



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



⑪ Número de publicación: **2 553 261**

⑮ Int. Cl.:
H01L 39/14
(2006.01)

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑯ Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2006 E 06851624 (4)**

⑯ Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.10.2015 EP 1925040**

④ Título: **Cables y bobinas superconductores a altas temperaturas**

⑩ Prioridad:
29.07.2005 US 703815 P

⑤ Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.12.2015

⑬ Titular/es:
**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION (100.0%)
TWO TECHNOLOGY DRIVE
WESTBOROUGH, MA 01581-1727, US**

⑭ Inventor/es:
**KODENKANDATH, THOMAS;
ZHANG, WEI;
HUANG, YIBING;
LI, XIAOPING;
SIEGAL, EDWARD J. y
RUPICH, MARTIN W.**

⑮ Agente/Representante:
LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 553 261 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

Cables y bobinas superconductores a altas temperaturas

Campo de la invención

5 La presente invención se relaciona en general con cables superconductores a alta temperatura. En particular, la invención se relaciona con cables o cintas superconductores a alta temperaturas, recubiertos, también llamados de segunda generación. La presente invención también se relaciona con estructuras superconductoras que pueden mantener una corriente constante en orientaciones variantes de campo magnético.

10 Antecedentes de la invención

Desde el descubrimiento de materiales superconductores a altas temperaturas (HTS) (superconductores por encima de la temperatura del nitrógeno líquido de 77 K) ha adherido esfuerzos para desarrollar diversas aplicaciones de ingeniería utilizando tales materiales HTS. En dispositivos y cables superconductores de película delgada, los progresos principales se han hecho con la fabricación de dispositivos que utilizan un superconductor de óxidos que incluyen ytrio, bario, cobre y oxígeno en la composición básica bien conocida de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\text{X}}$ (denominada de aquí en adelante como Y123). También se han hecho progresos con composiciones que contienen elementos de tierras raras ("RE") sustituyendo parcialmente Y. Óxidos de metales superconductores texturados biaxialmente, tales como Y123 han alcanzado densidades de corriente alta críticas en una arquitectura de conductores recubiertos. Estos cables, frecuentemente denominados como cables HTS de segunda generación, son el material preferido para muchas aplicaciones, incluyendo cables, motores, generadores, condensadores síncronos, transformadores, limitadores de corriente y sistemas de magneto para usos militares, física de alta energía, procesamiento de materiales, transporte y médicos.

25 La capacidad de conducción de corriente de los materiales HTS está relacionada fuertemente con su alineamiento cristalino o textura. Los granos de superconductor de óxido típicamente están alineados con su eje c perpendicular al plano de la superficie del cable y al plano ab paralelo a la superficie del cable. Los contornos del grano formados por el desalineamiento de granos HTS cristalinos vecinos es conocido por formar un obstáculo al flujo de corriente superconductora, pero este obstáculo disminuye con el grado creciente de alineamiento de la textura. Por lo tanto, 30 para convertir el material en un producto comercialmente viable, por ejemplo un cable HTS, el material de HTS debe mantener un alto grado de alineamiento cristalino o textura a lo largo de distancias relativamente largas. Por otro lado, la capacidad de conducción de corriente superconductora (densidad de corriente crítica) será limitada.

35 Los materiales HTS pueden ser fabricados con un alto grado de alineamiento o textura cristalográficos sobre grandes áreas haciendo crecer una capa delgada del material de manera epitaxial sobre la parte superior de un sustrato en forma de cinta, fabricado de tal manera que tenga un alto grado de textura cristalográfica en su superficie. Cuando el material HTS cristalino se hace crecer de manera epitaxial sobre su superficie, el alineamiento cristalino del material HTS crece para coincidir con la textura del sustrato. En otras palabras, la textura del sustrato provee una plantilla para el crecimiento epitaxial del material HTS cristalino. Adicionalmente, el sustrato provee integridad estructural a la capa de HTS.

40 Un sustrato puede ser texturizado para proveer una patrón que produzca una capa de HTS epitaxial. Pueden utilizarse, entre otros, materiales tales como níquel, cobre, plata, hierro, aleaciones de plata, aleaciones de níquel, aleaciones de hierro, aleaciones de acero inoxidable y aleaciones de cobre. El sustrato puede ser texturizado utilizando un proceso de deformación, tal como uno que involucre fusión por laminado y recristalización del sustrato. Un ejemplo de tal proceso es el proceso del sustrato texturizado biaxialmente asistido por laminado (RABiTS). En 45 este caso pueden procesarse grandes cantidades de metal de manera económica por un proceso de deformación y fusión y se puede alcanzar un alto grado de textura.

50 Una o más capas de amortiguador pueden ser depositadas o hacerse crecer sobre la superficie del sustrato con una plantilla cristalográfica adecuada sobre la cual crece el material HTS. Las capas amortiguadoras también pueden proveer el beneficio adicional de evitar la difusión de los átomos desde el material del sustrato hacia la red cristalina del material HTS o de oxígeno hacia el material del sustrato. Esta difusión, o "envenenamiento", puede perturbar el alineamiento cristalino y por tanto degradar las propiedades eléctricas del material HTS. Las capas de amortiguadores también pueden proveer una adhesión potenciada entre el sustrato y la capa de HTS. Además, las capas de amortiguador pueden tener un coeficiente de expansión térmica que coincide bien con la del material superconductor. Para la implementación de la tecnología en aplicaciones comerciales, a donde el cable puede estar sometido a tensiones, esta característica es deseable porque puede ayudar a evitar la deslaminación de la capa de HTS del sustrato.

55 Alternativamente, puede utilizarse un sustrato no texturizado tal como Hastelloy, y capas de amortiguador texturizadas depositadas por medios tales como la deposición asistida por haces de iones (IBAD) o deposiciones en

sustrato inclinado (ISD). Pueden depositarse opcionalmente capas adicionales de amortiguador de forma epitaxial sobre las capas de IBAD o ISD para proveer la plantilla final para la deposición epitaxial de una capa de HTS.

Utilizando una combinación adecuada de sustrato y una o más capas de amortiguador como plantilla, una capa de HTS puede hacerse crecer de manera epitaxial con excelente alineamiento o textura cristalina, teniendo también

5 buena adhesión a la superficie de la plantilla, y con una barrera suficiente al envenenamiento por átomos de sustrato. La capa de HTS puede ser depositada por cualquier variedad de métodos, incluyendo el proceso de deposición metal-orgánico (MOD), deposición por vapor químico metal-orgánico (MOCVD), deposición por láser pulsado (PLD), evaporación térmica o por haces de electrones, u otros métodos apropiados. Finalmente, puede agregarse una capa de cubrimiento al ensamblaje multicapa, el cual ayuda a evitar la contaminación y el daño de la

10 capa HTS desde arriba. La capa de cubrimiento puede ser, por ejemplo, plata, y puede ser asperjada, por ejemplo, sobre la capa de HTS.

