

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 558 313**

51 Int. Cl.:

H01L 39/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.06.2012 E 12171087 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2015 EP 2672537**

54 Título: **Dispositivo superconductor sin un sistema de derivación externo, en particular con una forma de anillo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.02.2016

73 Titular/es:

**BRUKER HTS GMBH (100.0%)
Ehrichstrasse 10
63450 Hanau, DE**

72 Inventor/es:

USOSKIN, ALEXANDER

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Nuria

ES 2 558 313 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 superconductor sin un sistema de derivación externo, en particular con una forma de anillo

5 La invención se refiere a un dispositivo superconductor, que comprende un conductor recubierto con un sustrato y una película superconductora de enfriamiento rápido, en el que el conductor recubierto tiene una anchura W y una longitud L , y en el que el sustrato es un sustrato metálico eléctricamente aislado de la película superconductora, o un sustrato metálico delgado, en particular, con un espesor $T \leq 100 \mu\text{m}$.

10 Un dispositivo superconductor de este tipo se conoce a partir de M. Therasse et al., Physica C 468 (2008), 2191-2196.

15 Los dispositivos superconductores se usan de diferentes maneras, en particular, para transportar corrientes eléctricas, para condicionar corrientes tal como en limitadores de corriente de fallo, o para generar campos magnéticos de alta intensidad.

20 Los dispositivos superconductores comprenden un conductor que puede, a una temperatura por debajo de la denominada temperatura crítica T_c , llevar una corriente eléctrica prácticamente sin pérdidas óhmicas. Con el fin de conseguir dicha baja temperatura, el conductor se enfría normalmente con gases licuados tales como el helio líquido. Además, para tener un estado de superconductor, también es necesario permanecer por debajo de una densidad de corriente crítica y por debajo de un campo magnético crítico con el conductor.

25 Cuando se usan materiales superconductores de alta temperatura (HTS), por ejemplo, un material de óxido de itrio, bario y cobre (YBCO), se hacen accesibles temperaturas, densidades de corriente y campos magnéticos más altos. El material HTS se usa normalmente como una película (o recubrimiento) sobre un sustrato normalmente conductor o aislante.

30 Una dificultad cuando se emplean dispositivos superconductores es el riesgo de una pérdida repentina del estado de superconducción, también llamado un enfriamiento rápido. Si una región de una película superconductora se enfría rápidamente, una elevada corriente eléctrica tiene que pasar a través de la región ahora conductora de manera normal, lo que provoca un calentamiento considerable de dicha región. La elevada corriente y el calentamiento pueden dañar el material superconductor, lo que también se conoce como agotamiento.

35 En general, es deseable que un dispositivo superconductor pueda sobrevivir a un enfriamiento rápido, de manera que pueda volver a usarse, por ejemplo, después de un reenfriamiento del dispositivo. Con el fin de evitar un agotamiento del material superconductor, se conoce la protección de las películas superconductoras con una resistencia de derivación.

40 El documento EP 2 117 056 B1 divulga un conductor recubierto alargado, que comprende una película superconductora sobre un sustrato, cubierta por un primer elemento metálico, y conectada eléctricamente a un elemento de resistencia que transcurre en paralelo al conductor alargado a través de unos contactos de puente separados de manera regular. El elemento de resistencia está separado del conductor alargado, por lo que el elemento de resistencia está térmicamente desacoplado del conductor recubierto alargado. El elemento de resistencia proporciona una protección de derivación externa.

45 En el caso de un enfriamiento rápido en la película superconductora, la mayor parte de la corriente eléctrica se reencamina alrededor de la región templada a través del elemento de resistencia, por lo que se reduce la intensidad de corriente a través del conductor alargado en la región templada. El mayor calentamiento se produce entonces en el elemento de resistencia, y no en el conductor alargado.

50 También se conoce el recubrimiento o el encapsulamiento de las películas superconductoras con una capa de estabilización normalmente conductora, por ejemplo, fabricada de cobre, compárese con el documento US 7.774.035 B2. Una vez más, en el caso de un enfriamiento rápido, la corriente eléctrica se desvía a través de la capa de estabilización con el fin de conservar las películas superconductoras. La capa de estabilización proporciona un sistema de derivación interno para un conductor recubierto.

55 Los conductores recubiertos con protección de derivación externa son difíciles de fabricar. La protección de derivación interna puede reencaminar una parte importante de la corriente eléctrica lejos de la película superconductora, pero aún el calentamiento puede dañar la película superconductora. Por lo tanto, incluso cuando se usa la protección de derivación externa e interna conocida, puede seguirse produciendo un agotamiento de la película superconductora.

60 N. Hotta et al., Journal of Physics: Conference Series 97 (2008) 012236, divulga unos elementos de película delgada de YBCO de forma rectangular preparados mediante un método MOD en sustratos de zafiro. Para uno de los elementos, se describe una longitud de 120 mm y una anchura de 30 mm, así como un espesor de película de YBCO de 180 nm. Los elementos no tienen un recubrimiento metálico de protección o una resistencia en paralelo, a

excepción de alguna toma de corriente.

5 M. Therasse et al., Physica C 468 (2008), 2191 a 2196, divulga unos conductores recubiertos de DyBCO sobre sustratos Hastalloy con una capa tampón de MgO y una capa de sellado de Ag. En una realización, se usa una longitud de 0,19 cm, una anchura de 0,1 cm, una capa de DyBCO de 300 nm y una capa de sellado de Ag de 40 nm. Para la bicapa DyBCO/Ag, se ha encontrado una resistividad de aproximadamente $15 \mu\text{Ohm}\cdot\text{cm}$.

