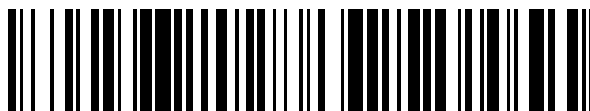


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 609 634**

51 Int. Cl.:

H01L 39/14 (2006.01)

H01L 39/16 (2006.01)

H01L 39/24 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.07.2014** **E 14178335 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.12.2016** **EP 2830107**

54 Título: **Elemento superconductor en forma de banda, con autoprotección mejorada en caso de transición superconductora**

30 Prioridad:

24.07.2013 DE 102013214447

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

21.04.2017

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 2 609 634 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

Elemento superconductor en forma de banda, con autoprotección mejorada en caso de transición superconductora

La invención se refiere a un elemento superconductor, que comprende un sustrato metálico, una capa aislante, una capa superconductora y una capa protectora metálica, disponiéndose la capa aislante entre el sustrato y la capa superconductora, extendiéndose la capa aislante en una sección transversal del elemento superconductor, por ambos extremos más allá de la zona del sustrato cubierta por la capa superconductora, y separando galvánicamente la capa aislante, la capa superconductora y la capa protectora metálica, del sustrato.

Un elemento superconductor de este tipo ha llegado a conocerse del documento US 2009/0131262 A1.

Los materiales superconductores pueden soportar grandes corrientes eléctricas sin pérdidas óhmicas. Se usan por ejemplo, en bobinas magnéticas o también en delimitadores de corrientes de falla, resistivos o inductivos.

Las propiedades superconductoras se dan particularmente solo en el caso de temperaturas comparativamente bajas, que requieren un enfriamiento, típicamente con helio líquido. Los superconductores de alta temperatura (HTSL, del alemán *Hochtemperatursupraleiter*) como YBCO presentan en este caso temperaturas de transición y capacidades de carga de corriente más altas que los superconductores metálicos convencionales como NbTi o Nb₃Sn. Los HTSL son no obstante difíciles de procesar debido a sus frágiles propiedades de material; se fabrican por ello normalmente en forma de banda, depositándose una capa HTSL fina sobre un sustrato flexible.

Un riesgo principal al usar superconductores, es una transición repentina al estado de conducción normal ("Quench", transición superconductora). La corriente soportada hasta el momento de forma superconductora en el superconductor, intenta entonces continuar fluyendo a través del material de conducción normal. En este caso pueden generarse tensiones eléctricas notables en el superconductor en el cual se ha producido transición de conducción, y se produce desarrollo de calor debido a pérdidas óhmicas. En este caso, el superconductor puede quedar también dañado irreversiblemente ("Burnout", recalentamiento).

En general se desea que un superconductor supere una transición superconductora sin daños. Para ello se conoce la protección de superconductores mediante circuitos de corriente de conducción normal, paralelos, con resistencia reducida ("Shunt", derivación). La corriente soportada anteriormente de forma superconductora puede fluir entonces en caso de transición superconductora a través del circuito de corriente paralelo, debido a lo cual se reducen las tensiones eléctricas y el calentamiento. Como circuitos de corriente de conducción normal, paralelos, se usan en el caso de estructuras superconductoras en forma de banda, particularmente revestimientos de derivación, por ejemplo, de cobre, y también se utilizan sustratos metálicos, compárese para ello el documento US 7,774,035 B2. Además, se conocen sistemas de derivación externos, los cuales están acoplados a través de elementos de puente, compárese por ejemplo, el documento EP 2 117 056 B1.

El documento de solicitud de patente europea EP 2 672 537 A1 republicada, propone escoger relativamente alta la resistencia de derivación interna en caso de superconductores en forma de banda relativamente cortos en relación con la anchura, para reducir el riesgo de un recalentamiento. Un sustrato metálico se separa en este caso de una película superconductora mediante una capa intermedia aislante eléctricamente, dispuesta entre ellos. Una capa protectora delgada de metal noble se dispone sobre la película superconductora.

Del documento EP 2 192 629 A1 se conoce un delimitador de corriente de falla con una disposición de superconductor, en el que las películas superconductoras de elementos superconductores están unidas eléctricamente entre sí, los sustratos con capacidad de conducción eléctrica de los elementos superconductores están aislados no obstante, unos de otros. Entre las películas superconductoras y los sustratos con capacidad de conducción de los elementos superconductores hay dispuestas respectivamente capas intermedias aislantes.

Del documento US 2012/0040100 A1 se conoce proporcionar a un sustrato metálico, mediante planarización por deposición en solución (*Solution Deposition Planarization*, SDP) incluyendo un revestimiento por inmersión (en inglés *Dip coating*) y un tratamiento térmico, una capa Y₂O₃, aplicar a continuación una capa intermedia MgO, y disponer sobre la capa intermedia una película YBCO. Mediante este tratamiento SDP del sustrato, puede reducirse su rugosidad y mejorarse la calidad de la película YBCO.

El documento DE 10 2004 048 439 B4 describe un alambre superconductor con un aislamiento eléctrico a partir de una banda, que está enrollado a modo helicoidal alrededor del alambre superconductor. El alambre superconductor puede estar configurado particularmente como alambre de capa fina HTS con un revestimiento YBCO y la banda como lámina de poliéster con 2 µm de grosor y 50 % de superposición.

El documento US 2011/0319271 A1 describe un superconductor de multifilamento, habiendo dispuestas sobre el lado superior de un sustrato metálico, una paca de amortiguador y varias tiras de superconductor alternas con tiras aislantes. Las tiras de superconductor están provistas de una capa protectora y de una capa de estabilización para la estabilización eléctrica.

El documento JP 2012 028263 A describe un procedimiento para la fabricación de un superconductor oxidico, en forma de banda, aplicándose tiras de superconductor en forma de línea, diferentes, con una técnica de fotorresistencia, sobre un sustrato que porta capas intermedias.

El documento US 2009/0131262 A1 describe un superconductor de alta temperatura multifilamento, disponiéndose sobre el lado superior de un sustrato, una capa de amortiguación y varias tiras HTS. Sobre las tiras HTS hay dispuestas una placa de protección de metal noble y una capa de estabilización, rodeando la capa protectora y la capa de estabilización, el sustrato, también lateralmente y desde abajo. En otra forma de realización, dos tiras HTS son rodeadas a modo de cubierta por la capa de revestimiento y por la capa de estabilización. En otra forma de realización, se propone aplicar la capa de amortiguación, el material HTS y la capa protectora, sobre ambos lados del sustrato.

El documento US 2009/0302282 A1, el documento US 2005/0019615 A1 y el documento US 2010/0197506 A1, describen respectivamente superconductores, los cuales presentan capas aislantes producidas mediante revestimiento por inmersión.

Tarea de la invención

La invención se basa en la tarea de poner a disposición un elemento superconductor, en el cual se reduzca el riesgo de un daño en caso de transición superconductora.

Breve descripción de la invención

Esta tarea se soluciona mediante un elemento superconductor del tipo mencionado inicialmente, el cual está caracterizado por que un grosor D de la capa aislante se elige de tal forma que el elemento superconductor presenta una tensión disruptiva transversal del sustrato metálico con respecto a la capa de superconductor y con respecto a la capa protectora metálica, de al menos 25 V, y que la capa aislante tapa completamente en sección transversal también los lados cortos del sustrato.

