

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 683 973**

51 Int. Cl.:

H01B 13/00 (2006.01)

H01B 12/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.01.2013** **PCT/KR2013/000369**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.07.2013** **WO13109065**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2013** **E 13738046 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018** **EP 2805336**

54 Título: **Cable superconductor y método de formación del mismo**

30 Prioridad:

17.01.2012 KR 20120005358

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

01.10.2018

73 Titular/es:

SUNAM CO. LTD. (100.0%)
103 Seongeunri Wongok-myeon
Anseong-si, Gyeonggi-do 456-812, KR

72 Inventor/es:

MOON, SEUNG HYUN;
LEE, JAE HUN y
LEE, HUN-JU

74 Agente/Representante:

SUGRAÑES MOLINÉ, Pedro

ES 2 683 973 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

Cable superconductor y método de formación del mismo

5 Campo técnico

La presente divulgación se refiere a un cable superconductor.

Técnica anterior

10 Un superconductor pierde toda su resistencia por debajo de una temperatura crítica y una gran cantidad de corriente eléctrica puede pasar a su través sin pérdidas. Recientemente, se ha estudiado un cable superconductor de alta temperatura de segunda generación (conductor revestido) que incluye una película superconductora sobre un sustrato de metal o sobre una capa fina de amortiguación que incluye una estructura texturada biaxialmente alineada. En comparación con un conductor metálico, el cable superconductor de alta temperatura de segunda generación puede transmitir mucha más corriente eléctrica por área unidad de su sección transversal. El cable superconductor de alta temperatura de segunda generación se puede usar en cables superconductores de transmisión y distribución de energía con baja pérdida de energía, un dispositivo de formación de imágenes de resonancia magnética (MRI), un tren de levitación magnética, una nave de propulsión de superconductores, etc.

Divulgación de la invención**Problema técnico**

25 La presente divulgación proporciona cables superconductores que incluyen centros de anclaje del flujo magnético.

La presente divulgación proporciona también métodos de formación de un cable superconductor que incluye centros de anclaje del flujo magnético.

30 Solución al problema

Realizaciones del concepto inventivo proporcionan métodos de formación de cables superconductores, incluyendo los métodos: formar una capa base de anclaje sobre un sustrato; depositar una película de precursor de superconductor sobre el sustrato formado con la capa base de anclaje; y someter a tratamiento térmico al sustrato con la película de precursor de superconductor depositada, para formar una película superconductora que incluye centros de anclaje del flujo magnético sobre el sustrato, en el que los centros de anclaje del flujo magnético comprenden al menos un elemento incluido en la capa base de anclaje, y al menos un elemento incluido en la película de precursor de superconductor.

40 La deposición de la película de precursor de superconductor puede incluir proporcionar un elemento de las tierras raras, bario y cobre sobre el sustrato.

La película de precursor de superconductor se puede formar mediante un proceso de co-evaporación reactiva.

45 La capa base de anclaje puede comprender óxido de zirconio, zirconio, óxido de estaño, óxido de titanio, titanio, óxido de hafnio, hafnio, óxido de itrio, óxido de cerio o cerio.

Los centros de anclaje del flujo magnético pueden incluir óxido de zirconio y bario, óxido de titanio y bario, óxido de hafnio y bario u óxido de cerio y bario.

50 El sustrato puede incluir un metal, o una capa de amortiguación de óxido que tiene una estructura texturada sobre un sustrato de metal.

55 Algunas realizaciones del concepto inventivo proporcionan cables superconductores que incluyen: una capa base de anclaje sobre un sustrato; y una película superconductora directamente en contacto con la capa base de anclaje y que contiene centros de anclaje del flujo magnético dispuestos verticalmente sobre el sustrato, en la que los centros de anclaje del flujo magnético comprenden al menos un elemento incluido en la capa base de anclaje, y al menos un elemento incluido en la película superconductora.

60 La película superconductora puede incluir un elemento de las tierras raras, bario y cobre.

Los centros de anclaje del flujo magnético incluyen óxido de un metal y bario.

65 El sustrato puede incluir un metal, o una capa de amortiguación de óxido que tiene una estructura texturada sobre un sustrato de metal.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, los centros de anclaje del flujo magnético se pueden formar fácilmente.

5 Breve descripción de los dibujos

Las FIGS. 1 a 5 son vistas transversales que ilustran un método de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones del presente concepto inventivo;

10 La FIG. 6 es un diagrama de fases de un sistema de óxido de itrio, bario y cobre (YBCO);

La FIG. 7 es un diagrama de fases que ilustra un método de formación de un cable superconductor de acuerdo con una realización ilustrativa del concepto inventivo;

15 La FIG. 8 es un diagrama de fases que ilustra un método de formación de un cable superconductor de acuerdo con otra realización ilustrativa del concepto inventivo;

La FIG. 9 es un diagrama de bloques que ilustra un aparato de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo;

20 La FIG. 10 es una vista transversal que ilustra una unidad de deposición de película del aparato de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo;

La FIG. 11 es una vista en planta que ilustra un aparato de bobina a bobina de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo;

25 La FIG. 12 es una vista transversal que ilustra una unidad de tratamiento térmico de un aparato de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo; y

30 La FIG. 13 es un gráfico que ilustra las propiedades físicas y eléctricas de un cable superconductor formado mediante un método de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo.

Modo de la invención

35 Se describirán a continuación realizaciones ilustrativas del concepto inventivo con más detalle con referencia los dibujos adjuntos. No obstante, el concepto inventivo puede estar representado de diferentes formas y no se debe interpretar que está limitado a las realizaciones expuestas en el presente documento. Por el contrario, estas realizaciones se proporcionan para que esta divulgación sea minuciosa y completa, y transmitirán por completo el alcance del concepto inventivo a los expertos en la materia. Asimismo, puesto que se describen realizaciones

40 ilustrativas, los números de referencia divulgados de acuerdo con la secuencia de descripción no están limitados a la secuencia.

En las siguientes realizaciones, se describirán a modo ilustrativo el YBCO y el SmBCO como ejemplos de superconductores, si bien el concepto inventivo no se limita a los mismos. En las realizaciones ilustrativas del

45 concepto inventivo, si bien se han descrito el YBCO y el SmBCO como ejemplos de los superconductores, el concepto inventivo no se limita al superconductor YBCO y al superconductor SmBCO. El superconductor puede comprender $\text{Re}_{1+x}\text{Ba}_{2-x}\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$ en el que $0 \leq x \leq 0,5$, $0 \leq y \leq 0,5$. El elemento de las tierras raras (Re) puede incluir itrio (Y), elementos de las series de los lantánidos, o una combinación de los mismos. Los elementos de las series de los lantánidos incluyen lantano (La), neodimio (Nd), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Ga), terbio (Tb),

50 disprosio (Dy), holmio (Ho), erbio (Er), tulio (Tm), iterbio (Yb), lutecio (Lu), etc.