10 Hee-Gyoun Lee et al., Physica C 445 a 448 (2006), 1099-1102 divulga una pieza de conductor recubierto en láminas finas en la dirección longitudinal en una región central. Se induce una corriente permanente en la pieza en láminas finas de superconductor. Se proponen diferentes tipos de bobinas planas preparadas a partir de la pieza en láminas finas de superconductor.

15 L. Frolek y J. Souc, Supercond. Sci. Technol. 24 (2011) 105016, divulga un transformador de corriente para la medición de la pérdida de corriente en el transporte de CA en cintas y cables superconductores. Una bobina primaria y una muestra superconductora se montan en un núcleo de hierro. La muestra superconductora se forma de una bobina de espiras a su vez cerrada.

20 El documento EP 2 192 629 A1 divulga un limitador de corriente de fallo con un dispositivo superconductor que comprende una secuencia de elementos superconductores, cada uno con un sustrato eléctricamente conductor, una película superconductora, y una capa intermedia eléctricamente aislante. En una realización, dos elementos superconductores curvados forman juntos un bucle cerrado, básicamente circular, estando las películas superconductoras orientadas de manera perpendicular al plano circular del bucle.

25 Objeto de la invención

Es el objeto de la invención reducir aún más el riesgo de un agotamiento de un dispositivo superconductor en el caso de un enfriamiento rápido en su película superconductora.

30 Breve descripción de la invención

Este objeto se consigue, de acuerdo con la invención, mediante un dispositivo superconductor como se ha mencionado al principio, caracterizado por que $0,5 \leq L/W \leq 10$, en particular $0,5 \leq L/W \leq 8$, por que el conductor recubierto forma un bucle cerrado, de manera que dicha anchura W corresponde a una altura de dicho dispositivo superconductor,

35 y por que el conductor recubierto tiene una resistividad de ingeniería ρ_{ing} que deriva la película superconductora en un estado de enfriado rápido, con $\rho_{\text{ing}} > 2,5 \Omega$, en el que $R_{\text{DerIn}} = \rho_{\text{ing}} * L/W$, con R_{DerIn} : resistencia de derivación interna del conductor recubierto.

40 Los inventores han descubierto que, sorprendentemente, cuando la longitud L del conductor recubierto (o su película superconductora, respectivamente) se elige suficientemente pequeña en comparación con la anchura W del conductor recubierto (o su película superconductora, respectivamente), es decir, hasta aproximadamente de diez veces la anchura W , y la resistividad de ingeniería ρ_{ing} se elige suficientemente grande, es decir, por encima de 2,5 ohmios, el riesgo de un agotamiento de la película superconductora en el caso de su enfriamiento rápido se hace muy bajo. Por consiguiente, un dispositivo superconductor que satisface los criterios anteriores es muy probable que sobreviva a un evento de enfriamiento rápido, de manera que pueden evitarse reemplazos caros después de un enfriamiento rápido. Una protección de derivación externa (que está térmicamente desacoplada del conductor recubierto o de su película superconductora, respectivamente, tal como unos contactos puente que unen un elemento de resistencia separado) no es necesaria y normalmente se dispensa, de acuerdo con la invención.

50 De acuerdo con la invención, el conductor recubierto forma un bucle cerrado. En consecuencia, una corriente superconductora circular puede transcurrir a través de la película superconductora con un mínimo de unión; un bucle cerrado de este tipo puede usarse en particular en un limitador de corriente de fallo de CA. La anchura W se convierte en una altura de una estructura básicamente en forma de anillo. Obsérvese que puede emplearse un elemento de puente superconductor para cerrar eléctricamente el bucle entre las dos partes de extremo de la película superconductora (correspondientes a dos uniones); obsérvese que el elemento de puente normalmente tiende un puente sobre un hueco GP mucho más corto que la longitud L en este caso, normalmente con $L \geq 10*GP$, preferentemente $L \geq 30*GP$. Como alternativa, puede preferirse prescindir de un elemento de puente y realizar la estructura de bucle cerrado con una unión directa de las partes de película superconductora en las regiones de extremo del conductor recubierto (es decir, con solo una unión), o incluso sin uniones en absoluto (véase a continuación).

65 Durante el funcionamiento, la película superconductora lleva una corriente en la dirección de la extensión de la longitud L del conductor recubierto. La resistencia de derivación interna es la resistencia (óhmica) del conductor recubierto en el estado de enfriado rápido, disponible para la corriente eléctrica que fluiría a través de la película superconductora en el estado de superconducción, excluyendo cualquier protección de derivación externa. Las trayectorias de corriente que proporcionan la resistencia de derivación interna están acopladas térmicamente al

conductor recubierto o a su película superconductora, respectivamente (tal como las capas de sustrato o recubrimiento en la película superconductora).

5 Obsérvese que el espesor de la película superconductora (en la parte superior del sustrato, perpendicular al plano del sustrato) y la altura del conductor recubierto (perpendicular al plano del sustrato) parecen ser irrelevantes para el efecto protector de la invención contra el agotamiento, al menos, siempre y cuando dicha altura esté en un intervalo razonable, tal como por debajo de 400 μm .

10 La resistividad (de derivación interna) de ingeniería ρ_{ing} de acuerdo con la invención es comparativamente alta, disponible de acuerdo con la invención, con un sustrato metálico eléctricamente aislado de la película superconductora, o con un sustrato metálico más bien delgado. En particular, la resistividad (de derivación interna) de ingeniería ρ_{ing} de acuerdo con la invención es menor que con un sustrato de metal sin aislamiento de un espesor típico (que es de aproximadamente 100 μm).

15 Una protección especialmente fiable contra el agotamiento de la película superconductora puede lograrse cuando se elige $\rho_{\text{ing}} > 5 \Omega$.