El elemento superconductor según la invención prevé mejorar la autoprotección del elemento superconductor mediante una amplia supresión de la salida de energía en caso de transición superconductora. Mediante el aislamiento del sustrato metálico de buena conducción eléctrica, de la capa de superconductor, se mantiene alta la resistencia de derivación. Mediante la alta resistencia óhmica en la zona de la capa superconductora en el caso de transición superconductora, se limita por su parte el flujo de corriente mediante el elemento superconductor y debido a ello se reduce el desarrollo de calor en el elemento superconductor. El elemento superconductor puede volver a enfriarse entonces tras una transición de superconducción, más rápidamente a por debajo de la temperatura de transición, y devolverse correspondientemente de forma más rápida de nuevo al funcionamiento normal; además, se reduce el riesgo de un sobrecalentamiento dañino.

Según la invención, se utiliza una capa protectora metálica sobre la capa de superconductor. La capa metálica bloquea o dificulta procesos de difusión en el lado superior de la capa de superconductor o en general cambios químicos en la capa superconductora que parten del lado superior de la capa superconductora, y asegura de esta manera, las propiedades físicas de la capa superconductora, y con ello su función como superconductor. La capa protectora metálica, la cual consiste típicamente en un metal noble o en una aleación de metal noble, si bien representa un circuito de corriente de conducción normal paralelo a la capa de superconductor, presenta no obstante, debido al reducido grosor de la capa protectora metálica (típicamente 0,5 μm o menos), ohmioje elevado, de manera que un desarrollo de calor correspondiente en caso de transición superconductora, se mantiene reducido, o puede mantenerse reducido mediante la elección correcta del grosor de capa de la capa protectora metálica.

Para evitar un desarrollo de calor no deseado o incluso altamente dañino para el elemento superconductor, la invención prevé sobresalir con la sección de aislamiento en sección transversal (perpendicular a la dirección longitudinal/dirección de flujo de corriente del elemento superconductor) a ambos lados de la capa de superconductor, más allá de ésta y cubrir también los lados cortos del sustrato completamente. Una capa protectora metálica, la cual cubre completamente la capa de superconductor, particularmente también sus lados cortos en sección transversal, puede terminar entonces fácilmente sobre la capa aislante (en la zona de su solapamiento por encima de la capa de superconductor), sin tocar el sustrato metálico. Debido a que la capa de superconductor presenta una anchura menor que la capa aislante, puede evitarse de manera segura también un contacto directo no intencionado con el sustrato metálico, mediante la capa de superconductor. Según la invención, está previsto que la capa aislante cubra en sección transversal completamente también los lados cortos del sustrato. Debido a ello, puede evitarse de manera aún mejor un contacto directo no intencionado del sustrato metálico en el caso de una deposición de la capa superconductora o también de la capa protectora metálica en el lado superior del sustrato, y puede hacerse menos probable una interrupción de la tensión.

Según la invención, se utiliza una capa aislante con una tensión disruptiva transversal alta. Una interrupción de tensión transversal (perpendicular con respecto a la dirección longitudinal del elemento superconductor), típicamente

perpendicular con respecto a la superficie límite de la capa aislante con respecto al sustrato, uniría la capa metálica directa o indirectamente a través de la capa protectora metálica, con la capa superconductora y de esta manera abriría un circuito de corriente de conducción normal paralelo, de resistencia reducida, el cual tendría como consecuencia un notable calentamiento del elemento superconductor en caso de transición superconductora. Debe tenerse en cuenta, que la capa de superconductor y la capa protectora metálica se encuentran esencialmente en la misma potencia eléctrica, y se produce una disrupción de tensión, allí donde (i) la capa aislante es más débil debido al grosor variable ("*weak spot*", punto débil) y/o (ii) el campo eléctrico está maximizado debido por ejemplo, a la rugosidad de la superficie, lo cual dependiendo de la geometría del elemento superconductor, puede darse tanto para la capa superconductora como para la capa protectora metálica.

Debido a una alta tensión disruptiva transversal, la cual puede ajustarse mediante la selección de material adecuada y la selección adecuada del grosor de la capa aislante y en caso necesario comprobarse experimentalmente, puede evitarse de manera efectiva una disrupción de este tipo. El grosor de la capa aislante es típicamente unitario en el elemento superconductor. Se recomienda elegir de tal forma el uso del elemento superconductor según la invención, que en caso de la superficie superconductora, a través del elemento superconductor, cae como máximo una tensión, la cual se encuentra por debajo de la tensión disruptiva.

El elemento superconductor según la invención puede utilizarse de diversas maneras, particularmente en conducciones de corriente, bobinas magnéticas y delimitadores de corriente de falla superconductores. Pueden hacer frente sin daños a transiciones de superconducción repetidas o también de larga duración, por ejemplo, debido a sobreintensidades en un delimitador de corriente de falla.

Para la capa superconductora puede utilizarse por ejemplo, YBCO u otro material superconductor de tipo ReBCO (Re: elemento de tierras raras). El sustrato es habitualmente de acero o de Hastalloy. El sustrato tiene habitualmente una configuración en forma de banda, habitualmente con una anchura entre 0,5 cm y 8 cm, preferiblemente entre 2,5 cm y 5 cm, y con un grosor entre 0,05 mm y 0,5 mm, preferiblemente entre 0,1 mm y 0,2 mm.

Formas de realización preferidas de la invención

En una forma de realización preferida del elemento superconductor según la invención, la capa protectora metálica toca la capa aislante. La capa aislante impide en este caso también, una disrupción de la tensión de sustrato a capa protectora metálica. La deposición de la capa protectora metálica en este caso se ha simplificado, y la capa superconductora puede sellarse bien también por los lados mediante la capa metálica. En este caso, la capa aislante se extiende preferiblemente también a ambos lados más allá de la zona cubierta por la capa superconductora y la capa protectora metálica, del sustrato metálico, para evitar de forma sencilla un contacto directo involuntario con el sustrato metálico.

También es preferida una forma de realización, en la cual la capa protectora metálica rodea a modo de cubierta la capa superconductora en sección transversal. Debido a ello se da un sellado bueno por todos los lados, de la capa superconductora, particularmente en sus superficies laterales, de manera que se bloquean o se minimizan modificaciones químicas en la capa superconductora.

Es ventajosa también una forma de realización, en la cual la capa aislante cubre también un lado inferior del sustrato alejado de la capa superconductora. En determinadas circunstancias, el lado inferior, debido a su gran superficie, es también una zona de contacto a tener en cuenta durante una unión con la capa superconductora con material de mala conducción. Mediante la disposición de la capa aislante también en el lado inferior del sustrato, pueden bloquearse de forma efectiva circuitos de corriente, los cuales pasan por el lado inferior del sustrato. Una disrupción de la tensión es aún menos probable. En esta forma de realización, la capa aislante rodea en sección transversal el sustrato por todos los lados. De esta manera se excluye de una forma muy fiable un uso del sustrato metálico como circuito de corriente en caso de transición superconductora. Además, es posible de manera fácil en este caso, la deposición de la capa aislante mediante una ruta de precursor o la deposición a partir de la fase líquida, con revestimiento por inmersión y temple posterior. Debido a los grosores de capa necesarios según la invención, para la capa aislante, puede llevarse a cabo en este caso un revestimiento repetido.