El desarrollo del cable de HTS continua en la búsqueda de mejoras en la densidad de corriente crítica, en particular, la densidad de corriente crítica en campos magnéticos y temperaturas elevadas ($J_c(H,T)$). Esta mejora puede

15 obtenerse mejorando la "sujeción" de los vórtices superconductores, el cual ese mecanismo subyacente para una densidad de corriente J_c crítica alta en materiales HTS. Para alcanzar la sujeción en los superconductores, las diferencias en energía potencial locales deben hacerse coincidentes en tamaño tan cercanamente como sea posible con el tamaño del núcleo normal de la línea de flujo superconductora o vórtex. El núcleo transversal tiene un tamaño

20 del orden de la longitud de coherencia, la cual es de varios nanómetros en cupratos superconductores a alta temperatura y se incrementa con la temperatura. Así, se introducen defectos dimensionados en nanómetros en los

25 granos superconductores de óxido para sujetar líneas de flujo y mejorar las propiedades de transporte de corriente en un campo magnético.

Las propiedades de transporte de corriente de las capas cristalográficamente alineadas de superconductores de óxido dependen de la orientación del campo magnético. La figura 1 muestra la dependencia en campo típica de una

25 película Y123 depositada por metal-orgánico (MOD) típica sobre un sustrato metálico amortiguado con óxido con un campo magnético orientado en paralelo y perpendicular a la cara plana de la película. Tanto a 27K como a 75K, con el campo magnético orientado perpendicularmente a la cara plana de la película, hay un descenso significativo en I_c a partir del valor en orientación paralela, limitando la utilidad de los cables Y123 en muchas aplicaciones en bobinas. Muchas aplicaciones anticipadas se planean para temperaturas en la región de 55 a 65K, en campos magnéticos de

30 1-3 Tesla orientados perpendicularmente a la cara plana de la película, las cuales son condiciones a las cuales el rendimiento cae significativamente. Además del rendimiento en paralelo y perpendicular de los cables Y123 en el campo magnético, es importante examinar el rendimiento del campo en ángulos intermedios tales como los

35 mostrados en la figura 2. Como se ve en la figura 2, las películas Y123 típicamente muestran un pequeño pico en el eje c (0° y 180° o perpendiculares a la cara plana de la película Y123), los cuales pueden ser potenciados a través de la presencia de defectos planos o lineales extendidos (por ejemplo, contornos gemelos, contornos del grano, granos con eje a).

En muchas aplicaciones, por ejemplo, motores y bobinas magnéticas, los cables HTS experimentarán variaciones

40 locales en la orientación del campo magnético, de tal manera que el campo magnético experimentado en una región del cable puede ser bastante diferente del campo magnético experimentado en otra región del cable. En tales aplicaciones el comportamiento del cable Y123 está determinado por el rendimiento mínimo en cualquier orientación

45 del campo magnético, y no solamente por aquel en la orientación perpendicular. Así, el cable HTS demuestra reducciones en densidad de corriente en regiones en donde el campo magnético se desvía de una orientación óptima.

El documento U.S.-A-2005/007227 describe superconductores de tierras raras- Ba-Cu-O que tienen densidad de

45 corriente crítica mejorada y métodos para hacer los mismos. Estos superconductores comprenden una caída en J_c de menos de un factor de aproximadamente 7 a una temperatura entre aproximadamente 30k hasta

50 aproximadamente 77k, y a un campo magnético de aproximadamente 1 Tesla, cuando el campo magnético es aplicado normal a la superficie del conductor, en comparación con una J_c sin presencia de campo magnético. Estos

55 superconductores, cuando se aplica un campo magnético perpendicular a la superficie HTS tienen un pico de J_c que es aproximadamente 50-90%, y cuando se aplica un campo magnético en cualquier orientación con respecto a la

superficie de HTS tienen un valor de J_c que es al menos 50% del J_c pico que existe cuando el campo magnético es

aplicado paralelo a la superficie de superconductor.

La U.S. 5428005 divulga una película delgada superconductora de un compuesto de material óxido depositado sobre un sustrato que comprende una pluralidad de capas unitarias orientadas en el eje a o en el eje b o en eje c laminadas alternativamente.

55 Resumen

Se describen cables superconductores a altas temperaturas (HTS), los cuales pueden ser utilizados en aplicaciones y dispositivos que experimentan diferentes orientaciones de campo magnético en diferentes localizaciones dentro del cable o dispositivo. Los cables HTS contienen al menos dos capas superconductoras, cada una de las cuales es

seleccionada en cuanto a su comportamiento en una orientación particular del campo magnético. Seleccionando una combinación de capas superconductoras, el cable HTS exhibe comportamiento óptimo en campos magnéticos orientados paralelos a la superficie del cable ($H//ab$) o, perpendiculares a la superficie del cable ($H//c$), o en orientaciones intermedias.

- 5 La presente invención está definida en las reivindicaciones anexas.

En un aspecto de la invención, un cable superconductor incluye al menos primera y segunda capas superconductoras dispuestas sobre uno o más sustratos en relación de apilamiento. La primera capa superconductora incluye un primer óxido superconductor a alta temperatura seleccionado para proveer una primera relación predeterminada de corriente crítica en un campo magnético paralelo a la superficie de la capa superconductora con respecto a la corriente crítica en un campo magnético perpendicular a la superficie de la capa superconductora ($Ic(H//ab)/Ic(H//c)$), y la segunda capa superconductora incluye una segunda capa superconductora a alta temperatura seleccionada para proveer una segunda relación predeterminada de corriente crítica en un campo magnético paralelo a la superficie de la capa superconductora con respecto a corriente crítica en un magnético perpendicular a la superficie de la capa superconductora ($Ic(H//ab)/Ic(H//c)$). La primera y segunda capas superconductoras, en combinación, proveen una corriente crítica Ic global predeterminada en una orientación de campo magnético preseleccionada. La primera y segunda capas superconductoras están orientadas en el eje c y la primera capa superconductora es seleccionada para proveer una corriente crítica más alta en un campo magnético perpendicular a la superficie de la capa superconductora que la segunda capa superconductora y la segunda capa superconductora es seleccionada para proveer una corriente crítica más alta en un campo magnético paralelo a la superficie de la capa superconductora que la primera capa superconductora.

