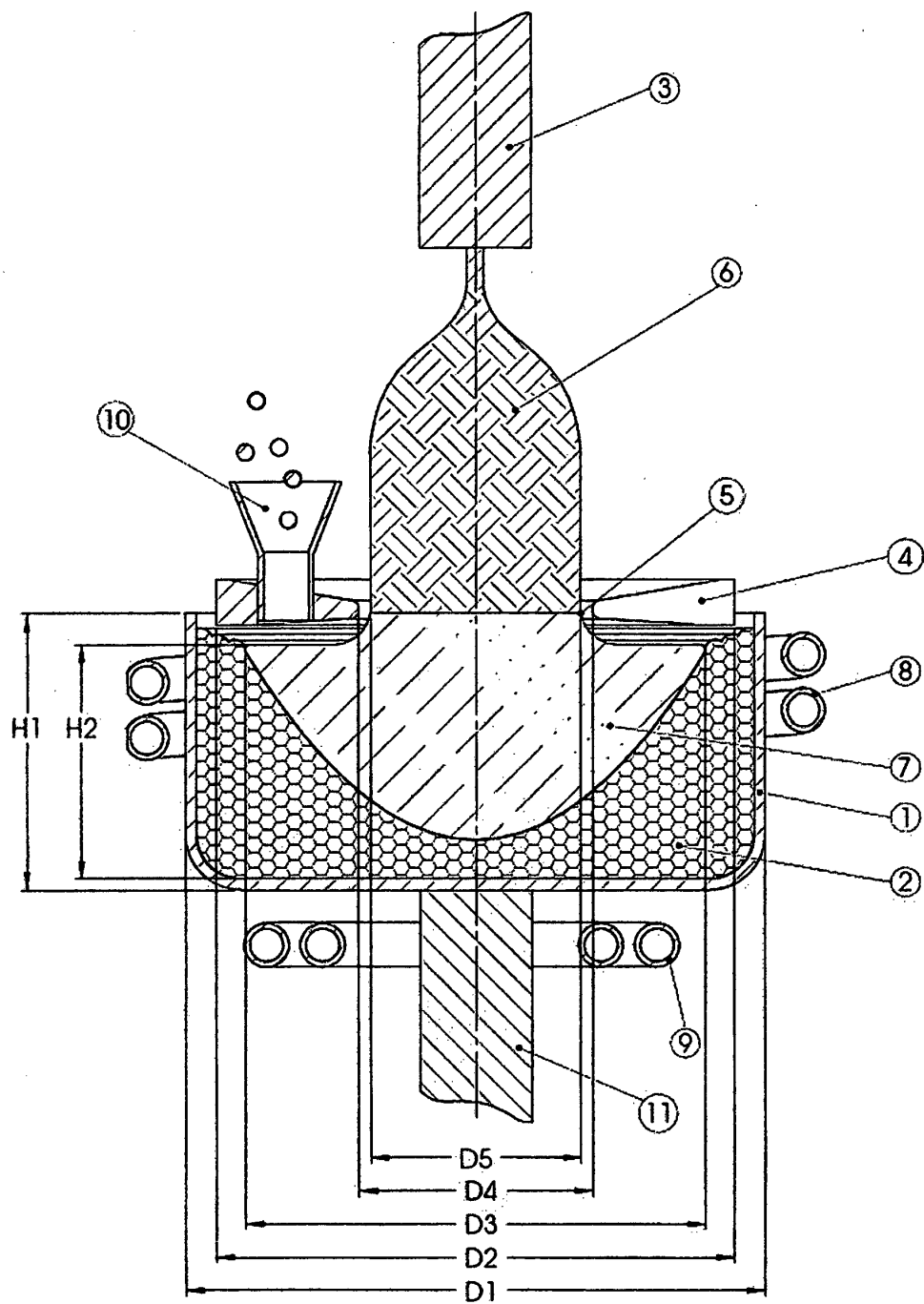


Fig. 1