Es preferida también una forma de realización en la que, adicionalmente a la capa aislante, está prevista una capa de planarización, la cual está depositada sobre el sustrato. Con una capa de planarización puede reducirse la rugosidad de la superficie del sustrato metálico, y de esta manera mejorarse la calidad de la capa superconductora. Alternativamente la capa aislante puede servir también al mismo tiempo como capa de planarización. La capa de planarización presenta preferiblemente un grosor de 0,2 a 5 μm , preferiblemente de 0,5 a 2 μm . La capa de planarización es preferiblemente de óxido de itrio o de óxido de circonio, y puede rodear por todos los lados el sustrato.

En una forma de realización preferida, el grosor D de la capa aislante se elige de tal forma que el elemento superconductor presenta una tensión disruptiva transversal de sustrato metálico con respecto a la capa superconductora y con respecto a la capa protectora metálica, de al menos 50 V, de preferiblemente al menos 100 V, de manera muy particularmente preferida de 300 V. Debido a ello, el elemento superconductor puede usarse en el

caso de tensiones externas altas, sin que en el caso de la transición superconductora se dé un calentamiento excesivo del elemento superconductor. La tensión disruptiva transversal se encuentra en general entre 25 y 1500 V, y preferiblemente entre 50 y 500 V.

- 5 Es ventajosa una forma de realización, en la cual la capa aislante presenta un grosor D de al menos $0,2\text{ }\mu\text{m}$, preferiblemente de al menos $2,0\text{ }\mu\text{m}$, de manera particularmente preferida de al menos $3,5\text{ }\mu\text{m}$, de manera muy particularmente preferida de al menos $5,0\text{ }\mu\text{m}$. En general, unos grosores de capa mayores, conducen a tensiones disruptivas mayores. Unos grosores de capa reducidos, de por ejemplo, menos de $1\text{ }\mu\text{m}$, pueden lograrse normalmente solo con materiales altamente aislantes, particularmente con fosfato de aluminio u óxido de aluminio.
- 10 El grosor de la capa aislante es típicamente de como máximo $10\text{ }\mu\text{m}$, eventualmente se prevé también un grosor de capa de como máximo $3\text{ }\mu\text{m}$. Ha de tenerse en cuenta, que la capa aislante puede presentar generalmente también una estructura de capa; la capa aislante está configurada no obstante, preferiblemente de forma unitaria (homogénea).
- 15 En una forma de realización preferida, la capa aislante contiene uno o varios óxidos de metal, particularmente óxido de circonio estabilizado mediante itrio, óxido de circonio, óxido de itrio, titanato de estroncio, óxido de aluminio, óxido de cerio, circonato de gadolinio, circonato de bario y/u óxido de magnesio. Los óxidos metálicos son materiales de fácil deposición y con buen aislamiento eléctrico. La capa aislante puede contener óxidos sencillos o múltiples, particularmente de elementos del segundo o del tercer grupo principal del sistema periódico de los elementos o mezclas de ellos.
- 20

También es preferida una forma de realización, en la cual la capa aislante contiene fosfato de aluminio, conteniendo particularmente la capa aislante una mezcla de fosfato de aluminio con óxido de silicio, óxido de germanio, óxido de circonio, óxido de itrio, titanato de estroncio, óxido de aluminio, óxido de cerio, circonato de gadolinio, circonato de bario y/u óxido de magnesio. El fosfato de aluminio ha resultado ser en la práctica un aislante eléctrico particularmente eficiente.

25

Se prefiere también una forma de realización, en la que el elemento superconductor contiene una capa intermedia, disponiéndose la capa intermedia entre la capa aislante y la capa superconductora, conteniendo particularmente la

30 capa intermedia, al menos una subcapa dieléctrica. Con una capa intermedia puede ponerse a disposición - independientemente de las propiedades de la capa aislante - una superficie óptima para la deposición de la capa superconductora, y de esta manera lograrse una calidad particularmente alta de la capa superconductora (de la lámina superconductora). Ha de tenerse en cuenta, que la capa intermedia puede contener también al menos una subcapa metálica. Son materiales que pueden usarse típicamente en la capa intermedia, CeO_2 , MgO e InSn . La

35 capa intermedia se deposita típicamente mediante IBAD (*ion beam assisted deposition*, deposición asistida por haz de iones). De forma alternativa a esta forma de realización, puede usarse también como capa intermedia, la capa aislante o una parte superior de ésta.

Es ventajosa, además, una forma de realización en la que en la sección longitudinal del elemento superconductor hay configurada aproximadamente en el centro de la capa aislante una unión eléctricamente conductora entre el sustrato metálico y la capa superconductora. Debido a ello, la tensión o la intensidad de campo $E_{\parallel}$ que llega en caso de transición superconductora a través de la capa aislante, puede aproximadamente reducirse a la mitad.

40

Se prefiere además una forma de realización, la cual prevé, que la capa protectora metálica presente un grosor de entre $0,07\text{ }\mu\text{m}$ y $3\text{ }\mu\text{m}$, y/o que la capa protectora metálica contenga Ag, Au, Rt, Pd, Cu, Ni, Cr, Al, Y o sus mezclas o aleaciones. Estos grosores y materiales han resultado ventajosos en la práctica. Ha de tenerse en cuenta, que el grosor de la capa protectora metálica se elige preferiblemente con $0,5\text{ }\mu\text{m}$ o menos, para poder mantener correspondientemente baja la resistencia a la derivación interna, y también para mantener bajos los costes de producción sobre todo al usar materiales caros como oro y plata en la capa protectora metálica.

45

Se prefiere además una forma de realización, en la cual la capa protectora metálica presenta una resistencia longitudinal en dirección longitudinal del elemento superconductor de entre 5 y 100 ohmios por metro de longitud y por cada centímetro de anchura del elemento superconductor, preferiblemente entre 15 y 40 ohmios por metro de longitud y por cada centímetro de la anchura del elemento superconductor. Con estos valores de resistencia ha resultado en la práctica un buen comportamiento en caso de transición superconductora, particularmente con un calentamiento solo reducido del elemento superconductor.

50

55

Se encuentra también en el marco de la presente invención, el uso de un elemento superconductor según la invención, descrito más arriba, en una fuente de tensión exterior, mediante la cual llega al elemento superconductor en caso de transición superconductora del elemento superconductor, una tensión externa $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}$, eligiéndose la longitud L del elemento superconductor de tal forma que el campo eléctrico $E_{\parallel}$ resultante en caso de transición superconductora, a lo largo del elemento superconductor, que se obtiene con $E_{\parallel} = V_{\text{ext}}^{\text{elem}}/L$ es menor que un campo eléctrico crítico $E_{\parallel}^{\text{crit}}$, el cual puede soportar la capa conductora todavía sin daños, eligiéndose el grosor D de la capa aislante del elemento superconductor de tal forma que es válido:

60

65

$$D \geq k \cdot \left[\frac{E_{\parallel} \cdot L}{m \cdot E_{\perp}^{crit}} - \sum_i \frac{\varepsilon_i \cdot d_i}{\varepsilon_{iso}} \right]$$

con i: variable de cantidad de capas dieléctricas del elemento superconductor respectivamente tanto entre sustrato y capa superconductora como entre sustrato y capa protectora metálica sin la capa aislante, ε_i : constante dieléctrica de la iésima capa eléctrica, ε_{iso} : constante dieléctrica de la capa aislante, d_i : grosor de la iésima capa dieléctrica, $E_{\perp}^{crit}$: intensidad de campo disruptiva transversal en la capa aislante; m: parámetro geométrico con $m = 2$ para con y $m = 1$ para sin una unión eléctricamente conductora configurada en la sección longitudinal aproximadamente en el centro de la capa aislante, entre el sustrato metálico y la capa superconductora, y k: parámetro de seguridad con $k \geq 1$. Con esta elección de L y D puede asegurarse, que el elemento superconductor supera bien varias y también duraderas transiciones superconductoras. $E_{\parallel}^{crit}$ puede determinarse para un determinado tipo de capa superconductora, de manera sencilla experimentalmente, igualmente puede determinarse de manera sencilla experimentalmente $E_{\perp}^{crit}$ para un material de capa aislante. Mediante la elección del parámetro de seguridad $k > 1$ puede configurarse una reserva para cargas inesperadas (picos de tensión); k es de preferiblemente al menos 3.