La primera relación predeterminada para ($Ic(H//ab)/Ic(H//c)$) es menor que o igual a 2.6, es menor que 2.0, o menor que 1.5, en un campo magnético aplicado de 1Tesla o mas, por ejemplo en el rango de aproximadamente 1 Tesla a aproximadamente 6 Tesla.

25 En una o más realizaciones, el superconductor a alta temperatura incluye un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras que incluye dos o más elementos de tierras raras, por ejemplo, uno o más de erbio y holmio. El holmio y el erbio están presentes en una cantidad en el rango de 25% a 150% de la cantidad estequiométrica de tierras raras en el óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras.

30 En uno o más realizaciones, el superconductor a alta temperatura incluye un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras y al menos una segunda fase de nanopartículas que comprende un compuesto que contiene un metal localizado con un grano de superconductor de óxido.

35 En una o más realizaciones, la primera o la segunda composición superconductora a alta temperatura es seleccionada para proveer corriente crítica (Ic) potenciada en la presencia de campos magnéticos orientados en paralelo a la superficie de la capa superconductora ($H//b$). La segunda relación predeterminada para ($Ic(H//ab)/Ic(H//c)$) es mayor de 2.5, o mayor de 3.5, o mayor de 5.5, en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o más, por ejemplo, en el rango de aproximadamente 1 Tesla a aproximadamente 6 Tesla.

40 En una o más realizaciones, el superconductor a alta temperatura incluye un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras, en donde la relación de cobre a alcalinotérreo es mayor de 1.5.

45 En uno o más realizaciones, los espesores de la primera y segunda capas superconductoras son diferentes, los espesores de la primera y segunda capas superconductoras se seleccionan para proveer una corriente crítica global predeterminada en una orientación del campo magnético seleccionada. Pueden incluirse capas seleccionadas que potencian la densidad de corriente crítica en campos magnéticos bien sea paralelo o perpendiculars a la superficie de la capa superconductora.

En una o más realizaciones, la orientación del campo magnético seleccionada está entre $0^\circ(H//c)$ y $90^\circ(H//ab)$.

50 En una o más realizaciones, el cable superconductor incluye un primer elemento de recubrimiento. El primer elemento de recubrimiento incluye un primer sustrato, al menos una primera capa de amortiguación dispuesta sobre el primer sustrato y que soporta la primera capa superconductora, y una primera capa protectora metálica dispuesta sobre la primera capa superconductora. El segundo elementos de recubrimiento incluye un segundo sustrato, al menos una segunda capa amortiguadora dispuesta sobre el segundo sustrato y que soporta la segunda capa superconductora, y una segunda capa protectora metálica dispuesta sobre la segunda capa superconductora.

55 En una o más realizaciones, el cable superconductor incluye una capa de enlazamiento intercalada dispuesta entre el primero y segundo elementos de recubrimiento de tal manera que el primer y segundo elementos de recubrimiento están unidos en el primer y segundo sustratos, o una capa de enlazamiento intercalada dispuesta entre el primero y el segundo elementos de recubrimiento de tal manera que el primero y segundo elementos de recubrimiento están unidos en la primera y segunda capas protectoras metálicas.

También se divulga un método para hacer un dispositivo superconductor a alta temperatura. El método que no forma parte de la presente invención incluye

proveer una longitud de cables superconductor que comprende una primera región

- que comprende una composición superconductora a alta temperatura de alta $I_c(H//c)$, una segunda región que comprende una composición superconductora a alta temperatura de alta $I_c(H//ab)$, y una tercera región que comprende una mezcla de la composición superconductora a alta temperatura de alta $I_c(H//c)$ y la composición superconductora a alta temperatura de alta $I_c(H//ab)$, y dispone la longitud del superconductor en el dispositivo de tal manera que la primera región ocupa una localización en el dispositivo que experimenta una orientación de campo magnético perpendicular (0°) al cable de alta temperatura, la segunda región ocupa una localización en el dispositivo que experimenta una orientación de campo magnético paralela (90°) al cable de alta temperatura, y la tercera región ocupa una localización en el dispositivo que experimenta una orientación de campo magnético entre 0° y 90° .

- 10 El dispositivo puede ser una bobina. La primera región del cable superconductor a alta temperatura está posesionada en los extremos de la bobina; la segunda región del cable superconductor a alta temperatura está posesionada en el interior de la bobina; y la tercera región del cable superconductor a alta temperatura está posesionada entre la primera y segunda regiones.

También se divulga un artículo que incluye un cable superconductor que comprende una capa superconductora a alta temperatura, en donde el artículo experimenta un campo magnético de orientaciones que difieren en diferentes localizaciones en el artículo, y en donde la composición de la capa superconductora a alta temperatura es variada a lo largo de su longitud para acomodarse a la orientación del campo magnético en una localización dada.

- 15 20 El artículo que no forma parte de la presente invención

es una bobina, y en operación, la bobina experimenta campos magnéticos inducidos que varían desde sustancialmente paralelos al plano de la capa superconductora hasta sustancialmente perpendiculares al plano de la capa superconductora.

- 25 La composición del cable superconductor es primariamente una composición superconductora a alta temperatura con alta $I_c(H//c)$ en una primera región de la bobina que experimenta campos magnéticos perpendiculares a la superficie de la capa superconductora durante su operación; la composición del cable superconductor comprende primariamente una composición superconductora a alta temperatura con alta $I_c(H//ab)$ en una segunda región de la bobina que experimenta campos magnéticos que son sustancialmente paralelos a la superficie de la capa superconductora durante la operación; y la composición del cable superconductor comprende una mezcla de una composición superconductora a alta temperatura $I_c(H//c)$ y una composición superconductora a alta temperatura con alta $I_c(H//ab)$ en una región de la bobina que experimenta campos magnéticos que están en un ángulo de entre 0 y 90 grados con respecto a la superficie de la capa superconductora durante su operación.

- 30 35 La selección de capas superconductoras con diferentes comportamientos en el transporte de corriente en diferentes campos magnéticos altera la anisotropía de I_c a lo largo de las direcciones $H//ab$ y $H//c$. En particular, I_c y por tanto J_c , se incrementan a lo largo de $H//c$ sin reducir la capacidad de I_c a lo largo de $H//ab$.

Por "relación de apilamiento" se entiende que los elementos están dispuestos en una pila, por ejemplo, en una relación de superposición uno a otro en donde las capas pueden estar en contacto o pueden tener una o más capas intercaladas entre ellos. No se sugiere o implica un orden de apilamiento.