Las FIGS. 1 a 5 son vistas transversales que ilustran un método de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones del presente concepto inventivo La FIG. 6 es un diagrama de fases de un sistema de óxido de itrio, bario y cobre (YBCO). Se describirá brevemente un método de formación de un cable superconductor

55 de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo con referencia a las FIGS. 1 a 5.

Con referencia a la FIG. 1, se proporciona un sustrato 10. El sustrato 10 puede tener una estructura texturada biaxialmente alineada. El sustrato 10 puede ser un sustrato de metal. El sustrato de metal 10 puede incluir un metal de red cristalina cúbica, tal como níquel (Ni), aleaciones de níquel (Ni-W, Ni-Cr, Ni-Cr-W, etc.), un acero inoxidable, plata (Ag), aleaciones de plata, materiales compuestos de níquel-plata que están laminados en caliente. El sustrato

60 10 puede tener forma de cinta para un conductor revestido. Por ejemplo, el sustrato 10 puede ser un alambre de metal.

Con referencia a la FIG. 2, se puede formar una capa IBAD 20 sobre el sustrato 10. La capa IBAD 20 puede incluir una capa de bloqueo de la difusión (por ejemplo, Al_2O_3), una capa base (por ejemplo, Y_2O_3), y una capa de MgO que están apiladas de forma secuencial. La capa IBAD 20 se forma mediante un método de IBAD. Una capa crecida

65

epitaxialmente de MgO homoepitaxial se puede formar adicionalmente sobre la capa IBAD 20. Además, se puede formar una capa de amortiguación 30 sobre la capa IBAD 20. La capa de amortiguación puede incluir LaMnO_3 , LaAlO_3 o SrTiO_3 , etc. La capa de amortiguación se puede formar mediante un método de pulverización iónica. La capa IBAD 20 y la capa de amortiguación 30 pueden evitar una reacción entre el sustrato y el material superconductor sobre el sustrato y transferir propiedades cristalinas de la estructura texturada biaxialmente alineada.

Con referencia a la FIG. 3, se puede formar una capa base de anclaje 40 sobre la capa de amortiguación 30. La capa base de anclaje 40 puede incluir un material capaz de inducir la formación de centros de anclaje del flujo magnético en la película superconductora. La capa base de anclaje 40 puede incluir, por ejemplo, óxido de zirconio, zirconio, óxido de estaño, óxido de titanio, titanio, óxido de hafnio, hafnio, óxido de itrio, óxido de cerio, o cerio. Los óxidos de metal, tales como óxido de zirconio, óxido de estaño, óxido de titanio, óxido de hafnio, óxido de itrio, óxido de cerio, y similares, pueden incluir adicionalmente bario. La capa base de anclaje 40 se puede formar mediante un método de pulverización iónica o un método de haz de electrones. La capa base de anclaje 40 puede tener un espesor de aproximadamente unas pocas decenas de nanómetros.

Con referencia a la FIG. 4, se puede formar una película de precursor de superconductor 50 sobre la capa base de anclaje 40. Puede entenderse que la película de precursor de superconductor 50 está en un estado amorfo que no ha sido sometido a cristalización. La película de precursor de superconductor 50 puede incluir al menos uno de los elementos de las tierras raras (RE), cobre (Cu) y bario (Ba).

La película de precursor de superconductor 50 se puede formar mediante diversos métodos. Por ejemplo, la película de precursor de superconductor 50 se puede formar mediante un método de co-evaporación reactiva, un método de ablación por láser, un método de deposición química en fase de vapor (CVD), un método de deposición de compuestos organometálicos (MOD), o un método sol-gel.

En una realización ilustrativa, la película de precursor de superconductor 50 se puede formar mediante el método de co-evaporación reactiva. Para depositar la película de precursor de superconductor, el método de co-evaporación reactiva puede incluir proporcionar un vapor de metal que es generado mediante irradiación de un haz de electrones en crisoles que contienen al menos uno de los elementos de las tierras raras, cobre (Cu) y bario (Ba). Los elementos de las tierras raras pueden incluir itrio (Y), elementos de las series de los lantánidos, o una combinación de los mismos. Los elementos de las series de los lantánidos incluyen lantano (La), neodimio (Nd), samario (Sm), europio (Eu), gadolinio (Ga), terbio (Tb), disprosio (Dy), holmio (Ho), erbio (Er), tulio (Tm), iterbio (Yb), lutecio (Lu), etc.

En otra realización ilustrativa, la película de precursor de superconductor 50 se puede formar mediante el método de MOD. Por ejemplo, se prepara una solución del precursor del metal disolviendo acetato del elemento de las tierras raras, acetato de bario y acetato de cobre en un disolvente, evaporando y destilando la solución disuelta, y calentando a reflujo el vapor destilado. La solución del precursor del metal se puede depositar como revestimiento sobre el sustrato.

Con referencia a la FIG. 5, el sustrato 10 sobre el que se forma la película de precursor de superconductor 50 se somete a tratamiento térmico, de modo que crece epitaxialmente una película superconductora 51 sobre el sustrato 10. Mediante el tratamiento térmico, un material incluido en la capa base de anclaje 40 puede migrar a la película de precursor de superconductor 50. El material incluido en la capa base de anclaje 40 puede reaccionar rápidamente con un material incluido en la película de precursor de superconductor 50 para generar defectos 53 nanométricos. Los defectos 53 generados en la película superconductora crecida epitaxialmente 51 pueden funcionar como centros de anclaje del flujo magnético para el superconductor. Los defectos 53 se pueden disponer verticalmente en aglomerados separados entre sí sobre el sustrato 10. Los defectos 53 pueden incluir al menos un elemento incluido en la capa base de anclaje 40, y al menos un elemento (por ejemplo, Ba) incluido en la película de precursor de superconductor 50. Los defectos 53 pueden incluir un óxido de metal y bario, tal como óxido de zirconio y bario, óxido de titanio y bario, óxido de hafnio y bario u óxido de cerio y bario. Aunque los dibujos ilustran que la capa base de anclaje 40 permanece uniforme tras el tratamiento térmico, la presente invención no se limita a lo mismo. Esto es, todo el material incluido en la capa base de anclaje 40 puede migrar a los defectos 53, de modo que la capa base de anclaje 40 puede no permanecer.

Con referencia a la FIG. 6, se describirá a continuación con más detalle un tratamiento térmico de la película de precursor de superconductor 50. Por REBCO, que es la película de precursor de superconductor 50 descrita con referencia a las FIGS. 1 a 4, se puede entender que es $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$ (denominado "211" en lo sucesivo en el presente documento), RE_2O_3 (denominado "100" en lo sucesivo en el presente documento), $\text{REBa}_3\text{Cu}_2\text{O}_6$ (denominado "132" en lo sucesivo en el presente documento, y líquido (denominado "L" en lo sucesivo en el presente documento). La "L" indica un líquido que incluye Ba, Cu y O como componentes principales, en el que el RE puede estar fundido. En una región gris, aparece el REBCO que es termodinámicamente estable.