Realizaciones preferidas del dispositivo superconductor de la invención

20 Se prefiere una realización en la que $W \geq 12 \text{ mm}$, en particular, $W \geq 40 \text{ mm}$. Por otra parte, se prefiere cuando $W \geq 50 \text{ mm}$, en particular, $W \geq 100 \text{ mm}$. Estas dimensiones han demostrado buenos resultados en la práctica. Un gran anchura W permite una longitud comparativamente grande L .

25 También se prefiere una realización en la que $L \geq 10 \text{ cm}$, en particular $L \geq 36 \text{ cm}$. Por otra parte, se prefiere cuando $L \geq 50 \text{ cm}$, en particular $L \geq 100 \text{ cm}$. Con tales grandes longitudes, pueden formarse bucles cerrados con una zona de sección transversal comparablemente grande.

30 En otra realización preferida, la película superconductora comprende un material de YBCO. Las películas de YBCO han mostrado una alta inmunidad contra el daño tras el enfriamiento rápido (agotamiento) en un dispositivo superconductor de la invención.

35 Preferentemente, la longitud de una zona normal primaria generada por un enfriamiento rápido en la película superconductora de enfriamiento rápido corresponde a la longitud L del conductor recubierto o a una parte sustancial de la longitud L del conductor recubierto. Esto reduce el riesgo de un agotamiento de un dispositivo superconductor en el caso de un enfriamiento rápido en su película superconductora. Una "zona normal primaria" es una primera zona de superficie mínima que cruza la anchura W de la película superconductora de enfriamiento rápido en la primera fase del enfriamiento rápido. Esta zona presenta una conductividad normal (en particular metálica) que se forma como resultado de un enfriamiento rápido (local) completo o parcial de la película superconductora de enfriamiento rápido. La formación de la zona normal primaria es muy corta en el tiempo: para anchos de cinta de 40-40
40 100 mm este proceso tarda 10-40 microsegundos. Un desarrollo adicional de la zona normal conduce a su propagación a lo largo de la longitud de la película superconductora de enfriamiento rápido. Dentro de los primeros 100-200 microsegundos la zona normal puede extenderse a través de una distancia que corresponde de 2 a 20 anchuras W (si el conductor recubierto es lo suficientemente largo). Una parte sustancial de la longitud L del conductor recubierto es, en particular, un 25% o más de la longitud L , preferentemente el 50% o más de la longitud
45 L .

50 En una realización ventajosa, en una región de extremo del conductor recubierto, se elimina una parte del sustrato, y unas partes de película superconductora en dicha región de extremo y en una región de extremo adicional del conductor recubierto se unen entre sí, en particular, en la que se proporciona una estructura de soporte mecánica en la parte superior de la película superconductora en la región de extremo cerca de la parte eliminada. Por ejemplo, la parte del sustrato puede eliminarse mediante un decapado.

55 En otra realización ventajosa, el sustrato del conductor recubierto es de tipo anillo, en particular, del tipo anillo circular. En este caso un sustrato de bucle cerrado (por lo general de tipo metal) se prepara primero (por ejemplo, cortando una pieza de un tubo de metal continuo), y a continuación se deposita la película superconductora, por lo general en el lado exterior del anillo de sustrato cortado. En esta realización, una unión es completamente innecesaria.

60 Sin embargo, otra realización proporciona que dos regiones de extremo del conductor recubierto se doblen hacia dentro o hacia fuera, y las partes de película superconductora en dichas regiones de extremo se unan entre sí. Esta unión es específicamente simple. Por lo general, las regiones de extremo muestran en este caso una región de unión en forma de v.

65 También dentro del alcance de la presente invención hay un conjunto superconductor, que comprende una pluralidad de dispositivos superconductores de la invención dispuestos de manera coaxial de la estructura de bucle

cerrada, colocados uno dentro de otro. Por lo tanto, puede lograrse una específicamente alta capacidad para llevar corriente para las corrientes circulares en un diseño compacto.

5 Además dentro del alcance de la presente invención hay un limitador de corriente de fallo, que comprende un dispositivo superconductor de la invención o un conjunto superconductor de la invención. En un limitador de corriente de fallo se valora especialmente una alta tolerancia contra el agotamiento. El limitador de corriente de fallo puede ser de tipo resistivo (CC) o inductivo (CA).

10 En una realización preferida del limitador de corriente de fallo de la invención, el limitador de corriente de fallo es de tipo CA con una bobina primaria para llevar una corriente que debe limitarse y una bobina secundaria para acoplarse a la bobina primaria a través de un flujo magnético común, y el dispositivo superconductor o el conjunto superconductor está incluido en la bobina secundaria. Dentro de la bobina secundaria, los dispositivos superconductores en una disposición de bucle cerrado son específicamente útiles.

15 Un desarrollo adicional de dicha realización proporciona que la bobina secundaria comprenda una pluralidad de subbobinas que se realizan como dispositivos superconductores de la invención con una estructura de bucle cerrado, en el que dichos dispositivos superconductores se colocan próximos entre sí y dentro de la bobina primaria. Estas subbobinas pueden construirse con una alta relación de aspecto, lo que hace que sea más fácil adherirse a la geometría de la invención.

20 Otras ventajas pueden extraerse de la descripción y de los dibujos adjuntos. Las características mencionadas anteriormente y a continuación pueden usarse de acuerdo con la invención, ya sea individual o colectivamente en cualquier combinación. Las realizaciones mencionadas no deben entenderse como una enumeración exhaustiva sino que tienen un carácter ejemplar para la descripción de la invención.

25 Dibujos

La invención se muestra en los dibujos.