Breve descripción de los dibujos

- 40 45 La invención se describe con referencia a las siguientes figuras en las cuales referencias iguales se refieren a elementos iguales y que se presentan para los propósitos de ilustración únicamente y no pretenden ser limitantes de la invención.

La figura 1 ilustra la corriente crítica (I_c) para un cable HTS de Y-123 en campos magnéticos (H) de fuerza creciente y con campos magnéticos orientados en paralelos ($W//ab$, $\Theta = 90^\circ$) y en perpendicular ($H//c$, $\Theta = 0^\circ$) a la cara plana de la película a 26 K y 75K.

- 45 La figura 2 ilustra el comportamiento del campo magnético (I_c) en orientaciones de campo magnético intermedias ($0^\circ < \Theta < 90^\circ$) para los cables HTS de la figura 1 a campos magnéticos aplicados de 1-7T.
- 50 La figura 3 ilustra la distribución de campo magnético alrededor de los giros terminales de un electromagneto solenoide.

La figura 4 es una ilustración en sección transversal de un cable HTS de dos capas que tiene dos capas superconductoras con (C) alta $I_c(H//ab)$; (B) alta $I_c(H//c)$ y (A) una capa de alta $I_c(H//ab)$ y $I_c(H//c)$; y la Figura 4D es una ilustración en sección transversal de un cable HTS de dos capas que tiene una intercapa de cobre.

- 5 La figura 5 es una ilustración en sección transversal de un cable HTS de doble lado que tiene dos capas superconductoras con (C) alta $I_c(H//ab)$, (B) alta $I_c(H//c)$ y (A) una capa de cada una de
- 10 alta $I_c(H//ab)$ y $I_c(H//c)$.

La figura 6 es una gráfica de corriente crítica (I_c) versus orientación del campo magnético (Θ) a 75 K para óxidos superconductores de diversas composiciones, medida a 1Ty 3T.

- 15 La figura 7 es una ilustración en sección transversal de dos ensamblajes HTS unidos en sus respectivos sustratos, en la cual un primer ensamblaje tiene una capa de superconductor que tiene alta $I_c(H//ab)$ y el segundo ensamblaje tiene una segunda capa superconductora que tiene alta $I_c(H//c)$.
- 20 La figura 8 es una ilustración en sección transversal de dos ensamblajes HTS unidas en sus respectivas capas de cubierta, en la cual un primer ensamblaje tiene una capa superconductora que tiene alta $I_c(H//ab)$ y el segundo ensamblaje tiene una segunda capa superconductora que tiene una alta $I_c(H//c)$.

- 25 La figura 9 es una ilustración en sección transversal de dos ensamblajes HTS unidos en sus respectivos sustratos y rodeados por una estructura eléctricamente conductora.
- 25 La figura 10 es una ilustración pictórica de un proceso de laminación utilizado para hacer un cable HTS laminado de acuerdo con una o más realizaciones de la presente invención.

- 30 La figura 11 ilustra un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo usado para manufacturar un cable de HTS de acuerdo con una o más realizaciones de la presente invención.
- 30 La figura 12 es una gráfica de la corriente crítica (I_c) versus la orientación del campo magnético (Θ) a 77 K y 1 Tesla del cable HTS descrito en el ejemplo 3.

Descripción detallada

- 35 La figura 3 muestra una gráfica bidimensional de la distribución de campo magnético alrededor de los giros 300 de extremo de un electro magneto 310 solenoide, la cual demuestra que tanto la fuerza del campo (H) (designada en flechas de diferentes colores, en donde los colores corresponden a las fuerzas de campo mostradas en la barra lateral de la figura 3) y la orientación de campo (Θ) (designada por la orientación de flecha) varían dramáticamente en diferentes localizaciones en la bobina. Un cable HTS que es optimizado para corriente eléctrica que porta propiedades en un campo magnético particular exhibirá diferentes corrientes (I_c), y en consecuencia diferentes densidades de corriente (J_c), en diferentes regiones de la bobina a medida que cada región de la bobina experimenta un campo magnético de diferente orientación. El comportamiento de la bobina está limitado por el rendimiento mínimo del cable. Así, la corriente global del cable es reducida a lo largo del proceso y el cable funciona en solamente una fracción de su capacidad de corriente a lo largo de longitudes largas del cable. Si la capacidad de corriente puede ser incrementada para aquellas regiones de rendimiento inferior, la corriente del cable completo como un todo puede ser mejorada.

- 45 Los granos de óxido superconductor RE123 típicamente exhiben fuerte anisotropía en un campo magnético, con la corriente en un campo magnético orientado en el plano (ab) del grano de óxido (a lo largo de la superficie de una capa HTS de epitaxial) siendo mucho más alta que la corriente en el campo magnético orientado perpendicular a la capa HTS, $I_c(H//ab)$ puede ser dos veces, tres veces e incluso más de diez veces superior a $I_c(H//c)$; y la anisotropía se hace más notoria a una fuerza de campo magnético más alta. Mientras que se han observado que ciertos materiales HTS reducen la anisotropía de campo magnético, se obtienen mejoras en $I_c(H//c)$ a expensas de $I_c(H//ab)$.

- 55 En un aspecto de la invención, un cable HTS opera a un porcentaje más alto de la capacidad total de corriente que un alambre HTS convencional. En una o más realizaciones, el cable HTS opera a una carga de corriente cercana a la total. Las características de construcción de corriente son mejoradas utilizando materiales HTS con diferentes características de comportamiento en diferentes regiones de un cable o dispositivo HTS. El material HTS es seleccionado para rendimiento óptico en la orientación de campo magnético local anticipada. Así, a manera de ejemplo, un cable HTS incluye dos capas superconductoras que son seleccionadas para proveer rendimiento óptimo en el campo magnético aplicado local. Las dos capas pueden ser dispuestas o apiladas en cualquier orden. En