El sustrato 10 sobre el que se forma la película de precursor de superconductor 50 se somete a tratamiento térmico. Se pueden controlar una presión parcial de oxígeno y/o una temperatura del tratamiento térmico de modo que entre los componentes de descomposición del REBCO, se forme el estado líquido "L" que incluye Ba, Cu y O como componentes principales, en el que el RE puede estar fundido. En ese momento el REBCO se puede formar

mientras el sistema REBCO pasa a través de una región de coexistencia de "L" y "100" (véase la región A ilustrada en la FIG. 6). Controlando la presión parcial de oxígeno y/o una temperatura del tratamiento térmico mientras el sistema REBCO pasa a través de un límite I, se puede formar una película superconductora epitaxial estable mediante una reacción de "100" en "L" en estado líquido. Más en particular, se forman núcleos a partir del "100" que coexisten en el "L" sobre el sustrato 10 de modo que la película superconductora 51 crece epitaxialmente (véase la región B ilustrada en la FIG. 6).

Con referencia también a la FIG. 5, a partir de la película superconductora 51 se puede formar además una película residual 55 con una fase diferente sobre la película superconductora 51 de REBCO. En la película superconductora 51 de REBCO, una relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre es de aproximadamente 1:2:3, y en la película residual 55 una relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre puede ser diferente que en la película superconductora 51 de REBCO. Esto es debido a que mientras la película superconductora 51 de REBCO crece epitaxialmente a partir de "L" y "100", el precursor de superconductor permanece sobre la película superconductora 51 de REBCO. Por tanto, la capa residual 55, que incluye un óxido no estequiométrico que es una traza del precursor de superconductor, se puede formar sobre la película superconductora 51 de REBCO finalmente formada. La película residual 55 incluye al menos una fase que tiene una estructura cristalina diferente a la de la película superconductora 51 de REBCO. La película superconductora 51 de REBCO puede incluir adicionalmente granos de "100".

En el método de formación de la película superconductora 51 de REBCO descrita anteriormente, se puede formar la película de precursor de superconductor 50 de modo que una relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre sea de aproximadamente $1:x:3$ ($0 < x < 2$). Por ejemplo, se puede formar la película de precursor de superconductor de modo que la relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre sea de aproximadamente 1:1,5:3. Puesto que el precursor de REBCO cuya relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre es de aproximadamente 1:2:3 generalmente se descompone al aire, el precursor de REBCO que incluye la relación de aproximadamente 1:2:3 es inestable. A diferencia del precursor de REBCO que incluye una relación de aproximadamente 1:2:3, el precursor de REBCO cuya relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre es de aproximadamente 1:1,5:3 es estable al aire. Por tanto, aunque la película de precursor de REBCO que tiene la relación de aproximadamente 1:2:3 debe estar al vacío antes del proceso de tratamiento térmico de la película de precursor de REBCO, la película de precursor de REBCO que tiene la relación de aproximadamente 1:1,5:3 puede estar expuesta al aire antes del proceso de tratamiento térmico de la película de precursor de REBCO. La película de precursor de REBCO que tiene la relación de aproximadamente $1:x:3$ ($1 < x < 2$) puede llegar a ser la película superconductora 51 de REBCO cuya relación del elemento de las tierras raras, bario y cobre es de aproximadamente 1:2:3 y la película residual 55 cuya relación de un elemento de las tierras raras, bario y cobre es diferente de la de la película superconductora 51 de REBCO, mediante el proceso de tratamiento térmico descrito anteriormente. En este caso, la película residual 55 puede incluir BaCu_2O_2 (denominado "012" en lo sucesivo en el presente documento) en estado sólido. El "100" se consume durante el crecimiento epitaxial de la película superconductora 51 de REBCO.

Un método del cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo se describirá más detalladamente con referencia a los ejemplos de diversas rutas de tratamiento térmico en el diagrama de fases de la FIG. 6. Las FIGS. 7 y 8 son diagramas de fase que ilustran un método para formar un cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo.

Se describirán métodos de formación de cables superconductores de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo con referencia a la FIG. 7.

Tal como se ha descrito previamente, se forma una película de precursor de superconductor sobre el sustrato. La película de precursor de superconductor, REBCO, se entiende que puede descomponerse en "100" y "L". "L" está en estado sólido a baja temperatura, y un componente principal del sólido es "012". Esto es, durante el proceso de descomposición del REBCO aparece un "012" sólido.

El sustrato sobre el que se deposita la película de precursor de superconductor se somete a tratamiento térmico. El proceso de tratamiento térmico se puede efectuar de acuerdo con una ruta del diagrama de fases mostrado en la FIG. 7. El proceso de tratamiento térmico de acuerdo con la ruta 1 se puede efectuar en una presión parcial de oxígeno relativamente baja (por ejemplo, de aproximadamente 1×10^{-5} Torr (0,00133 Pa) a 1×10^{-4} Torr (0,0133 Pa)). Una temperatura del proceso de tratamiento térmico se puede aumentar desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 800 °C.

Se pueden controlar una presión parcial de oxígeno y/o una temperatura del tratamiento térmico de acuerdo con la ruta 2 del diagrama de fases mostrado en la FIG. 7 de modo que el "012" de los componentes de descomposición del REBCO esté en estado líquido. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno se puede aumentar hasta aproximadamente 1×10^{-2} Torr (1,33 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa) (1 Torr = 133,32 Pa).

La temperatura del proceso de tratamiento térmico puede ser, por ejemplo, superior a 800 °C. En ese momento, se puede entender que el REBCO incluye la coexistencia de "L" y "100".

Puesto que la presión parcial de oxígeno y/o la temperatura del tratamiento térmico se controlan a lo largo de la ruta 3 del diagrama de fases mostrado en la FIG. 7, la cual cruza el límite I, se puede formar una película de REBCO epitaxial estable a partir de "L". Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno puede estar en un intervalo de aproximadamente 5×10^{-2} Torr (6,65 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa). La temperatura del tratamiento térmico se puede reducir hasta aproximadamente 800 °C o menos, por ejemplo, hasta temperatura ambiente. Más en particular, los núcleos se generan a partir de "L" y "100" que coexisten en estado líquido sobre el sustrato de modo que la película superconductora de REBCO crece epitaxialmente.

La FIG. 8 es un diagrama de fases que ilustra un método de formación de un cable superconductor de acuerdo con otra realización ilustrativa del concepto inventivo.

Se describirán métodos de formación de cables superconductores de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo con referencia a la FIG. 8. Se omitirá cualquier explicación repetitiva relativa a las características técnicas y funciones que sean las mismas que aquellas de las realizaciones ilustrativas anteriormente descritas.

Del mismo modo que las realizaciones ilustrativas descritas anteriormente, se forma una película de precursor de superconductor sobre el sustrato. El sustrato sobre el que se forma la película de precursor de superconductor se somete a tratamiento térmico. El proceso de tratamiento térmico se puede efectuar de acuerdo con una ruta del diagrama de fases ilustrado en la FIG. 8. Por ejemplo, el proceso de tratamiento térmico de acuerdo con la ruta 1 se puede efectuar a una presión parcial de oxígeno de aproximadamente 5×10^{-2} Torr (6,65 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa). La temperatura del tratamiento térmico se puede aumentar desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 800 °C o más. La presión parcial de oxígeno y/o la temperatura del tratamiento térmico se controlan de acuerdo con la ruta 1 de modo que el "012" pueda estar en estado líquido. En ese momento, se puede entender que el REBCO incluye la coexistencia de "L" y "100" en estado líquido.