En una variante preferida del uso según la invención es válido:

$$0,5 \text{ V/cm} \leq E_{\parallel}^{crit} \leq 10 \text{ V/cm, y/o} \\ 2 \cdot 10^3 \text{ V/cm} \leq E_{\perp}^{crit} \leq 5 \cdot 10^5 \text{ V/cm. Con estos rangos de valores puede trabajarse bien en la práctica.}$$

Es ventajosa también una variante, la cual prevea que $L \geq 50 \text{ cm}$, preferiblemente $L \geq 150 \text{ cm}$, de manera particularmente preferida $L \geq 200 \text{ cm}$. Estas longitudes aún pueden fabricarse bien en la práctica. Unas longitudes mayores reducen en principio la intensidad de campo $E_{\parallel}$ paralela a la dirección longitudinal del sustrato superconductor.

Es particularmente preferida también una variante del uso según la invención, la cual prevé, que el elemento superconductor esté incorporado en una conexión en serie de otros elementos superconductores, cuyas capas superconductoras están unidas eléctricamente entre sí y cuyos sustratos están aislados eléctricamente unos de otros, y que la tensión exterior V_{ext}^{elem} que llega a éste en caso de conducción superconductora del elemento superconductor, resulte a partir de $V_{ext}^{elem} = V_{ext}^{tot} \cdot L / L_{tot}$, con V_{ext}^{tot} : tensión total que llega mediante la fuente de tensión exterior a través de la conexión en serie del elemento superconductor y los demás elementos superconductores, y L_{tot} : suma de la longitud del elemento superconductor y de las longitudes de los demás elementos superconductores. Mediante la conexión en serie de los elementos superconductores, puede distribuirse la tensión exterior V_{ext}^{tot} exterior que llega en total, a los elementos superconductores (típicamente iguales). Mediante una cantidad lo suficientemente grande o una longitud lo suficientemente grande de los elementos superconductores adicionales, puede distribuirse hasta tal punto particularmente la tensión exterior V_{ext}^{elem} que llega al elemento superconductor, que no se supera $E_{\parallel}^{crit}$ (ni tampoco $E_{\perp}^{crit}$).

En un perfeccionamiento de esta variante es válido: $V_{ext}^{tot} > 10 \text{ kV}$. Particularmente en el caso de tensiones externas altas, se dan en particular las ventajas de la alta fuerza dieléctrica de la capa aislante en el elemento superconductor.

Es preferida también una variante, en la cual el elemento superconductor está montado en un delimitador de corriente de falla superconductor. En el caso de delimitadores de corriente de falla, se requieren elementos superconductores particularmente resistentes a la transición superconductora, dado que la transición superconductora forma parte en este caso de la función deseada del delimitador de corriente de falla. El delimitador de corriente de falla puede ser de tipo resistivo o capacitivo.

Otras ventajas de la invención resultan de la descripción y del dibujo. Además, las características mencionadas anteriormente y las que serán explicadas, pueden usarse según la invención respectivamente de forma individual o varias de ellas en combinaciones cualesquiera. Las formas de realización mostradas y descritas no han de entenderse como una enumeración cerrada, sino que tienen más bien un carácter a modo de ejemplo para la explicación de la invención.

Descripción detallada de la invención y del dibujo

La invención se representa en el dibujo y se explica con mayor detalle mediante ejemplos de realización. Muestran:

La Fig. 1 una representación en sección transversal esquemática de un primer elemento superconductor como explicación general;

La Fig. 2 una representación en sección transversal esquemática de un segundo elemento superconductor como explicación general;

La Fig. 3a una representación en sección transversal esquemática de una forma de realización de un elemento superconductor según la invención;

La Fig. 3b una sección longitudinal esquemática del elemento superconductor de la Fig. 3a;

La Fig. 3c una vista en perspectiva, esquemática, del elemento superconductor de la Fig. 3a,

La Fig. 4 una representación esquemática de una conexión en serie con un elemento superconductor y otros elementos superconductores según la invención.

Ha de tenerse en cuenta, que en las figuras que se describen a continuación, las estructuras se representan en su mayor parte de manera exagerada, para aclarar las características de la invención. Las figuras no han de entenderse por lo tanto a escala.

La Fig. 1 muestra un primer elemento superconductor 1 en sección transversal (perpendicularmente con respecto a la dirección de carga de corriente/dirección longitudinal) como explicación general. El elemento superconductor 1 presenta esencialmente una estructura en forma de banda.

Sobre un sustrato metálico 2, por ejemplo, de acero, se ha depositado una capa aislante 3, por ejemplo, de fosfato de aluminio. La capa aislante 3 presenta un grosor D, y la capa aislante 3 no se ha depositado en este caso solo sobre el lado superior del sustrato 2, sino también en una zona superior OB en los lados cortos 16 del sustrato 2.

Sobre la capa aislante 3 se ha depositado en este caso una capa intermedia 4 con dos subcapas 4a, 4b. La subcapa inferior 4a es en el ejemplo mostrado, eléctricamente conductora (por ejemplo, una aleación CrNi), y la subcapa superior 4b es aislante eléctricamente (por ejemplo, CeO₂).

Sobre la capa intermedia 4 se ha depositado una capa superconductora 5 (preferiblemente de material superconductor de alta temperatura con una temperatura de transición de 40 K o superior, particularmente YBCO). La extensión longitudinal (anchura) B_{SL} de la capa superconductora 5 es en este caso menor que la extensión longitudinal (anchura) B_{ISO} de la capa aislante 3, y la capa aislante 3 sobresale por ambos extremos (a izquierda y derecha) de la capa superconductora 5 o de la zona cubierta por ella del sustrato 2.

Sobre la capa superconductora 5 se ha depositado por su parte una capa protectora metálica 6 (por ejemplo, una aleación AuAg) con el grosor D_S. La capa protectora metálica 6 cubre en este caso a modo de cubierta la capa superconductora 5 y en este caso también la capa intermedia 4. Con sus flancos FL laterales la capa protectora metálica 6 sella también las superficies laterales de la capa superconductora 5, de manera que ésta en sección transversal está protegida por todos los lados frente a ataques químicos. Los flancos FL de la capa protectora metálica 6 tocan por el lado inferior la capa aislante 3, de manera que la capa aislante 3 impide un contacto eléctrico entre la capa protectora metálica 6 y el sustrato metálico 2. Los flancos FL tocan en este caso la capa aislante 3 particularmente en la zona que sobresale lateralmente frente a la capa superconductora 5. Los flancos FL aprovechan preferiblemente en este caso solo aproximadamente la mitad o menos de la zona sobresaliente lateralmente de la capa aislante 3 como superficie de apoyo.