- regiones donde el cable HTS experimenta un campo magnético aplicado orientado en paralelo al plano de la capa superconductora ($H//ab$ o $\Theta =90^\circ$), ambas capas pueden contener una capa superconductora que tiene una composición y estructura que proveen corriente óptima a lo largo de $H//ab$, esto es, $Ic(H//ab) \gg Ic(H//c)$. En regiones donde el cable HTS experimenta un campo magnético aplicado orientado en perpendicular al plano de la capa superconductora ($H//c$ o $\Theta =0^\circ$), ambas capas pueden contener una capa superconductora que tiene una composición y estructura que proveen corriente óptima a lo largo de $H//c$, esto es, la anisotropía de Ic es reducida a un nivel deseado. En regiones en donde el cable HTS experimenta un campo magnético aplicado cuya orientación es intermedia a $H//ab$ y $H//c$, una primera capa contiene una capa superconductora que tiene una composición y estructura que provee un rendimiento de corriente óptima a lo largo de $H//ab$, y una segunda capa contiene una capa superconductora que tiene una composición y estructura que provee corriente óptima a lo largo de $H//c$. El espesor relativo de las dos capas es seleccionado para proveer el balance deseado de rendimiento $Ic(H//c)$ e $Ic(H//ab)Ic$. Los cables HTS proveen una corriente crítica global de un rendimiento deseado, por ejemplo, una carga de corriente deseada.
- 5 En una o más realizaciones, el cable HTS porta una $Ic(H//c)$ global en al menos una porción de su longitud de al menos 80A/cm-anchura; y $Ic(H//ab)/Ic(H//c)$ es mayor a 2.0, o aproximadamente 2-3; o $Ic(H//c)$ es aproximadamente 120-150 A/cm anchura y $Ic(H//ab)/Ic(H//c)$ es mayor que 2.0 o aproximadamente 2-3; o $Ic(H//c)$ es aproximadamente 150-180 A/cm-anchura y $Ic(H//ab)/Ic(H//c)$ es mayor que 2.0, o aproximadamente 2-3. La $Ic(H//c)$ global es alcanzada por el rendimiento de la corriente aditiva de las dos capas superconductoras. Al especificar una 10 $Ic(H//c)$ se asegura que al menos una de las capas se comporta bien en un campo magnético perpendicular. Al especificar que $Ic(H//ab)$ es un múltiplo de $Ic(H//c)$ de dos o más se asegura que la corriente en un campo paralelo es incluso más alta. El rendimiento global de la corriente puede ser alcanzado en una variedad de combinaciones, tales como combinando dos cables que tienen $Ic(H//c)$ moderada e $Ic(H//ab)$. Alternativamente, un cable de $Ic(H//c)$ moderada puede ser combinada con un cable de $Ic(H//c)$ pobre, pero con $Ic(H//ab)$.
- 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60
- Además de proveer la deseada combinación de capas superconductoras de alta $Ic(H//ab)$ y capas superconductoras de alta $Ic(H//c)$, los cables HTS de dos capas incrementan la densidad de corriente crítica con respecto a cables superconductores de capa sencilla comparables doblando sustancialmente el volumen de material superconductor en el cable HTS.
- En una o más realizaciones, las capas superconductoras pueden ser colocadas como recubrimiento sobre el mismo lado del sustrato. La figura 4A ilustra un cable HTS 400 de capa doble en el cual una capa superconductora que tiene $Ic(H//ab)$ 440 óptima y una capa superconductora que tiene $Ic(H//c)$ 470 óptima están colocadas como recubrimiento sobre el mismo lado del sustrato 460. Debe anotarse que en ésta y en todas las figuras subsiguientes, las dimensiones no son a escala. El sustrato puede ser un sustrato de metal texturizado o un sustrato metálico que incluye un sustrato texturizado y es generalmente de un espesor en el rango de aproximadamente 0.05-0.2 mm. Un sustrato metálico, tal como Ni, Ag, o aleaciones de Ni (por ejemplo, NiW u otros metales Hastalloy) proveen flexibilidad para el cable y pueden ser fabricados de largas longitudes y áreas grandes. La capa superconductora comprende un material que es seleccionado por su buen comportamiento tanto en $H//ab$ o $H//c$. Además como la capa superconductora está alineada cristalográficamente de tal manera que el plano ab del superconductor óxido es paralelo a la superficie del cable. Cada capa superconductora está generalmente en el rango de aproximadamente de 0.5 μm a aproximadamente 2.0 μm y puede ser aún mayor. Un cable HTS como el ilustrado en la figura 4A es típicamente útil en un cable o región de un cable que experimenta un campo magnético de orientación intermedia, esto es $0^\circ < \Theta < 90^\circ$.
- En regiones del cable donde Θ es aproximadamente 0°C , puede usarse un cable HTS 410 de capa doble no de acuerdo con la presente invención, en el cual dos capas 470 superconductoras que tienen $Ic(H//c)$ óptima están colocadas como recubrimiento sobre el mismo lado del sustrato 460, tal como lo ilustra la figura 4B. La figura 4C ilustra un cable HTS 420 de doble capa no de acuerdo con la presente invención, en el cual dos capas superconductoras que tienen $Ic(H//ab)$ 440 óptimas están colocadas como recubrimiento sobre el mismo lado del sustrato 460. La capa HTS demuestra un rendimiento óptico en $H//ab$. Con el fin de proveer un cable que tenga rendimiento óptimo en un dispositivo que experimenta diferentes orientaciones de campo magnético, un cable puede incluir cualquiera de estas arquitecturas en diferentes localizaciones en el dispositivo correspondientes a diferentes orientaciones de campo.
- En una o más realizaciones, una capa 490 conductora o aislante puede estar dispuesta entre la primera y segunda capas superconductoras como se ilustra para el cable HTS 430 en la figura 4D. Las capas conductoras proveen conexión eléctrica entre las dos capas y pueden ser, por ejemplo, cobre y plata. Capas aislantes de ejemplo incluyen óxidos metálicos tales como Y_2O_3 , CuO y CeO_2 . Cualquier intercapa debería ser estructuralmente y químicamente compatible con el material HTS y tiene, por ejemplo, una estructura cristalina texturizada que permita la deposición de una capa de HTS epitaxial. El espesor o intercapa está generalmente en el rango de 20 nm a 200 nm, y es depositado, por ejemplo, por aspersión, deposición por evaporación o deposición por vapor pulsado, u otros métodos convencionales.

En una o más realizaciones, las capas superconductoras son colocadas como recubrimiento sobre lados opuestos del sustrato. La figura 5A ilustra un cable HTS 520 de doble capa en el cual una capa superconductora que tiene una $I_c (H//ab)$ 440 óptima y una capa superconductora que tiene $I_c (H//c)$ 470 óptimas son colocadas como recubrimiento de lados opuestos del sustrato 460. La figura 5B ilustra un cable 510 HTS de doble capa no de acuerdo con la

5 presente invención, en el cual dos capas 470 superconductoras que tienen $I_c (H//c)$ óptima están colocadas como recubrimiento sobre lados opuestos del sustrato 460. La figura 5 ilustra un cable HTS 500 de doble capa no de acuerdo con la presente invención, en el cual dos capas superconductoras que tienen $I_c (H//ab)$ 440 están colocadas como recubrimiento sobre lados opuestos del sustrato. Pueden incluirse capas superconductoras adicionales en

10 cada lado del sustrato y pueden potenciar tanto $I_c (H//c)$ o $I_c (H//ab)$.