30 Figura 1 un dispositivo superconductor útil para entender la presente invención, con un conductor recubierto plano, en una vista en perspectiva esquemática;

Figura 2a un dispositivo superconductor útil para entender la presente invención en sección transversal esquemática, con un sustrato metálico y una capa intermedia dieléctrica;

35 Figura 2b un dispositivo superconductor útil para entender la presente invención en sección transversal esquemática, con un sustrato metálico delgado;

40 Figura 3a una realización de un dispositivo superconductor de la invención, con una estructura de bucle cerrado, con los extremos doblados hacia fuera del conductor recubierto, en una vista superior esquemática;

Figura 3b la realización de la figura 3a en una vista lateral esquemática;

45 Figura 4a una realización de un dispositivo superconductor de la invención, con una estructura de bucle cerrado, con un material de sustrato eliminado en un extremo del conductor recubierto, en una vista superior esquemática;

Figura 4b la realización de la figura 4a, en un estado debobinado, en una ilustración esquemática;

50 Figura 5 una realización de un dispositivo superconductor de la invención, con una estructura de bucle cerrado, con un elemento de puente; en una vista superior esquemática;

55 Figura 6 una realización de un conjunto superconductor de la invención que comprende dos dispositivos superconductores con una estructura de bucle cerrado, colocados uno dentro del otro, en una vista superior esquemática;

Figura 7a una realización de un limitador de corriente de fallo de la invención de tipo CA, en una vista en sección transversal esquemática, con una bobina secundaria que rodea a una bobina primaria;

60 Figura 7b una realización de un limitador de corriente de fallo de la invención de tipo CA, en una vista en perspectiva esquemática, con varios dispositivos superconductores de estructura de bucle cerrado dispuestos próximos entre sí y colocados dentro de una bobina primaria.

65 La figura 1 muestra un dispositivo superconductor 1 útil para entender la presente invención. En la figura 1, la geometría general, es específicamente evidente. Obsérvese que de acuerdo con la invención, un dispositivo

superconductor comprende un conductor recubierto de tipo bucle cerrado (véase las figuras 3a-5).

El dispositivo superconductor 1 en este caso consiste en un conductor recubierto 2, con un sustrato 3 y una película superconductora 4 depositada en la parte superior del mismo. Obsérvese que puede haber capas adicionales, tales como una o más capas de amortiguamiento entre el sustrato 3 y la película superconductora 4 (no mostrado por simplificar).

El conductor recubierto 2 tiene una longitud L , en la dirección en la que fluye, durante el funcionamiento, una corriente superconductora I (o normalmente una corriente conductora, en el caso de un enfriamiento rápido). El conductor recubierto 2 tiene una anchura W y una altura H . Las longitudes L típicas son aproximadamente de 10 cm y superiores. Las anchuras típicas son aproximadamente de 12 mm y superiores. La altura H es normalmente de 400 μm o menor.

En el ejemplo mostrado, la relación de L/W es aproximadamente de 4. De acuerdo con la invención, dicha relación está comprendida entre 0,5 y 10, preferentemente entre 0,5 y 8.

El conductor recubierto 2 tiene, entre sus extremos $E1$ y $E2$ en el estado no superconductor, una resistencia de derivación interna R_{DerIn} de aproximadamente 12 Ohms en este caso; dicha resistencia puede medirse, por ejemplo, poniendo en contacto las caras laterales opuestas SF (sólo una de las cuales puede verse en la figura 1) de la película superconductora 4 con los electrodos metálicos y midiendo la tensión a una corriente eléctrica conocida. Una resistividad de ingeniería ρ_{ing} con $\rho_{\text{ing}} = R_{\text{DerIn}} * W/L$ resulta entonces en este caso en 3,0 ohmios. De acuerdo con la invención, ρ_{ing} está por encima de 2,5 Ohms, preferentemente por encima de 5 ohmios.

Un dispositivo superconductor 1 muestra una muy baja probabilidad de un daño tras un enfriamiento rápido de la película superconductora 4.

La resistividad de ingeniería ρ_{ing} de la invención es significativamente mayor que las resistividades de ingeniería típicas conocidas de los conductores recubiertos convencionales, por ejemplo de tipo YBCO.

La gran resistividad de ingeniería, de acuerdo con la invención, puede conseguirse, por ejemplo, proporcionando una capa intermedia (eléctricamente aislada) de dieléctrico 21 entre un sustrato de metal 3 y la película superconductora 4, compárese la figura 2a que muestra un dispositivo superconductor 1 útil para entender la presente invención en sección transversal. Además, puede usarse una capa tampón 22 entre el sustrato 3 y la película superconductora 4 con el fin de aumentar la calidad del cristal de la película superconductora 4 (normalmente, la película superconductora es epitaxial). En el ejemplo mostrado, también hay una capa de protección 23 de un metal precioso (tal como el oro) en la parte superior de la película superconductora 4. Si se desea, puede depositarse además (no mostrado) una capa de derivación (normalmente de cobre); sin embargo, esta capa de derivación debería ser relativamente delgada con el fin de mantener la resistividad de derivación interna lo suficientemente grande. Debería observarse que la capa de protección 23, así como una posible capa de derivación no deberían ser envolventes y por lo tanto no conectar eléctricamente la película superconductora 4 con el sustrato metálico 3, con el fin de que el sustrato metálico 3 no afecte a la resistencia de derivación interna.

Si el sustrato 3 es suficientemente delgado, compárese la figura 2b, el sustrato 3, que es de tipo metal, no necesita aislarse de la película superconductora 4 con el fin de lograr una resistividad de ingeniería suficientemente grande. En el ejemplo mostrado, hay de nuevo una capa tampón 22 y una capa de protección 23. Una capa de derivación suficientemente delgada puede usarse también, si se desea (no mostrado).