Puesto que la presión parcial de oxígeno y/o la temperatura del tratamiento térmico se controlan de acuerdo con una ruta 2 del diagrama de fases mostrado en la FIG. 8, la cual cruza el límite I, se puede formar una película superconductora de REBCO estable. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno puede estar en un intervalo de aproximadamente 5×10^{-2} Torr (6,65 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa). La temperatura del tratamiento térmico se puede reducir hasta aproximadamente 800 °C o menos, por ejemplo, hasta temperatura ambiente. Más en particular, los núcleos se generan a partir de "100" que coexiste con "L" en estado líquido sobre el sustrato de modo que la película superconductora de REBCO crece epitaxialmente.

Los procesos de crecimiento de la película superconductora de REBCO de acuerdo con realizaciones ilustrativas descritas anteriormente son similares a una epitaxia en fase líquida (LPE). Puesto que las FIGS. 6, 7 y 8 son diagramas de fase de un sistema YBCO, la presión parcial de oxígeno y la temperatura del tratamiento térmico pueden variar de acuerdo con los elementos de las tierras raras.

Se describirá brevemente un sistema de formación de un cable superconductor de acuerdo con una realización ilustrativa del concepto inventivo con referencia a las FIGS. 6 a 9. El sistema de formación del cable superconductor descrito con referencia a las FIGS. 6 a 9 es una realización ilustrativa del concepto inventivo y el concepto inventivo no se limita al sistema de formación del cable superconductor descrito con referencia a las FIGS. 6 a 9.

La FIG. 9 es un diagrama de bloques que ilustra un aparato de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del presente concepto inventivo. Con referencia a la FIG. 9, un aparato de formación de un cable superconductor incluye una unidad de deposición de película 100, una unidad de tratamiento térmico 200 y una unidad de suministro/recogida de cable 300. La unidad de deposición de película 100 forma una película de precursor de superconductor sobre un sustrato. La unidad de tratamiento térmico 200 trata térmicamente el sustrato sobre el que se forma el precursor de superconductor. Una tubería de vacío 20 se puede proporcionar adicionalmente entre la unidad de deposición de película 100, la unidad de tratamiento térmico 200 y la unidad de suministro/recogida de cable 300. La tubería de vacío 20 mantiene un estado de vacío y el sustrato 10 del cable pasa a través de la tubería de vacío 20.

La FIG. 10 es una vista transversal que ilustra la unidad de deposición de película 100 del aparato de formación de un cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo. Con referencia a las FIGS. 9 y 10, la unidad de deposición de película 100 incluye una cámara de proceso 110, un aparato de bobina a bobina 120, y un miembro de deposición 130. Por ejemplo, la cámara de proceso 110 proporciona un espacio en el que se lleva a cabo un proceso de deposición para formar la película de precursor de superconductor sobre el sustrato 10. La cámara de proceso 110 incluye una primera pared lateral 111 y una segunda pared lateral 112 enfrentadas entre sí. La primera pared lateral 111 se proporciona con una pieza de entrada 113 que está conectada a la unidad de suministro/recogida de cable 300. La segunda pared lateral 112 se proporciona con una pieza de salida 114 que está conectada a la unidad de tratamiento térmico 200. El sustrato 10 es transportado desde la unidad de suministro/recogida de cable 300 hasta entrar en la cámara de proceso 110 a través de la pieza de entrada 113. Después, el sustrato 10 sale de la cámara de proceso 110 a través de la pieza de salida 114 para entrar en la unidad de tratamiento térmico 200.

El miembro de deposición 130 se puede proporcionar bajo el dispositivo de bobina a bobina 120. El miembro de deposición 130 proporciona vapor del material superconductor a una superficie del sustrato 10. En una realización ilustrativa, el miembro de deposición 130 puede proporcionar la película de precursor de superconductor sobre el sustrato 10, usando el método de co-evaporación. El miembro de deposición 130 puede incluir las fuentes de vapor de metal 131, 132 y 133 que proporcionan vapor de metal por debajo del sustrato 10 usando un haz de electrones. Las fuentes de vapor de metal pueden incluir fuentes para el elemento de las tierras raras, el bario y el cobre.

La FIG. 11 es una vista en planta que ilustra un aparato de bobina a bobina de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo. Con referencia a las FIGS. 9 y 10, el aparato de bobina a bobina incluye un primer miembro de bobina 121 y un segundo miembro de bobina 122. El primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122 enfrentados entre sí están separados uno de otro. El miembro de deposición 130 está dispuesto por debajo del sustrato el cual está dispuesto entre el primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122. El primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122 hacen girar múltiples veces el sustrato 10 en una región en la que se deposita la película de precursor de superconductor. Por ejemplo, el sustrato 10 se desplaza entre el primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122 y gira por la acción del primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122. El primer miembro de bobina 121 está adyacente a la primera pared lateral 111 de la cámara de proceso 110 y el segundo miembro de bobina 122 está adyacente a la segunda pared lateral 112 de la cámara de proceso 110. Una estructura del primer miembro de bobina 121 puede ser sustancialmente la misma que la del segundo miembro de bobina 122. El primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122 se pueden extender en una dirección que cruza la dirección de desplazamiento del sustrato 10.

Cada uno de los primer y segundo miembros de bobina 121 y 122 puede incluir bobinas dispuestas a lo largo de la dirección de extensión del primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122 y combinarse entre sí. El sustrato 10 se hace girar mediante las bobinas. Cada una de las bobinas puede ser impulsada independientemente y se hace girar mediante fricción con el sustrato 10. Cuando se mira en un plano, el segundo miembro 122 puede estar ligeramente desplazado con respecto al primer miembro de bobina 121 de modo que el sustrato 10 se haga girar múltiples veces mediante el primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122. El sustrato 10 se desplaza entre el primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122 a lo largo de la dirección de extensión del primer y el segundo miembros de bobina 121 y 122.