El grosor D de la capa aislante 3 es suficiente para evitar una disrupción de la tensión DSL transversal entre el sustrato metálico 2 y la capa superconductora 5, y también una disrupción de la tensión DMS transversal entre el sustrato metálico 2 y la capa protectora metálica 6 hasta una tensión de al menos 25 V, preferiblemente de al menos 50 V. Dicho con otras palabras, en el caso de una diferencia de tensión de 25 V, preferiblemente 50 V, entre el sustrato metálico 2 por un lado y la capa protectora metálica 6 y la capa superconductora 5 (que normalmente presentan un potencial aproximadamente igual) por otro lado, aún no se da una disrupción de la tensión. Ha de tenerse en cuenta, que el grosor D necesario depende en este caso particularmente del material de la capa aislante 3. La tensión disruptiva aumenta al aumentar el grosor D.

En general, para la deposición de las capas 3, 4, 5, 6 pueden usarse respectivamente procedimientos conocidos en sí, por ejemplo, deposición por fase de gas química (CVD) y deposición por vapor física (PVD), incluyendo deposición por láser pulsado, o también deposición a partir de la fase líquida (deposición por solución química CSD o deposición orgánica de metal MOD, típicamente con revestimiento por inmersión, revestimiento por pulverización o impresión y posterior templado, sobre todo, para la capa aislante, habitualmente en un proceso de deposición de varias fases).

La Fig. 2 muestra otro elemento superconductor 1 en sección transversal como explicación general.

El sustrato metálico 2 está rodeado en este caso por todos lados por una capa de planarización 7, la cual se aplicó por ejemplo, mediante revestimiento por inmersión y templado. La capa de planarización 7 es no obstante, con su grosor d, relativamente delgada, por ejemplo, de aproximadamente 0,3 µm, y tiene por tanto solo una fuerza dieléctrica reducida.

En el lado superior del elemento superconductor 1 hay aplicada por lo tanto, una capa aislante 3 con el grosor D, con la que se pone a disposición una tensión disruptiva de al menos 25 V, preferiblemente al menos 50 V, del sustrato metálico 2 a una capa superconductora 5, la cual está dispuesta sobre una capa intermedia 4 dieléctrica, y con respecto a una capa protectora metálica 6. La capa protectora metálica 6 recubre en este caso por su parte a modo de cubierta la capa superconductora 5 y también la capa intermedia 4.

La capa aislante 3 sobresale por su parte lateralmente de la capa superconductora 5 claramente, no se proporciona sin embargo en este ejemplo, ninguna capa aislante en los lados cortos 16 del sustrato 2.

La Fig. 3a muestra en sección transversal una forma de realización de un elemento 1 superconductor según la invención.

El sustrato metálico 2 está rodeado en este caso en sección transversal por todos lados por una capa aislante 3, de manera que también el lado inferior 15 y los lados cortos 16 del sustrato 2, dispuestos a izquierda y derecha, quedan rodeados por la capa aislante 3. Sobre la capa aislante 3 se ha depositado una capa intermedia 4 dieléctrica, y sobre ésta, por su parte, una capa superconductora 5. Una capa protectora metálica 6 rodea a modo de cubierta la capa superconductora y también la capa intermedia. Los flancos FL de la capa protectora metálica 6 están dispuestos respectivamente sobre zonas de la capa aislante 3, las cuales sobresalen lateralmente de la capa superconductora 5 o de la zona del sustrato 2 rodeada por la capa superconductora 5.

La capa aislante 3 puede depositarse en este caso fácilmente mediante revestimiento por inmersión y templado, pudiendo llevarse a cabo para lograr una tensión disruptiva según la invención entre sustrato metálico 2 por un lado y capa protectora metálica 6 y capa superconductora 5 por otro lado, de al menos 25 V, preferiblemente de al menos 50 V, varias iteraciones de deposición para el establecimiento del grosor de capa D requerido.

La Fig. 3b muestra una sección longitudinal (a lo largo de la dirección de carga de la corriente) a través del elemento superconductor 1 de la Fig. 3a. Aproximadamente a la mitad de la extensión longitudinal del elemento superconductor 1 se proporciona una conexión eléctricamente conductora 8, por ejemplo, de un metal noble o de una aleación de metal noble, que une el sustrato metálico 2 con la capa superconductora 5. Debido a ello, se reduce aproximadamente a la mitad de forma efectiva, en caso de transición superconductora, la tensión externa que llega a través de la longitud L del elemento 1 superconductor, en lo que se refiere a la diferencia de tensión entre el sustrato 2 y la capa superconductora 5, y de esta manera se reduce el riesgo de una disrupción de la tensión a través de la capa aislante 3 de forma correspondiente.

La Fig. 3c muestra una vista inclinada esquemática del elemento 1 superconductor de las Figs. 3a y 3b; el plano de sección transversal de la Fig. 3a está marcado con IIIa, y el plano de sección longitudinal de la Fig. 3b está marcado con IIIb.

El elemento 1 superconductor sirve para cargar de manera superconductora una corriente que fluye en dirección de la flecha 10 (dirección longitudinal). El elemento superconductor tiene la longitud L y la anchura B. En el caso de transición superconductora, está a disposición como circuito de corriente de conducción normal para la capa superconductora, solo la capa protectora metálica 6, esta tiene no obstante, una configuración solo relativamente delgada, de manera que se obtiene una resistencia longitudinal de preferiblemente entre 5 y 100 ohmios por 1 cm de anchura (la resistencia longitudinal se determina a partir de la superficie de sección transversal de la capa protectora metálica 6 y la resistencia específica del material de la capa protectora). En el caso de una longitud L de por ejemplo, 1,50 m, una anchura B de 4 cm y una resistencia longitudinal de 20 ohmios por cada m de longitud y cada cm de anchura, se obtiene, por ejemplo, una resistencia absoluta de la capa protectora metálica 6 entre los lados frontales del elemento 1 superconductor de

$$R = (20 \text{ Ohmios} \cdot \text{cm/m}) \cdot 1,50 \text{ m} / 4 \text{ cm} = 7,5 \text{ ohmios}.$$

En la Fig. 4 se representa una conexión en serie de un elemento 1 superconductor según la invención y de otros elementos superconductores 11, 12, en este caso de igual construcción. A pesar de que en general solo se muestran tres elementos superconductores 1, 11, 12, la conexión en serie puede comprender también más elementos superconductores, aproximadamente 50 o más. Esta conexión en serie puede usarse por ejemplo como delimitador de corriente de falla resistivo para un consumidor conectado en serie, no representado con mayor detalle.

La conexión en serie está expuesta por una fuente de tensión externa 13 a una tensión $V_{\text{ext}}^{\text{tot}}$, que cae en caso de transición superconductora distribuida por los elementos superconductores 1, 11, 12. Ha de tenerse en cuenta, que en este caso los sustratos 2 metálicos están separados galvánicamente por la capa aislante 3 de las capas superconductoras 5 y de las capas de protección metálica 6s. A través del elemento 1 superconductor cae una proporción $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}$ de $V_{\text{ext}}^{\text{tot}}$ de L/L_{tot} , representando L_{tot} la suma de las longitudes L de los elementos 1, 11, 12 superconductores individuales; por norma, los espacios intermedios entre los elementos 1, 11, 12 superconductores insignificanamente pequeños en comparación con L_{tot} , aunque los sustratos 2 están aislados eléctricamente entre sí. Ha de tenerse en cuenta, que las capas superconductoras 5 están unidas entre sí de forma superconductora y en

caso de transición superconductora con conducción normal.