La figura 3a en una vista superior y la figura 3b en una vista lateral muestran un dispositivo superconductor de la invención 1, en el que el conductor recubierto 2 forma un bucle cerrado. La película superconductora 4 (que se muestra como una línea gruesa negra, también en las figuras siguientes) se deposita sobre el lado interno del sustrato 3. Con el fin de establecer una conexión superconductora entre los dos extremos de la película superconductora 4, las regiones de extremo $E1$, $E2$ del conductor recubierto 2 se doblan hacia fuera y la película superconductora 4 en las dos regiones de extremo $E1$, $E2$ se unen directamente entre sí, usando normalmente una soldadura de plata, compárese la región de unión 31. Obsérvese que, como alternativa, las zonas de extremo 31, 32 pueden doblarse hacia el interior si la película superconductora 4 se ha depositado en el lado radialmente exterior del sustrato 3. Esta unión es específicamente simple.

Si no es posible doblar las regiones de extremo de un conductor recubierto 2 (por ejemplo, si el radio de curvatura es tan pequeño que se dañaría la película superconductora 4), también es posible tener una unión directa de la película superconductora 4 en las regiones de extremo $E1$, $E2$ cuando se elimina (por ejemplo, decapando a distancia) alguna parte 41 del sustrato 3 en una región de extremo, en este caso $E2$, compárese la figura 4a en una vista superior y la figura 4b en una vista debobinada. En la zona de la parte eliminada 41, el conductor recubierto 2 de la otra región de extremo $E1$ puede acceder con su parte de película superconductora 4a a la parte de película superconductora restante 4b de la región de extremo $E2$ directamente (normalmente, se usa una soldadura para esta unión, tal como una soldadura de plata). Si es necesario, la región terminal $E2$ puede estabilizarse de manera mecánica por medio de una estructura de estabilización 42 (por ejemplo, una película metálica delgada) de manera

que no se rompe la parte de película superconductora restante 4b, que no se soporta nunca más por el sustrato 3.

En otra realización de un conductor recubierto 2 con una estructura de bucle cerrado, mostrada en la figura 5 en una vista superior, se usa un elemento de puente 51 para proporcionar una conexión eléctrica superconductora entre las partes de película superconductora 4a, 4b en las regiones de extremo E1, E2. El elemento de puente 51 comprende una capa superconductora 52 sobre un sustrato de puente 53, estando la capa de superconductor 52 unida directamente (normalmente por medio de una soldadura, tal como una soldadura de plata) a ambas partes de película superconductora 4a 4b. Por lo tanto, el elemento de puente 51 cruza un hueco GP entre las dos regiones de extremo E1, E2 del conductor recubierto 2, en el que dicho hueco GP corresponde a aproximadamente 1/20 de la longitud total L del conductor recubierto en este caso. Mediante el uso de un elemento de puente 51, se evita el doblez del conductor recubierto 2.

La figura 6 muestra en una vista superior un conjunto superconductor de la invención 61, que comprende (en este caso) dos dispositivos superconductores 1a, 1b, que tienen ambos conductores recubiertos en una estructura de bucle cerrado, y con los dispositivos superconductores 1a, 1b colocados (en este caso de manera concéntrica) uno en el otro. En esta disposición, ambos dispositivos superconductores 1a, 1b pueden afectar a la región central CR del conjunto superconductor 61, en particular, generando o interactuando con un flujo magnético en la región central CR.

En el ejemplo mostrado, los dos dispositivos superconductores 1a, 1b no tienen uniones, lo que puede conducir a corrientes superconductoras circulares específicamente estables. Con el fin de lograr esto, se producen primero los sustratos en forma de anillo cerrado 3 (por ejemplo, soldando dos extremos de un sustrato de tipo cinta, o cortando un anillo de un tubo continuo producido mediante moldeo por extrusión). Posteriormente, las películas superconductoras 4 (y otras capas, si pueden ser necesarias) se depositan sobre los sustratos 3 (normalmente en el que un anillo de sustrato se hace girar bajo un aparato de deposición).

La figura 7a muestra en una vista en sección transversal vertical un limitador de corriente de fallo de la invención 71 del tipo CA, en el que se usa un dispositivo superconductor de la invención 1 (o como alternativa un conjunto superconductor de la invención).

El limitador de corriente de fallo 71 comprende una bobina primaria normalmente conductora 72 y una bobina secundaria dispuesta de manera coaxial 73, que se realiza con un dispositivo superconductor de la invención 1 como se muestra en la figura 4a en este caso; la estructura de soporte de la bobina secundaria 73 no se muestra, para simplificar.

Dentro de la bobina primaria 72, se coloca un núcleo ferromagnético 74, proporcionando un buen acoplamiento de la bobina primaria y secundaria 72, 73. Durante el funcionamiento normal, la bobina primaria 72 lleva una corriente eléctrica que debe limitarse contra la corriente de fallo, y en la bobina secundaria 73, se induce una corriente superconductora que en gran medida contra balancea el campo magnético de la bobina primaria 72, por lo que la bobina primaria 72 no experimenta una resistencia inductiva significativa.

La bobina secundaria 73 está localizada dentro de un criostato 75, en cuyo interior se ha establecido una temperatura criogénica (tal como a o por debajo de $-183,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (90 K), preferentemente a o por debajo de $-268,95$ (4,2 K)), por lo que el dispositivo superconductor 1 o su película superconductora 4, respectivamente, pueden asumir el estado de superconductor.