La FIG. 12 es una vista transversal que ilustra la unidad de tratamiento térmico 300 del aparato de formación del cable superconductor de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo. Con referencia a la FIG. 12, la unidad de tratamiento térmico 200 puede incluir un primer recipiente 210, un segundo recipiente 220 y un tercer recipiente 230 que están adyacentes entre sí de forma secuencial. El sustrato 10 puede pasar sucesivamente por el primer recipiente 210, el segundo recipiente 220 y el tercer recipiente 230. El primer recipiente 210 y el tercer recipiente 230 están separados entre sí. Se puede disponer una porción central del segundo recipiente 220 para que corresponda con la región de separación entre el primer y el tercer recipientes 210 y 230. El segundo recipiente 220 puede rodear una porción del primer recipiente 210 y una porción del tercer recipiente 230. El primer recipiente 210, el segundo recipiente 220 y el tercer recipiente 230 pueden incluir un tubo esencialmente cilíndrico que se forma usando cuarzo. El primer recipiente 210 puede estar conectado con la pieza de salida 114 de la unidad de deposición de película 100. El primer recipiente 210 puede incluir una primera pieza de entrada 211 y una primera pieza de salida 212 para el paso del sustrato 10, las cuales se forman respectivamente en ambos extremos del primer recipiente 210, y el tercer recipiente 230 puede incluir una segunda pieza de entrada 231 y una segunda pieza de salida 232 para el paso del sustrato 10, las cuales se forman respectivamente en ambos extremos del tercer recipiente 230. El sustrato 10 entra en el primer recipiente 210 a través de la primera pieza de entrada 211 del primer recipiente 210 y sale del primer recipiente 210 a través de la primera pieza de salida 212 del primer recipiente 210. A continuación, después de que el sustrato 10 pase a través de la porción central del segundo recipiente 220, el sustrato 100 entra en el tercer recipiente 230 a través de la segunda pieza de entrada 231 y sale del tercer recipiente 230 a través de la segunda pieza de salida 232.

El primer, el segundo y el tercer recipientes 210, 220 y 230 pueden incluir respectivamente los orificios de bombeo 214, 224 y 234. Por tanto, el primer, el segundo y el tercer recipientes 210, 220 y 230 pueden mantener de forma independiente un estado de vacío. Puesto que se proporciona oxígeno a través de las líneas de suministro de oxígeno 215, 225 y 235, la presión parcial de oxígeno del primer recipiente 210, la presión parcial de oxígeno del segundo recipiente 220 y la presión parcial de oxígeno del tercer recipiente 230 se pueden controlar de forma independiente. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno del primer recipiente 210 puede ser menor que la presión parcial de oxígeno del tercer recipiente 230, y la presión parcial de oxígeno del segundo recipiente 220 puede estar entre la presión parcial de oxígeno del primer recipiente 210 y la presión parcial de oxígeno del tercer recipiente 230. En el segundo recipiente 220, yendo desde una primera porción adyacente al primer recipiente 210 hasta una segunda porción adyacente al tercer recipiente 230, la presión parcial de oxígeno puede aumentar.

El primer recipiente 210, el segundo recipiente 220 y el tercer recipiente 230 se pueden proporcionar en un horno que rodea al primer recipiente 210, al segundo recipiente 220 y al tercer recipiente 230. La región de separación del primer recipiente 210 y el tercer recipiente 230 se puede posicionar para que se corresponda con una porción central del horno. De acuerdo con esto, una temperatura en la porción central del segundo recipiente 220 puede ser mayor que las temperaturas del primer y el tercer recipientes 210 y 230. La temperatura en el primer recipiente 210 y la

temperatura en el tercer recipiente 230 pueden disminuir a medida que se alejan de la porción central del segundo recipiente 220.

- El proceso de tratamiento térmico descrito con referencia a la FIG. 7 se describirá con la unidad de tratamiento térmico 200 ilustrada en la FIG. 12. Mientras el sustrato 10 pasa a través del primer recipiente 210 de la unidad de tratamiento térmico 200, se puede efectuar el proceso de tratamiento a lo largo de la ruta 1. El primer recipiente 210 puede tener una presión parcial de oxígeno relativamente baja. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno del primer recipiente 210 puede estar en un intervalo de aproximadamente 1×10^{-5} Torr (0,00133 Pa) a aproximadamente 1×10^{-4} Torr (0,0133 Pa). Yendo desde la primera pieza de entrada 211 hasta la primera pieza de salida 212, la temperatura del primer recipiente 210 puede aumentar. Por ejemplo, en la primera pieza de salida 212, la temperatura del primer recipiente 210 puede ser de aproximadamente 800°. Mientras el sustrato 10 pasa a través del segundo recipiente 220 de la unidad de tratamiento térmico 200, se puede efectuar el proceso de tratamiento a lo largo de la ruta 2. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno del segundo recipiente 220 puede estar en un intervalo de aproximadamente 1×10^{-2} Torr (1,33 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa). En el segundo recipiente 220, yendo desde una primera porción adyacente al primer recipiente 210 hasta una segunda porción adyacente al tercer recipiente 230, la presión parcial de oxígeno puede aumentar. La temperatura en la porción central del segundo recipiente 220 puede ser igual o superior a aproximadamente 800 °C. Mientras el sustrato 10 pasa a través de la segunda porción del segundo recipiente 220 y el tercer recipiente 230 de la unidad de tratamiento térmico 200, se puede efectuar el proceso de tratamiento a lo largo de la ruta 3. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno del tercer recipiente 230 puede estar en un intervalo de aproximadamente 5×10^{-2} Torr (6,65 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa). En el tercer recipiente 230, yendo desde la segunda pieza de entrada 231 hasta la segunda pieza de salida 232, la temperatura puede disminuir. Por ejemplo, en el tercer recipiente 230 la temperatura en la segunda pieza de entrada 221 puede ser de aproximadamente 800 °C.
- El proceso de tratamiento térmico descrito con referencia a la FIG. 8 se describirá con la unidad de tratamiento térmico 200 ilustrada en la FIG. 12. El primer, el segundo y el tercer recipientes 210, 220 y 230 están contruidos para mantener el estado de vacío no de forma independiente sino dependiente. En una realización ilustrativa, el primer, el segundo y el tercer recipientes 210, 220 y 230 pueden mantener el estado de vacío usando un único orificio de bombeo. En otra realización ilustrativa, el primer, el segundo y el tercer recipientes 210, 220 y 230 pueden estar contruidos en forma de un único recipiente cilíndrico.

- Mientras el sustrato 10 se desplaza desde la pieza de entrada de la unidad de tratamiento térmico 200 hasta la porción central de la unidad de tratamiento térmico 200 de la unidad de tratamiento térmico 200, se puede efectuar el proceso de tratamiento a lo largo de la ruta 1. Mientras el sustrato 10 se desplaza desde la porción central de la unidad de tratamiento térmico 200 hasta la pieza de salida de la unidad de tratamiento térmico 200, se puede efectuar el proceso de tratamiento a lo largo de la ruta 2. Por ejemplo, la presión parcial de oxígeno de la unidad de tratamiento térmico 200 puede estar en un intervalo de aproximadamente 1×10^{-2} Torr (1,33 Pa) a aproximadamente 3×10^{-1} Torr (39,9 Pa). La temperatura en la porción central de la unidad de tratamiento térmico 200 puede ser igual o superior a aproximadamente 800 °C. En la unidad de tratamiento térmico 200, yendo desde la porción central a la pieza de entrada y desde la porción central a la pieza de salida, la temperatura puede disminuir.