La tensión $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}$ que llega al elemento superconductor 1, cae de manera uniforme por la capa superconductora 5; se obtiene un campo eléctrico $E_{\parallel}$ de $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}/L$ en la capa superconductora 5. Mediante una distribución suficiente (particularmente una cantidad suficiente de elementos superconductores) puede mantenerse en este caso la intensidad de campo por debajo de una intensidad de campo crítica $E_{\parallel}^{\text{crit}}$, por encima de la cual se darían daños en la capa superconductora 5.

Dado que el sustrato 2 conduce eléctricamente, predomina allí en todos los lugares el mismo potencial eléctrico. Dado que los dos extremos de la capa superconductora 5 están expuestos no obstante, a $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}$, puede predominar entre el sustrato 2 y la capa superconductora 5 una diferencia de tensión local de hasta $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}$, que no puede dar lugar a una disrupción de la tensión perpendicular a través de la capa aislante 3, cuando ha de evitarse una participación del sustrato 2 en la conducción de la corriente en caso de transición superconductora. En correspondencia, la intensidad de campo $E_{\perp}$ transversal es en este caso en la capa aislante 3 $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}/D$, describiendo D el grosor de capa de la capa aislante 3. Ha de tenerse en cuenta, que en caso de uso con una unión eléctrica central (véase la Fig. 3b), la tensión que llega se reduce de forma efectiva a la mitad en lo que se refiere a $E_{\perp}$.

La intensidad de campo disruptiva $E_{\perp}^{\text{crit}}$ transversal es una propiedad de material del material incorporado en la capa aislante 3. Si ésta se conoce, y también se conoce la tensión externa que llega $V_{\text{ext}}^{\text{elem}}$, puede determinarse con ello, el grosor D requerido, preferiblemente con una distancia de seguridad. En caso de proporcionarse adicionalmente a la capa aislante 3 otras capas dieléctricas entre el sustrato 2 y la capa superconductora 5, y entre el sustrato 2 y la capa protectora metálica 6 (por ejemplo, una capa de planarización o una capa intermedia dieléctrica), éstas pueden reducir el grosor de capa D requerido de la capa aislante 3. Solo una capa dieléctrica de este tipo, que separa tanto el sustrato 2 y la capa superconductora 5 como el sustrato 2 y la capa protectora metálica 6 por la totalidad de las correspondientes anchuras, puede contribuir en este caso a la reducción del grosor de capa D requerida (en la forma de construcción de la Fig. 1, la capa intermedia 4a dieléctrica no puede contribuir, dado que lateralmente no llega hasta por debajo de la totalidad de la capa protectora metálica 6. En la Fig. 2 solo puede contribuir la capa de planarización 7. En la Fig. 3a por su parte, no puede contribuir la capa intermedia 4 dieléctrica, dado que no alcanza lo suficiente lateralmente). En este caso, puede aproximarse el aporte de las otras capas dieléctricas a través de su grosor d y la proporción de las constantes dieléctricas de la capa aislante 3 y de una correspondiente capa i dieléctrica adicional, como se indica en la reivindicación 15.

Los elementos 1, 11, 12 superconductores presentan según la invención tensiones disruptivas de 25 V o más, preferiblemente de 50 V o más. Debido a ello, pueden manejarse también tensiones externas en el rango kV, que se requieren para delimitadores de corriente de falla superconductores, con un número controlable de elementos superconductores 1, 11, 12, conectados en serie.

Un elemento superconductor típico según la invención, presenta como sustrato una banda de acero inoxidable con un grosor de entre 50 μm y 200 μm , de forma preferida aproximadamente 100 μm y una anchura de 20 a 80 mm, de forma preferida aproximadamente 40 mm, además una capa aislante, preferiblemente de circonio estabilizado con itrio, con un grosor de entre 1,5 μm y 10 μm (siendo suficiente el grosor, dependiendo de la calidad de material, para garantizar una tensión disruptiva de al menos 25 V), además opcionalmente una capa intermedia, por ejemplo, de CeO_2 , con un grosor de entre 0,05 μm y 0,2 μm , preferiblemente 0,1 μm , además, una capa superconductora, preferiblemente una capa superconductora de alta temperatura, por ejemplo, de YBCO, con un grosor de entre 0,8 μm y 4 μm , preferiblemente entre 1 μm y 2 μm , y además, una capa protectora metálica, por ejemplo, de una aleación Ag-Au (50% en peso/ 50 % en peso). Un elemento superconductor puede presentar en este caso una longitud de 0,5 m o más. En el caso de una estructura de este tipo se superaron múltiples transiciones superconductoras con una duración de respectivamente 300 segundos de duración.

Ha de tenerse en cuenta, que en este caso pueden determinarse magnitudes indicadas cuantitativamente, dependientes de propiedades de material, particularmente una resistencia longitudinal de la capa protectora metálica y la tensión disruptiva transversal, a temperatura ambiente (20 °C).

La invención describe en resumen un conductor de banda superconductor, particularmente conductor de banda HTSL, estando cubierta su capa superconductora (película superconductora) con una capa protectora metálica, y separando eléctricamente una capa aislante su sustrato metálico (banda de sustrato) de la capa superconductora y de la capa protectora metálica. En este caso, la capa aislante supera en sección transversal perpendicularmente con respecto a la dirección longitudinal (dirección de carga de corriente) del conductor de banda, por ambos lados, la zona de superficie cubierta por la capa superconductora y preferiblemente también por la capa aislante metálica, del sustrato metálico (típicamente con una proyección de respectivamente al menos 1 mm, preferiblemente al menos 2 mm) y la capa aislante cubre también completamente los lados cortos del sustrato, o rodea incluso completamente el sustrato metálico. La capa aislante tiene un grosor tal, que impide una disrupción de la tensión transversal o una disrupción de la tensión perpendicularmente a través de la capa aislante hasta al menos 25 V, preferiblemente hasta al menos 50 V. La tensión que llega en caso de transición superconductora, entre el sustrato metálico por un lado y por otro lado la capa superconductora (o la capa protectora metálica, que esencialmente está en el mismo potencial eléctrico que la capa superconductora) produce en este caso un campo eléctrico, que se extiende esencialmente en

perpendicular a través de la capa aislante (y en particular esencialmente en perpendicular a través de las superficies de límite de la capa aislante con el sustrato metálico y con la capa superconductora o la capa protectora metálica). En el caso de transición superconductora, el sustrato metálico económico y de buen manejo no contribuye entonces al flujo de corriente de conducción normal, debido a lo cual, se reduce un calentamiento del conductor de banda, y de esta forma se facilita y se acelera un retorno al estado superconductor.