En el caso de un aumento de la corriente en la bobina primaria 72 ("corriente de fallo"), también se aumenta la corriente en la bobina secundaria 73, es decir, por encima de la corriente crítica I_c de la bobina secundaria 73, y la superconductividad se colapsa en la bobina secundaria 73 ("enfriamiento rápido"). Como consecuencia, la bobina primaria 72 experimenta ahora una resistencia inductiva considerable, lo que limita la corriente en la bobina primaria 72. Con el fin de ser capaz de soportar el grado de interferencia, la bobina secundaria 73 o el dispositivo superconductor 1, respectivamente, tiene una geometría con una relación de longitud L (en este caso correspondiente a la circunferencia $2\pi R$ de la bobina secundaria 73) y una anchura W de aproximadamente $L/W = 6$, y una resistividad de ingeniería ρ_{ing} del conductor recubierto de acuerdo con la invención.

Ya que la bobina secundaria 73 puede hacer frente a un enfriamiento rápido, el limitador de corriente de fallo puede reutilizarse fácilmente después de un enfriamiento rápido, en particular, después de haberse reenfriado suficientemente la bobina secundaria 73.

La figura 7b muestra una realización adicional de un limitador de corriente de fallo de la invención 71, que comprende una bobina primaria 72, en este caso enrollada en un soporte en forma de cilindro 76, y una bobina secundaria 73 que comprende una pluralidad de sub-bobinas, que se realizan como dispositivos superconductores de la invención 1 con un conductor recubierto de una estructura de bucle cerrado ("un devanado sub-bobinal"). Dichos dispositivos superconductores 1 están dispuestos próximos entre sí dentro de la bobina primaria 72, de manera que cada sub-bobina puede interactuar con una parte del flujo magnético de la bobina primaria 72. Para simplificar, no se muestra el criostato para los dispositivos superconductores 1 en la figura 7b.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo superconductor (1; 1a, 1b), que comprende un conductor recubierto (2) con un sustrato (3) y una película superconductora de enfriamiento rápido (4), en el que el conductor recubierto (2) tiene una anchura W y una longitud L, en el que $0,5 \leq L/W \leq 10$, en particular $0,5 \leq L/W \leq 8$, y en el que el sustrato (3) es
- un sustrato metálico (3) aislado eléctricamente de la película superconductora (4), o
 - un sustrato metálico delgado (3), en particular con un espesor de $T \leq 100 \mu\text{m}$,
- caracterizado por que el conductor recubierto (2) forma un bucle cerrado, de manera que dicha anchura W corresponde a una altura de dicho dispositivo superconductor (1), y por que el conductor recubierto (2) tiene una resistividad de ingeniería ρ_{ing} que deriva la película superconductora (4) en un estado de enfriado rápido, con $\rho_{\text{ing}} > 2,5 \Omega$, en el que $R_{\text{DerIn}} = \rho_{\text{ing}} * L/W$, con R_{DerIn} : resistencia de derivación interna del conductor recubierto (2).
2. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que $W \geq 12 \text{ mm}$, en particular $W \geq 40 \text{ mm}$.
3. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que $W \geq 50 \text{ mm}$, en particular, $W \geq 100 \text{ mm}$.
4. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que $L \geq 10 \text{ cm}$, en particular $L \geq 36 \text{ cm}$.
5. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1 b) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que $L \geq 50 \text{ cm}$, en particular $L \geq 100 \text{ cm}$.
6. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la película superconductora (4) comprende un material de YBCO.
7. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que en una región de extremo (E2) del conductor recubierto (2), se elimina una parte (41) del sustrato (3), y unas partes de película superconductora (4a, 4b) en dicha región de extremo (E2) y en una región de extremo adicional (E1) del conductor recubierto (2) están unidas entre sí.
8. Dispositivo superconductor (1) de acuerdo con la reivindicación 7, caracterizado por que se proporciona una estructura de soporte mecánica (42) en la parte superior de la película superconductora (4) en la región de extremo (E2) cerca de la parte eliminada (41).
9. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que el sustrato (3) del conductor recubierto (2) es de tipo anillo, en particular, del tipo anillo circular.
10. Dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que dos regiones de extremo (E1, E2) del conductor recubierto (2) se doblan hacia dentro o hacia fuera, y las partes de película superconductora (4a, 4b) en dichas regiones de extremo (E1, E2) están unidas entre sí.
11. Conjunto superconductor (61), que comprende una pluralidad de dispositivos superconductores dispuestos de manera coaxial (1; 1a, 1b) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, colocados uno dentro del otro.
12. Un limitador de corriente de fallo (71), que comprende un dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) o un conjunto superconductor (61) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores.
13. Un limitador de corriente de fallo (71) de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que el limitador de corriente de fallo (71) es de tipo CA con una bobina primaria (72) para llevar una corriente que debe limitarse y una bobina secundaria (73) que debe acoplarse a la bobina primaria (72) a través de un flujo magnético común, y el dispositivo superconductor (1; 1a, 1b) o conjunto superconductor (61) está incluido en la bobina secundaria (73).
14. Un limitador de corriente de fallo de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que la bobina secundaria (73) comprende una pluralidad de sub-bobinas que están realizadas como unos dispositivos superconductores (1; 1a, 1b) de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que dichos dispositivos superconductores (1; 1a, 1b) están colocados uno junto a otro y dentro de la bobina primaria (72).