- En la realización ilustrativa descrita anteriormente, aunque la unidad de deposición de película 100, la unidad de tratamiento térmico 200 y la unidad de suministro/recogida de cable 300 estén contruidas de forma individual de modo que el sustrato sea transportado sucesivamente, el concepto inventivo no está limitado a la realización ilustrativa. Por ejemplo, la unidad de suministro/recogida de cable se puede proporcionar a la unidad de deposición de película 100 y a la unidad de tratamiento térmico 200. Una bobina enrollada con el sustrato 10 se proporciona a la unidad de suministro/recogida de cable de la unidad de deposición de película 100. La unidad de deposición de película 100 forma la película de precursor de superconductor sobre el sustrato 10. La unidad de deposición de película 100 puede tener una estructura que es diferente a la de la realización ilustrativa descrita anteriormente. Por ejemplo, la unidad de deposición de película 100 puede ser para la deposición de compuestos organometálicos (MOD). La bobina enrollada con el sustrato sobre el que se forma la película de precursor de superconductor está separada de la unidad de deposición de película 100. El sustrato 10 sobre el que se forma la película de precursor de superconductor se puede proporcionar a la unidad de tratamiento térmico 200. A continuación, el sustrato sobre el que se forma la película de precursor de superconductor se somete a tratamiento térmico.

- La FIG. 13 ilustra las propiedades de la corriente crítica bajo un campo magnético externo de cables superconductores formados mediante métodos de acuerdo con realizaciones ilustrativas del concepto inventivo, y de un cable superconductor formado mediante un método general. Más en particular, la curva (a) de la FIG. 13 corresponde a un caso en el que una capa base de anclaje incluye hafnio, la curva (b) corresponde a un caso en el que una capa base de anclaje incluye zirconio, y la curva (c) corresponde a un caso de un cable superconductor formado mediante un método general. Un material superconductor en esta medición era SmBCO, la temperatura del cable superconductor era de 77 K, y el campo magnético era de 6300 Gauss (0,63 T). El campo magnético se mantuvo en el valor constante, y se midió la corriente crítica mientras variaba la dirección del campo magnético. En el dibujo, el ángulo "0" indica que la dirección del campo magnético es paralela a la superficie del cable superconductor, y el ángulo "90" indica que la dirección del campo magnético es vertical respecto a la superficie del cable superconductor. La corriente crítica de los cables superconductores de acuerdo con el concepto inventivo

variaba en un 20 % de acuerdo con los ángulos, mientras que la corriente crítica del cable superconductor formado mediante el método general variaba por encima del 50 %. Cuando una corriente por encima de la corriente crítica fluye a través del cable superconductor, se pierde la superconductividad del mismo. En dispositivos energéticos tales como un motor, un generador, etc., la corriente que fluye a su través genera un campo magnético, y es difícil controlar la dirección del campo magnético generado. Por tanto, la corriente crítica del cable superconductor se determina mediante el valor más pequeño de acuerdo con los ángulos. Puesto que los cables superconductores de acuerdo con el concepto inventivo tienen poca variación de la corriente crítica, se pueden aplicar ventajosamente a los dispositivos energéticos.

- 5
- 10 De acuerdo con la presente invención, los centros de anclaje del flujo magnético se pueden formar fácilmente.

La materia objeto divulgada anteriormente se ha de considerar ilustrativa y no restrictiva, y se pretende que las reivindicaciones adjuntas cubran todas estas modificaciones, mejoras, y otras realizaciones, las cuales caen dentro del espíritu y el alcance del concepto inventivo. Así pues, hasta la máxima extensión permitida por la ley, el alcance del concepto inventivo ha de ser determinado mediante la interpretación más amplia permitida de las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes, y no debe estar restringido o limitado por la descripción previamente detallada.

- 15

REIVINDICACIONES

1. Un método de formación de un cable superconductor, que comprende:
formar una capa base de anclaje sobre un sustrato, en el que la capa base de anclaje comprende hafnio;
5 depositar una película de precursor de superconductor sobre el sustrato formado con la capa base de anclaje; y
someter a tratamiento térmico el sustrato con la película de precursor de superconductor depositada, de modo que
se forma una película superconductora que incluye centros de anclaje del flujo magnético,
en el que los centros de anclaje del flujo magnético comprenden al menos hafnio que migra desde la capa base de
anclaje durante el tratamiento térmico, y al menos un elemento incluido en la película de precursor de
10 superconductor.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la deposición de la película de precursor de superconductor comprende
proporcionar un elemento de las tierras raras, bario y cobre sobre el sustrato.
- 15 3. El método de la reivindicación 2, en el que la película de precursor de superconductor se forma mediante un
proceso de co-evaporación reactiva.
4. El método de la reivindicación 1, en el que la capa base de anclaje comprende hafnio u óxido de hafnio.
- 20 5. El método de la reivindicación 4, en el que los centros de anclaje del flujo magnético comprenden óxido de hafnio
y bario.
6. El método de la reivindicación 1, en el que el sustrato comprende un metal, o una capa de amortiguación de óxido
que tiene una estructura texturada sobre un sustrato de metal.
- 25 7. Un cable superconductor que comprende:
un sustrato;
una capa base de anclaje sobre el sustrato, en el que la capa base de anclaje comprende hafnio; y
una película superconductora directamente en contacto con la capa base de anclaje y que contiene centros de
anclaje del flujo magnético dispuestos verticalmente sobre el sustrato,
30 en el que los centros de anclaje del flujo magnético comprenden hafnio incluido en la capa base de anclaje, y al
menos un elemento incluido en la película superconductora.
8. El cable superconductor de la reivindicación 7, en el que la película superconductora comprende un elemento de
las tierras raras, bario y cobre.
- 35 9. El cable superconductor de la reivindicación 8, en el que los centros de anclaje del flujo magnético comprenden
óxido de hafnio y bario.
- 40 10. El cable superconductor de la reivindicación 7, en el que el sustrato comprende un metal, o una capa de
amortiguación de óxido que tiene una estructura texturada sobre un sustrato de metal.
11. El método de la reivindicación 1, en el que el tratamiento térmico del sustrato comprende:
aumentar una temperatura del sustrato hasta una primera temperatura superior a la temperatura ambiente a una
45 primera presión, de modo que la capa base de anclaje y el precursor de superconductor estén en estado líquido;
aumentar la presión parcial de oxígeno de una cámara de procesamiento en la que se proporciona el sustrato, de
modo que se forman los centros de anclaje del flujo magnético en el precursor de superconductor; y
disminuir la temperatura del sustrato para formar una película cerámica epitaxial a partir del precursor de
superconductor sobre el sustrato.
- 50 12. El método de la reivindicación 11, en el que la presión parcial de oxígeno de la cámara de procesamiento se
aumenta de 0,013332 Pa a 1,3332 Pa o, alternativamente, de 1×10^{-4} Torr a 1×10^{-2} Torr.