5

REIVINDICACIONES

1. Elemento superconductor (1), que comprende un sustrato metálico (2), una capa aislante (3), una capa superconductora (5) y una capa protectora metálica (6), estando dispuesta la capa aislante (3) entre el sustrato (2) y la capa superconductora (5),
5 extendiéndose la capa aislante (3) en una sección transversal del elemento superconductor (1) por ambos extremos más allá de la zona (B_{SL}) del sustrato (2) cubierta por la capa superconductora (5),
y separando galvánicamente la capa aislante (3) la capa superconductora (5) y la capa protectora metálica (6) del sustrato (2),
10 caracterizado por que
un grosor D de la capa aislante (3) se elige de tal forma que el elemento superconductor (1) presenta una tensión disruptiva transversal del sustrato (2) metálico con respecto a la capa superconductora (5) y con respecto a la capa protectora metálica (6) de al menos 25 V,
y por que la capa aislante (3) cubre en sección transversal también los lados cortos (16) del sustrato (2)
15 completamente.
2. Elemento superconductor (1) según la reivindicación 1, caracterizado por que la capa protectora metálica (6) toca la capa aislante (3).
- 20 3. Elemento superconductor (1) según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por que la capa protectora metálica (6) rodea en sección transversal a modo de cubierta la capa superconductora (5).
4. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la capa aislante (3) también cubre un lado inferior (15), dirigido en sentido opuesto a la capa superconductora (5), del sustrato (2).
- 25 5. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que, adicionalmente a la capa aislante (3), está prevista una capa de planarización (7), que se ha depositado sobre el sustrato (2).
6. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el grosor D de la capa aislante (3) se elige de tal forma que el elemento superconductor (1) presenta una tensión disruptiva transversal del sustrato metálico (2) con respecto a la capa superconductora (5) y con respecto a la capa protectora metálica (6) de al menos 50 V, preferiblemente de al menos 100 V, de manera particularmente preferida de al menos 300 V.
- 30 7. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la capa aislante (3) contiene uno o varios óxidos de metal,
particularmente óxido de circonio estabilizado mediante itrio, óxido de circonio, óxido de itrio, titanato de estroncio, óxido de aluminio, óxido de cerio, circonato de gadolinio, circonato de bario y/u óxido de magnesio.
- 35 8. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que el elemento superconductor (1) contiene una capa intermedia (4), estando dispuesta la capa intermedia (4) entre la capa aislante (3) y la capa superconductora (5), conteniendo particularmente la capa intermedia (4) al menos una subcapa (4a) dieléctrica.
- 40 9. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en la sección longitudinal del elemento superconductor (1) hay configurada aproximadamente en la mitad de la capa aislante (3) una unión eléctricamente conductora (8) entre el sustrato metálico (2) y la capa superconductora (5).
- 45 10. Elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que la capa protectora metálica (6) presenta una resistencia longitudinal en la dirección longitudinal del elemento superconductor (1) de entre 5 y 100 ohmios por cada m de longitud (L) y por cada cm de anchura (B) del elemento superconductor (1), preferiblemente entre 15 y 40 ohmios por cada m de longitud (L) y por cada cm de anchura (B) del elemento superconductor (1).
- 50 11. Uso de un elemento superconductor (1) según una de las reivindicaciones anteriores, en una fuente de tensión (13) exterior, a través de la cual llega, en caso de transición superconductora del elemento superconductor (1), una tensión exterior V_{ext}^{elem} al elemento superconductor (1),
55 eligiéndose la longitud L del elemento superconductor (1) de tal forma que el campo eléctrico $E_{||}$ resultante en caso de transición superconductora a lo largo del elemento superconductor (1), que se obtiene con $E_{||} = V_{ext}^{elem}/L$ es menor que un campo eléctrico crítico $E_{||}^{crit}$, el cual puede soportar la capa conductora (5) todavía sin daños,
60 y eligiéndose el grosor D de la capa aislante (3) del elemento superconductor (1) de tal forma que es válido:

$$D \geq k \cdot \left[\frac{E_{||} \cdot L}{m \cdot E_{\perp}^{crit}} - \sum_i \frac{\epsilon_i \cdot d_i}{\epsilon_{iso}} \right]$$

con i : variable de cantidad de capas dieléctricas del elemento superconductor (1) respectivamente tanto entre sustrato (2) y capa superconductora (5) como entre sustrato (2) y capa protectora metálica (6) sin la capa aislante (3), ϵ_i : constante dieléctrica de la i -ésima capa eléctrica, ϵ_{iso} : constante dieléctrica de la capa aislante (3), d_i : grosor de la i -ésima capa dieléctrica, $E_{\perp}^{crit}$: intensidad de campo disruptiva transversal en la capa aislante (3); m : parámetro geométrico con $m = 2$ para con y $m = 1$ para sin una unión eléctricamente conductora (8) configurada en sección longitudinal aproximadamente en el centro de la capa aislante (3), entre el sustrato metálico (2) y la capa superconductora (5), y k : parámetro de seguridad con $k \geq 1$.

12. Uso según la reivindicación 11, caracterizado por que es válido:

$$0,5 \text{ V/cm} \leq E_{\perp}^{crit} \leq 10 \text{ V/cm},$$

y/o

$$2 \cdot 10^3 \text{ V/cm} \leq E_{\perp}^{crit} \leq 5 \cdot 10^5 \text{ V/cm}.$$

13. Uso según la reivindicación 11 o 12, caracterizado por que $L \geq 50 \text{ cm}$, preferiblemente $L \geq 150 \text{ cm}$, de manera particularmente preferida $L \geq 200 \text{ cm}$.

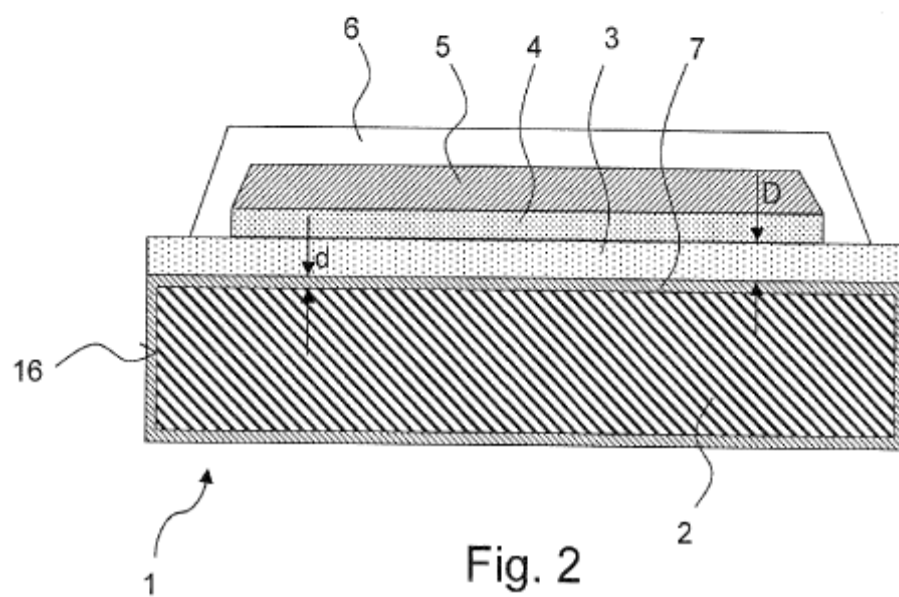
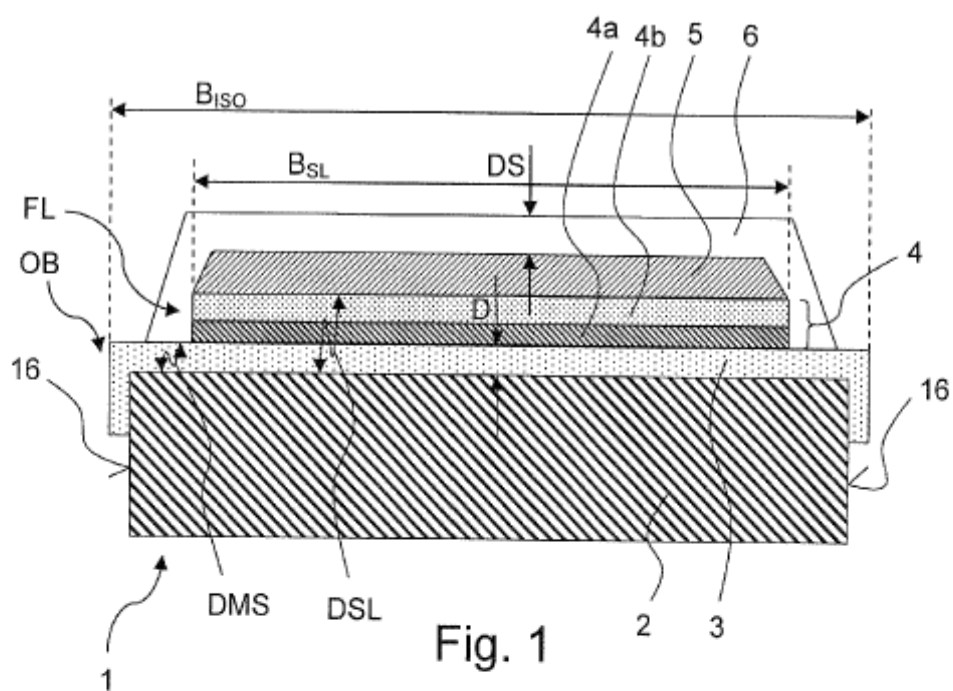
14. Uso según una de las reivindicaciones 11 a 13, caracterizado por que el elemento superconductor (1) está integrado en una conexión en serie de más elementos superconductores (11, 12), cuyas capas superconductoras (5) están unidas eléctricamente entre sí y cuyos sustratos (2) están aislados eléctricamente entre sí, y por que la tensión exterior V_{ext}^{elem} que llega al elemento superconductor (1) en caso de transición superconductora del mismo, se obtiene a partir de