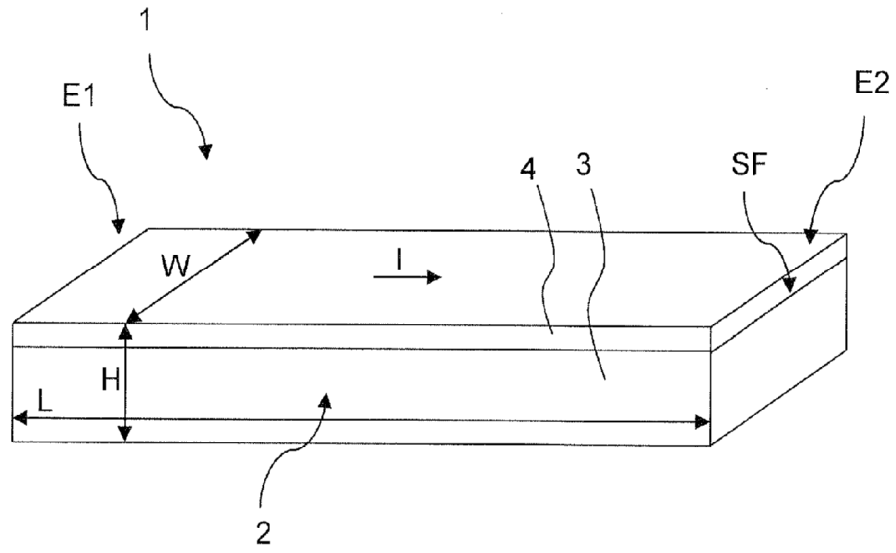


Fig. 1

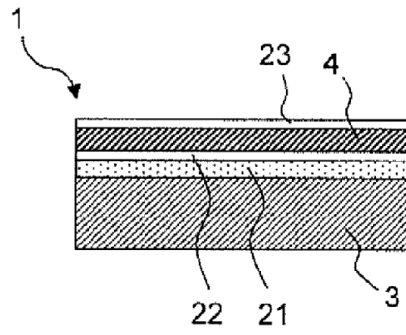


Fig. 2a

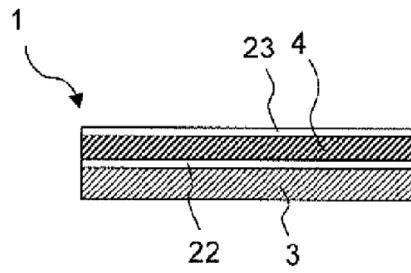


Fig. 2b

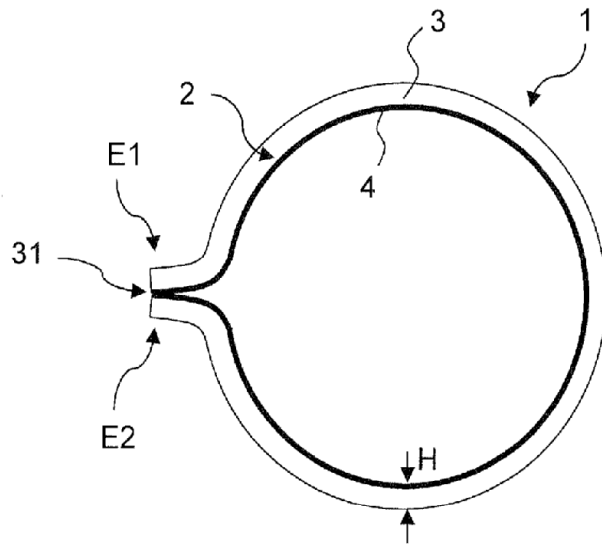


Fig. 3a

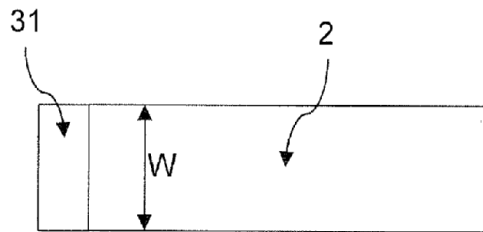


Fig. 3b

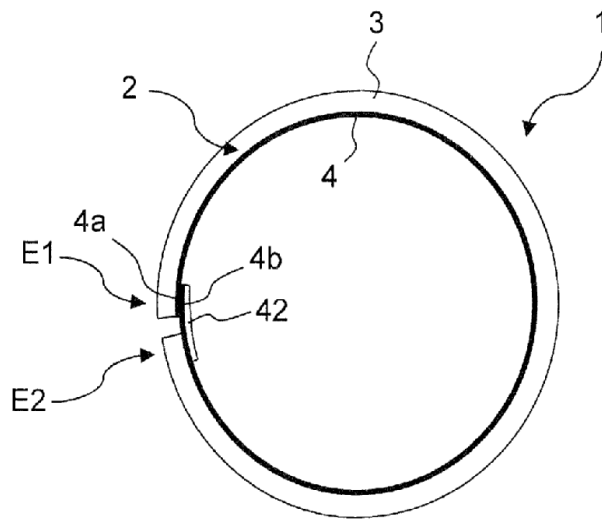