10 Los cables HTS ilustrados en las figuras 4A - 4D y figuras 5A-5C y en cualquier otro sitio de esta descripción incluyen una o más capas amortiguadoras (no mostradas) dispuestas entre el sustrato y la capa superconductora y una o más capas de cubrimiento (no mostradas) superpuestas al superconductor. En una o más realizaciones, la capa de amortiguador está hecha de un material eléctricamente aislante, aunque también pueden utilizarse

15 materiales eléctricamente conductores. La capa amortiguadora está constituida, por ejemplo, un material inerte, un óxido, zirconato, titanato, niobiato, nitruro, tantalato, aluminato, cupratos, manganato o rutenato de un metal o elementos de tierras raras.(Por ejemplo, Al_2O_3 , CeO_2 , Y_2O_3 , MgO , Gd_2O_3 , titanato de estroncio, zirconato de gadolinio, zirconia estabilizada con ytria, AlN , Si_3N_4 , $LaMnO_4$, $La_2Zr_2O_7$, o $La_{2-x}Ce_xZr_2O_7$. Las capas amortiguadoras pueden depositarse utilizando cualquier método conocido, incluyendo métodos de deposición físicos y químicos.

20 Una capa de recubrimiento se superpone a la capa superconductora y provee protección de la capa superconductora frente a degradación química y mecánica. La capa de recubrimiento puede ser conductora. La capa de recubrimiento puede ser Ag u otro metal inerte asperjados.

25 En una o más capas, se obtienen materiales superconductores que tienen alta $I_c(H//ab)$ o alta $I_c(H//c)$ por procesamiento selectivo de las capas. En los ejemplos anteriores, en donde dos capas superconductoras son depositadas sobre el mismo sustrato, esto puede lograrse cambiando las condiciones de procesamiento usadas para formar el semiconductor durante el proceso. Típicamente, la reacción para formar el superconductor es iniciada en la interfaz con la capa de amortiguador subyacente y el superconductor crece desde esa interfaz hacia afuera. Así, cambiando las condiciones a medio camino en el proceso desde aquellas que favorecen un material con alta $I_c (H//c)$ hacia aquellas que favorecen un material con alta $I_c (H//ab)$ da como resultado una estructura en capas con diferentes propiedades de transporte en corriente. Alternativamente, las dos capas superconductoras pueden ser procesadas separadamente para optimizar el comportamiento y ser unidas después de la formación del HTS.

30 Materiales superconductores de ejemplo que tienen buen rendimiento en $H//ab$ incluyen óxidos de cobre alcalinotérreos de tierras raras (RE) en los cuales los metales están sustancialmente en proporciones estequiométricas. Así, a manera de ejemplo, el RE-123, en el cual la tierra rara, bario y cobre están en proporciones sustancialmente de 1:2:3 se han encontrado con la exhibición de una excelente corriente óptima en campos magnéticos orientados en paralelo al plano ab. Un superconductor de óxido de ejemplo es $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

35 Los materiales superconductores ricos en cobre o deficientes en metales alcalinotérreos también exhiben alta $I_c (H//ab)$. En una o más realizaciones, el óxido superconductor es un óxido de cobre y tierra rara de bario en el cual la relación cobre a bario es superior a 1.5. La relación Cu:Ba es alcanzada reduciendo la cantidad de bario en el superconductor óxido, esto es, la proporción de bario es menor que 2.0, o incrementando el contenido de cobre, esto es, la proporción de cobre es mayor de 3.0 en la composición del RE-123. En algunas realizaciones, el superconductor de óxido contiene un exceso de cobre, por ejemplo, hasta 5% en exceso, o hasta 10% en exceso o hasta 20% en exceso de cobre en comparación con la cantidad de cobre requerida para preparar un RE-123 estequiométrico. En otras realizaciones, el superconductor de óxido contiene una deficiencia de bario, por ejemplo, hasta 5% de deficiencia, o hasta 10% de deficiencia o hasta 20% de deficiencia de bario en comparación con la cantidad de cobre requerida para preparar RE-123 estequiométrica.

40 En una o más realizaciones, se usa una intercapa de cobre en el total o en parte para suministrar un exceso de cobre. Por ejemplo, se deposita una capa de cobre como una intercapa entre dos capas superconductoras en un cable de doble capa, como en figuras 4A-4D. Durante los tratamientos con calor necesarios para formar el superconductor de óxido, el cobre se difunde en ambas capas 440, 470 superconductoras, formando capas HTS ricas en cobre. Puede encontrarse información adicional sobre el uso de intercapas de cobre en procesamiento de cables HTS ricos en cobre en la publicación de patente de los Estados Unidos copendientes y de propiedad común N° 2006-0094603, publicado el 04 de mayo de 2006, y titulada "Thick Superconductor Films With Improved Performance".

45 En ciertas realizaciones, los incrementos en la concentración de Cu de hasta 20% de exceso de Cu incrementan la $I_c(H//ab)$. La figura 6 es una gráfica de corriente crítica (I_c) versus orientación de campo magnético (Θ), 75 K para superconductores de óxido de diversas composiciones. Las curvas de 610 y 610' miden la corriente en un rango de Θ a un 1T y 3T, respectivamente, para una capa de Y-123 que contiene 7.5% de exceso de cobre. Las curvas que exhiben un máximo fuerte a 90° ($H//ab$ y un mínimo a 0° ($H//c$), demostrando así rendimiento óptimo de esta composición superconductora a $H//ab$. El Y-123 rico en cobre también exhibe una fuerte anisotropía de corriente

entre H//ab y H//c, en donde la relación de I_c (H//ab) a I_c (H//c) es aproximadamente 2.4 a 1T y 6 a 3T. En una o más realizaciones, un superconductor de alta I_c (H//c) tiene una I_c (H//c) de más de 20-55 A/cm-anchura 65K a 3T y una relación I_c (H//ab)/ I_c (H//c) mayor de 2.5, o mayor de 3.5, o mayor de 5.5 en un campo magnético de al menos 1 Tesla. Tales relaciones han sido obtenidas para fuerzas de campo magnético de hasta 6 Tesla y se anticipa que tales relaciones pueden ser apropiadas en campos magnéticos incluso mayores.