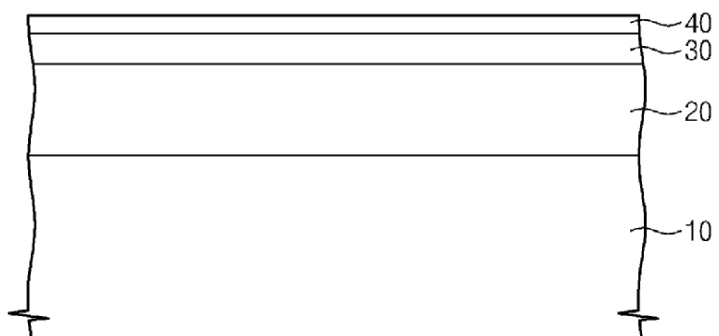
[Fig. 1]



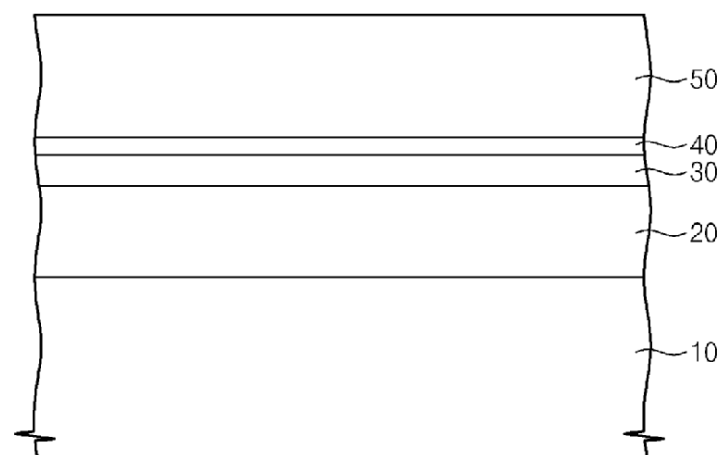
[Fig. 2]



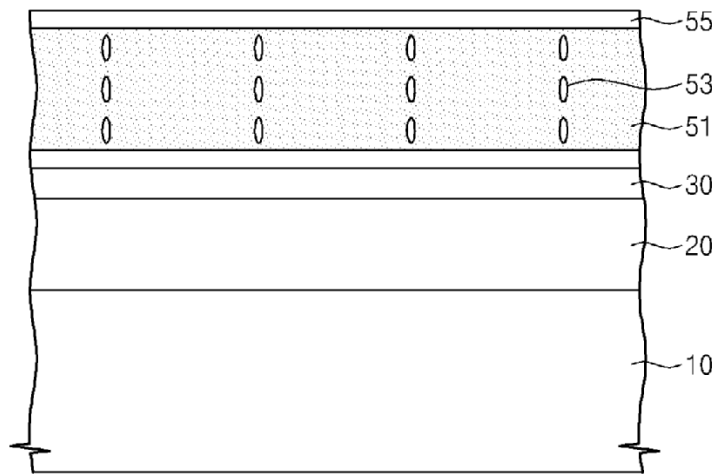
[Fig. 3]



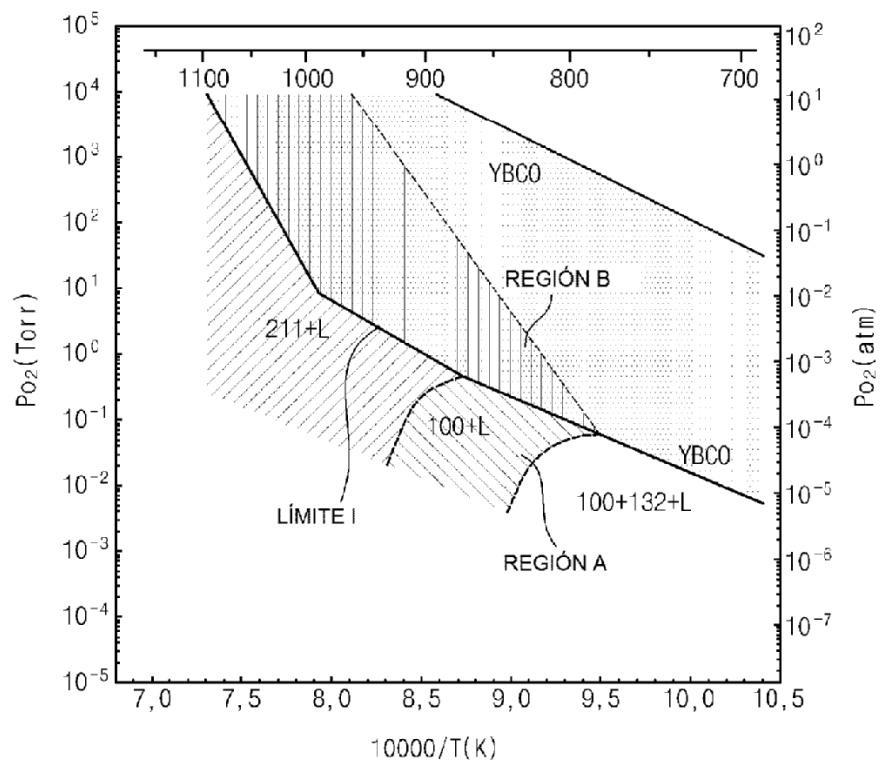
[Fig. 4]



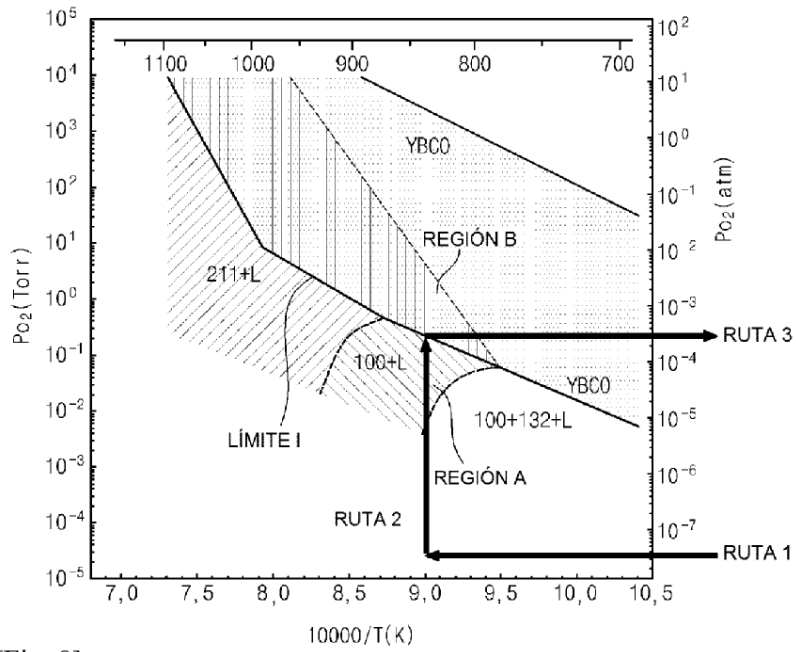
[Fig. 5]