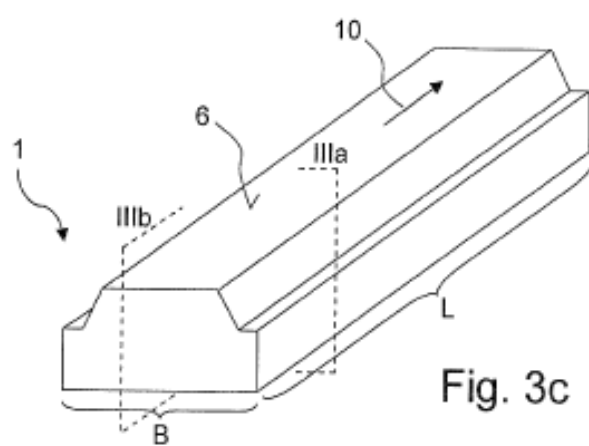
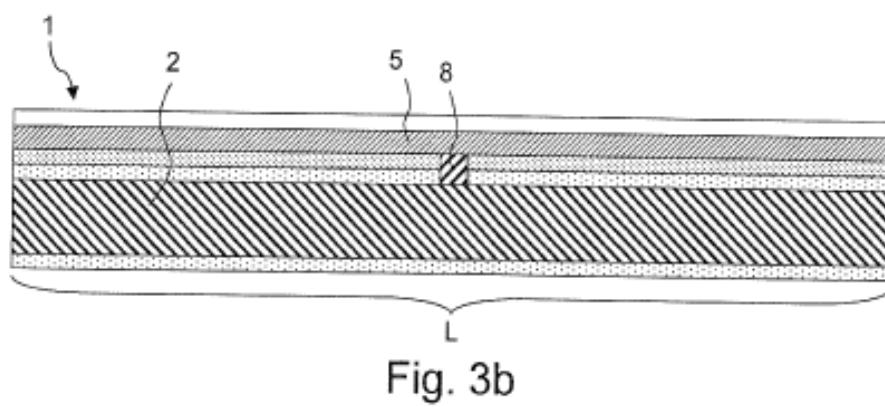
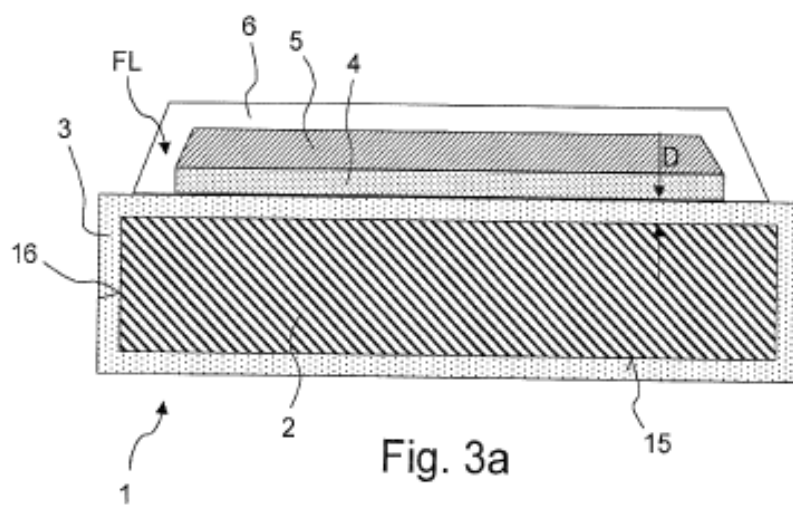
$$V_{ext}^{elem} = V_{ext}^{tot} \cdot L / L_{tot},$$

con V_{ext}^{tot} : tensión total que llega mediante la fuente de tensión exterior (13) a través de la conexión en serie del elemento superconductor (1) y los demás elementos superconductores (11, 12), y L_{tot} : suma de la longitud del elemento superconductor (1) y de las longitudes de los demás elementos superconductores (11, 12).

15. Uso según la reivindicación (14), caracterizado por que es válido:

$$V_{ext}^{tot} \geq 10 \text{ kV}.$$





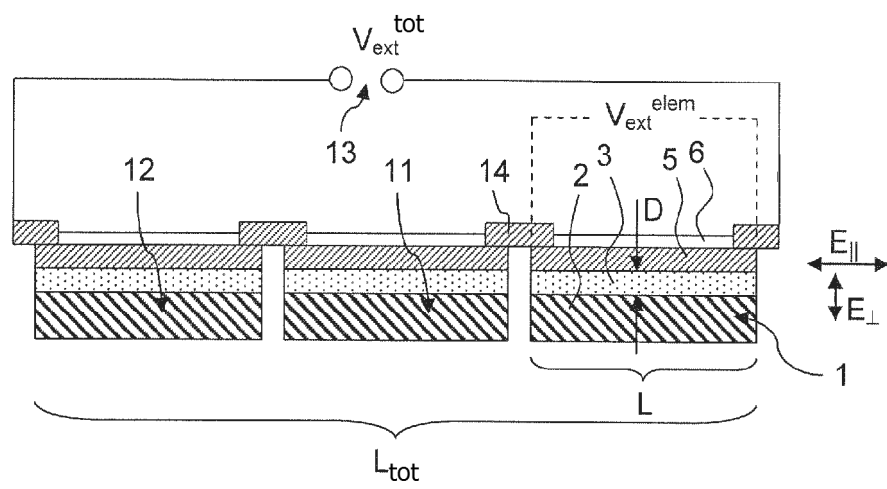


Fig. 4