5 Materiales superconductores de ejemplo que tienen buen rendimiento en H//c se incluyen óxidos de cobre alcalinotérreos de tierras raras (RE) que contienen un exceso de elemento de tierras raras o dos o más elementos de tierras raras en proporciones estequiométricas o en exceso de las proporciones estequiométricas. Sin estar limitados por ningún modo particular de operación, se cree que el exceso de tierras raras mejora la I_c (H//c) formando defectos a nanoscala que sirven como centros de sujeción de flujo. Los defectos atómicos pueden ser alcanzados introduciendo diferentes elementos de tierras raras en el superconductor Y-123. En una o más realizaciones, se contempla hasta aproximadamente 25% de adición, por ejemplo, a una composición que contiene ytrio, o hasta aproximadamente 150% de sustitución de un elemento de tierras raras. En una o más realizaciones, 10 los elementos de tierras raras son holmio y/o erbio. La introducción de dos o más tierras raras en la capa superconductora de óxido no solamente incrementa la I_c (H//c), sino que también hace disminuir la diferencia (anisotropía) entre I_c (H//ab) y I_c (H//c). Con referencia a la figura 6, las curvas 620 y 620' miden la corriente a lo largo de un rango de Θ a 1T y 3T, respectivamente, para una capa de Y123 que contiene 25% de adición de erbio a la composición del superconductor, por ejemplo, Y: Er = 4:1. Las curvas de 630 y 630' miden la corriente sobre un rango de orientaciones del campo magnético a 1T y 3T, respectivamente, para una capa de Y-123, que contiene 15 50% de erbio adicional, por ejemplo, Y:Er= 2:1. La corriente crítica en 90° (H//ab) ha disminuido significativamente, mientras que la corriente crítica a 0° (H//c) se ha incrementado, demostrando así que la composición de las capas superconductoras puede ser seleccionada para mejorar la corriente crítica en H//c, en términos absolutos, así como para reducir la anisotropía de corriente entre I_c (H//ab) y I_c (H//c). La relación de I_c (H//ab) a I_c (H//c) para el Y123 20 suplementado con 25% de erbio es aproximadamente 1.8 a 1T y 2.6 a 3T, mientras que la relación de H//ab a H//c para el Y-123 suplementado con 50% de erbio es aproximadamente 1.2 a 1T y 1.6 a 3T. Esto es considerablemente menos que la anisotropía de corriente de un cable con alta I_c (H//ab). Compárense I_c (H//ab)/ I_c (H//c) de 2.4 (1T) y 25 6.0 (3T) para Y-123 rico en cobre. En una o más realizaciones, una capa superconductora de alta I_c (H//c) tiene una relación I_c (H//ab)/ I_c (H//c) de menos de 2.6, o menos de 2.0 o menos de 1.5 en un campo magnético de al menos 30 1Tesla. Tales relaciones han sido obtenidas para fuerzas de campo magnético de hasta 6 Tesla y se anticipa que tales relaciones pueden ser apropiadas incluso en campos magnéticos más altos.

35 En una o más realizaciones, el material superconductor con alta I_c (H//c) incluye una nanopartícula de segunda fase dentro del grano del superconductor de óxido. La nanopartícula está hecha de un compuesto que contiene metal y puede contener uno o más elementos de tierras raras como metal alcalinotérreo, y un metal de transición. La nanopartícula de segunda fase puede ser una o más de óxido de zirconio, óxido de aluminio, $Y_2Cu_2O_5$, $YBaCuO_4$, óxido de magnesio, $BaZrO_3$, plata y CeO_2 . Otras composiciones adecuadas para formar defectos de tamaño de nanómetros en los granos de superconductor de óxido para sujetar las líneas de flujo y mejorar las propiedades de transporte de corriente en un campo magnético se encuentran en la solicitud copendiente y de propiedad común de 40 los Estados Unidos serial No. 10/758,710, presentado el 16 de enero de 2005, y titulada "Oxide Films with Nanodot Flux Pinning Centers".

45 En una o más realizaciones, el espesor de las capas de alta I_c (H//ab) y alta I_c (H//c) pueden ser seleccionadas para proveer un rendimiento preseleccionado en una orientación de campo magnético. Así, a manera de ejemplo, para hacer una cinta o cable más adecuado para desempeñarse en un campo magnético con orientación de 45 grados con respecto a la superficie de la cinta, se pueden utilizar tanto una capa superconductora de alta I_c (H//c) y una capa superconductora de alta I_c (H//ab), en donde la capa I_c (H//c) es más delgada con respecto a la capa I_c (H//ab) con base en los datos tales como los presentados en la figura 6. Los espesores relativos de las dos capas pueden ser ajustados para obtener, por ejemplo, I_c (H//c) > 80 A/cm-anchura y I_c (H//ab)/ I_c (H//c) de más de 2, o I_c (H//c) > 120-150 50 A/cm-anchura y I_c (H//ab)/ I_c (H//c) de más de 2, o I_c (H//c) > 150-180 A/cm-anchura y I_c (H//ab)/ I_c (H//c) de 2-3.

55 En una o más realizaciones, las capas de superconductores son depositadas por deposición orgánica metálica (MOD). Una solución precursora que contiene los elementos constituyentes de la primera capa superconductora de óxido es depositado y la capa precursora es descompuesta en una capa metaloxi intermedia antes de la aplicación de la segunda capa superconductora. Una segunda solución precursora que contiene los elementos metálicos constituyentes de la segunda capa superconductora de óxido es depositado entonces y descompuesto en una capa metaloxi intermedia. Las dos capas intermedias son entonces convertidas por completo en una capa HTS. A manera de ejemplo, las soluciones precursoras pueden incluir sales de metales incluyendo fluoruro, y el precursor puede ser descompuesto para formar una capa de oxifluoruro metálico intermedia. La capa de oxifluoruro metálica 60 puede ser calentada posteriormente con calor para formar un superconductor de óxido. En otras realizaciones, la primera capa precursora es depositada y convertida completamente en una capa superconductora de óxido. La segunda capa precursora es depositada entonces y también convertida completamente en una capa superconductora de óxido. Cada capa superconductora puede tener un espesor de aproximadamente 0.6 μ m hasta aproximadamente 1.5 μ m, o incluso mayor. El espesor total de las capas superconductoras puede variar desde 65 aproximadamente 0.6 μ m hasta aproximadamente 2.0 μ m y en general no excede de aproximadamente 3 μ m.