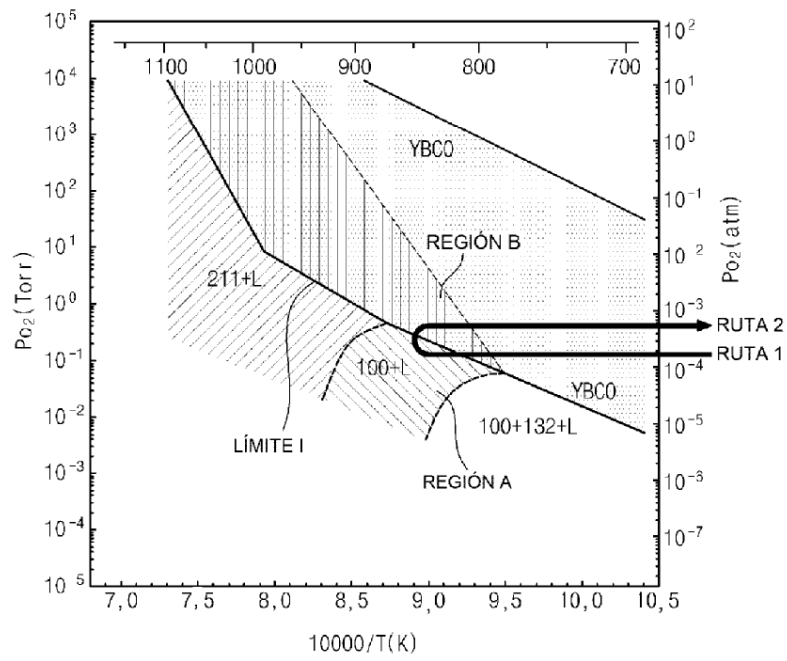
[Fig. 6]



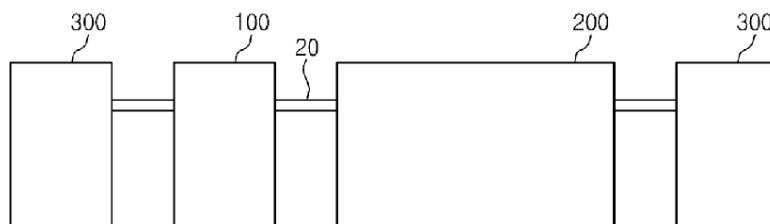
[Fig. 7]



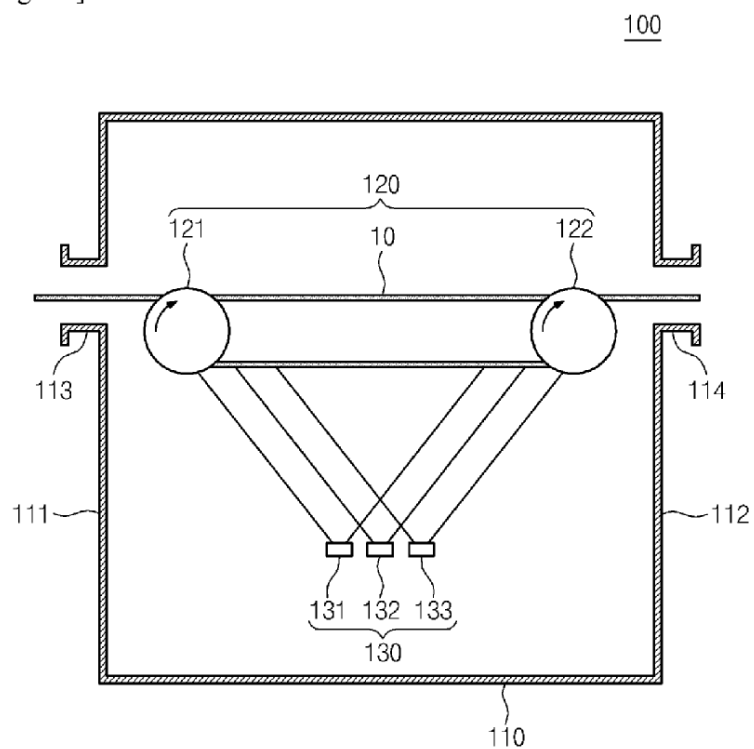
[Fig. 8]



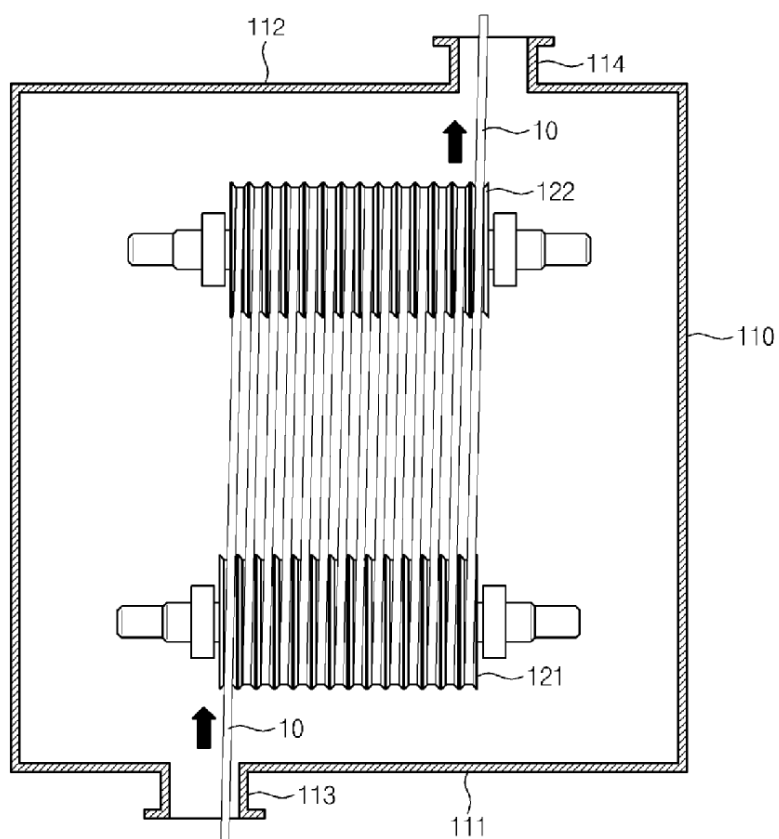
[Fig. 9]



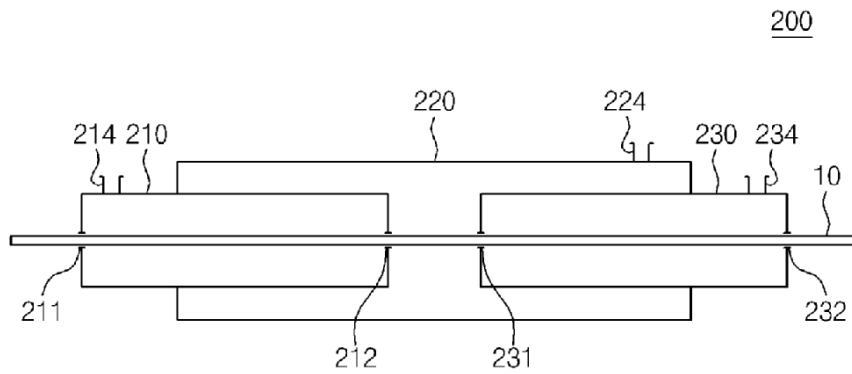
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



[Fig. 13]