Fig. 4a

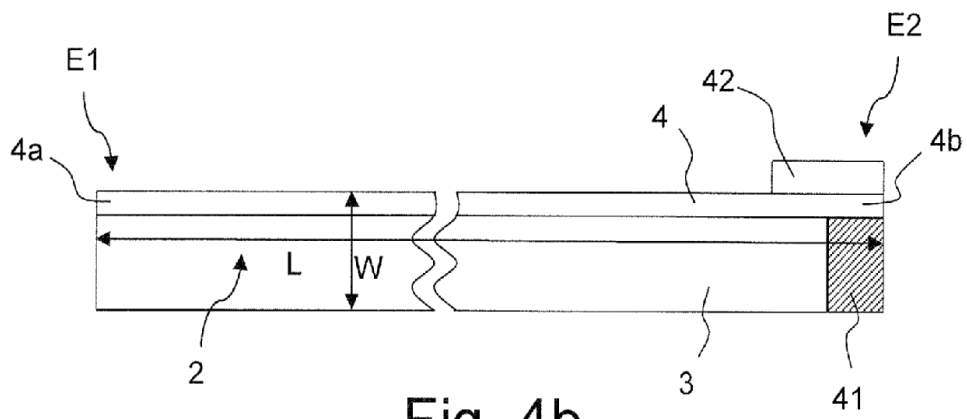


Fig. 4b

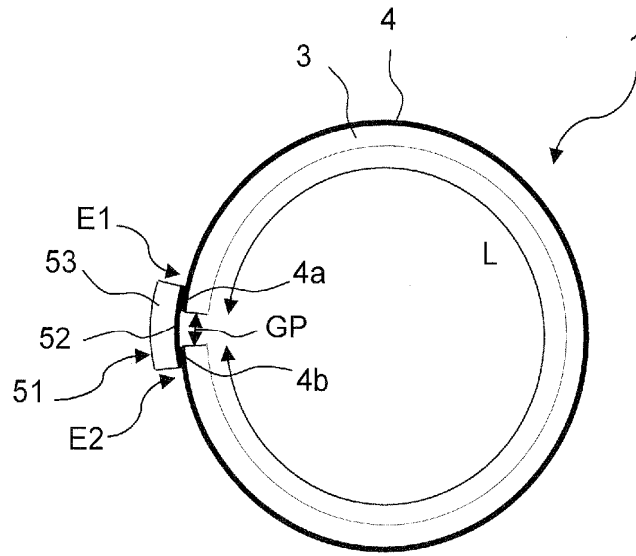


Fig. 5

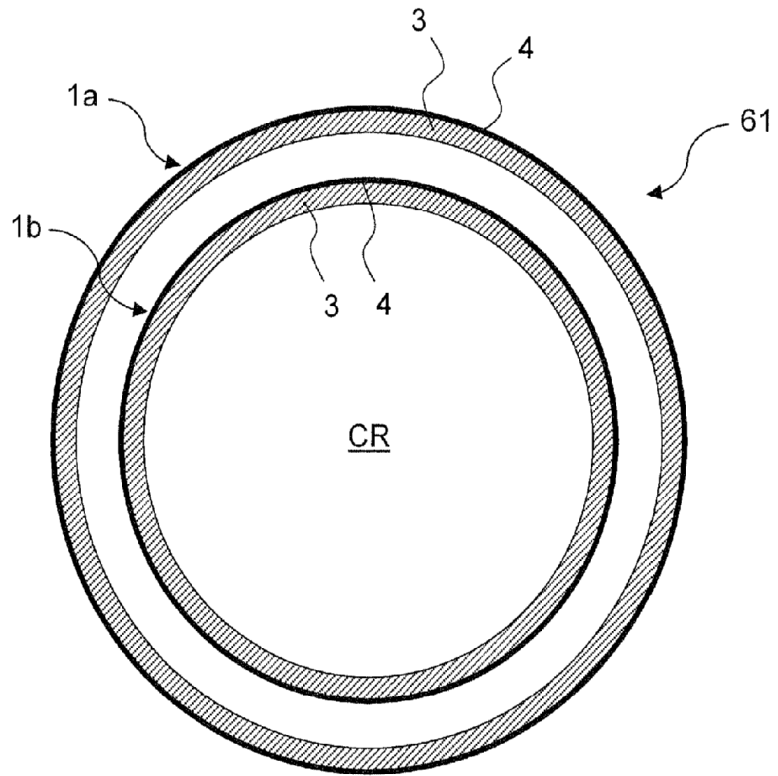


Fig. 6

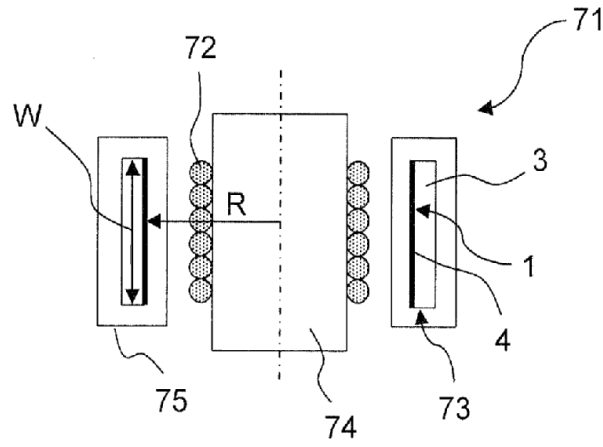


Fig. 7a

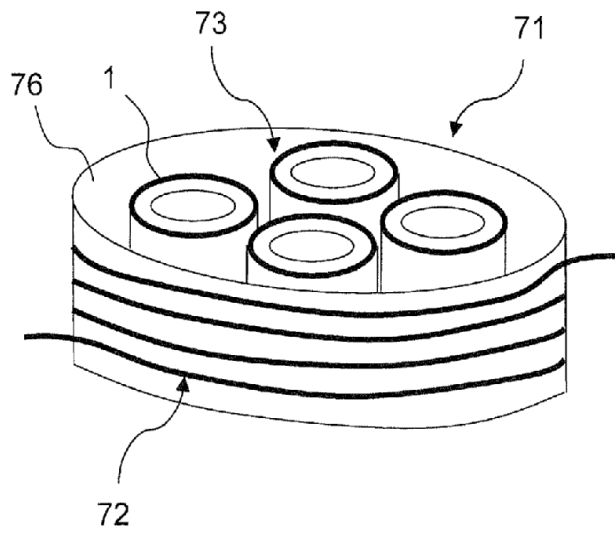


Fig. 7b