- En otras realizaciones, cada capa superconductora es depositada sobre un sustrato separado, esto es, un ensamblaje HTS. Los sustratos recubiertos son juntados entonces para formar un cable HTS que contiene dos ensamblajes de capas sustrato/superconductor. Tal como se utiliza aquí, la expresión "ensamblaje HTS" indica una estructura de capas múltiples que incluyen sustrato, una o más capas amortiguadoras, una capa superconductora y una o más capas de cubrimiento.
- 5 Los ensamblajes HTS pueden ser unidos en sus sustratos respectivos, de tal manera que las capas superconductoras cubiertas miran hacia afuera, como se ilustra en la figura 7. El cable HTS 700 está hecho de dos ensamblajes 710 y 720 HTS. Cada uno de estos ensamblajes es fabricado usando técnicas conocidas en el arte y que están descritas en mayor detalle aquí. El ensamblaje 710 incluye un sustrato 760 metálico. El sustrato 760 contiene al menos una superficie texturizada biaxialmente para proveer una plantilla cristalina para la capa 750 amortiguadora y la capa HTS 740. La capa 750 amortiguadora se superpone sobre el sustrato 760 y puede comprender una o más capas. La capa HTS 740 que se superpone sobre la capa 750 amortiguadora puede ser cualquier material HTS. En una o más realizaciones, la capa HTS incluye un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras, tal como Y-123, que está optimizado para su rendimiento en H//ab o H//c. La capa 730 de cubrimiento está localizada por encima de la capa 740 HTS y provee protección de la capa HTS frente a degradación química y mecánica. El inserto 720' puede tener idéntica o similar estructura, incluyendo el sustrato 760', la capa 750' amortiguadora, la capa 740' HTS, y la capa 730' de cubrimiento. En la realización ilustrada en la figura 7, la capa 740 superconductora se muestra como un material superconductor de alta I_c (H//c) y la capa 740' superconductora se muestra como un material de alta I_c (H//ab).
- 10 15 20 25 30 El adhesivo 780 une el ensamblaje 710 al ensamblaje 720 en sus sustratos respectivos, creando el ensamblaje 700 HTS. Las capas 730 y 730' de cubrimiento miran hacia fuera en el ensamblaje 700, y los sustratos 760 y 760' están localizados internamente en el ensamblaje 700. Esta configuración provee, por ejemplo, contacto eléctrico eficiente con una fuente de corriente externa y una unión eficiente de longitudes del cable superconductor. Las superficies externas del ensamblaje son capas 730 y 730' de cubrimiento eléctricamente conductoras. Estas capas proveen caminos eléctricamente conductores convenientes para las respectivas capas 740 y 740' HTS. Con el fin de introducir corriente en las capas HTS, puede hacerse una conexión entre la fuente de corriente y el ensamblaje en cualquier lugar de la superficie externa del ensamblaje.
- 35 40 45 50 55 60 65 Con el fin de facilitar la unión entre los ensamblajes 710 y 720 HTS, pueden ponerse como recubrimiento opcionalmente capas de humectación, por ejemplo Ag o Cu (no mostradas) sobre los sustratos 760 y 760'. Estas capas de humectación facilitan la unión de cada ensamblaje a la capa 780 adhesiva, y por lo tanto facilitan la unión de cada ensamblaje con el otro. En una o más realizaciones, la capa 780 adhesiva está hecha de un agente de soldadura, una resina, epoxi, u otro material no conductor. Un agente de soldadura de ejemplo es Pb-Sn-Ag. Durante el procesamiento, las superficies posteriores de los sustratos metálicos (esto es, las superficies que no miran hacia la capa amortiguadora) pueden permitir el crecimiento de una capa de óxido, el cual es un aislante eléctrico. Esta capa de óxido típicamente no humedece la soldadura, esto es, no se une a la soldadura. La adición de capas humectantes de Ag a los sustratos 760 y 760' hace que la superficie posterior sea humectable, esto es, se puede unir, para soldar la capa 780 adhesiva. Así, la unión puede lograrse soldando capas humectantes que son unidas a la superficie de óxidos nativos de los sustratos.
- En aplicaciones donde se desea un buen contacto eléctrico entre los sustratos, las capas de óxido nativo aislante sobre sustratos 760 y 760' pueden ser retiradas inicialmente. Esta separación puede hacerse, por ejemplo, por grabado, electrocubrimiento, aspersión, o limpieza por disparo. Luego se coloca recubrimientos de capas de humectación metálica, por ejemplo, Ag o Cu, sobre las superficies posteriores respectivas de los sustratos 760 y 760' para evitar el recrecimiento del óxido nativo sobre las superficies del sustrato. No se requiere la eliminación rigurosa de la capa de óxido nativa, sin embargo, con el fin de proveer un cable de HTS de acuerdo con una o más realizaciones de la presente invención.
- Detalles adicionales sobre los ensamblajes HTS para uso en una o más realizaciones de la presente invención pueden encontrarse en la solicitud de patente de los Estados Unidos copendiente de propiedad común No. 11/193,262, presentado el 29 de julio de 2005, y titulada "Architecture For High Temperature Superconductor Wire".
- En otra realización de la presente invención, los ensamblajes HTS pueden ser unidos en sus respectivas capas de cubrimiento, de tal manera que las capas de superconductor cubiertas miran hacia adentro, como se ilustra en la figura 8. El cable de HTS 800 está constituido de dos ensamblajes 810 y 820. HTS. Cada uno de estos ensamblajes es fabricado usando técnicas conocidas en el arte y están descritos en gran detalle a continuación. El ensamblaje 810 incluye un sustrato 830 metálico. El sustrato 830 contiene al menos una superficie texturizada biaxialmente para proveer una plantilla cristalina para la capa 840 amortiguadora y capa 850 HTS. La capa 840 amortiguadora se superpone al sustrato 830 y puede comprender una o más capas. La capa 850 HTS se superpone a la capa 840 amortiguadora y puede ser de cualquier material HTS. En una o más realizaciones, la capa HTS incluye un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras, tal como Y-123, que está optimizado para desempeño bien con H//ab o H//c. La capa 860 de cubrimiento está localizada por encima de la capa 850 HTS y provee protección de la capa HTS frente a degradación química y mecánica. El inserto 820 puede tener idéntica o similar estructura, incluyendo sustrato 830',

- la capa 840' amortiguadora, la capa 850' HTS, y capa de Capa 860' de cubrimiento. En la realización ilustrada en la figura 8, la capa 840 superconductora se muestra como un material superconductor de alta I_c (H/c) y la capa 840' superconductora se muestra como un material de alta I_c (H/ab). Los ensamblajes HTS individuales están unidos en capas 860, 860' de cubrimiento utilizando uno de una variedad de métodos. Por ejemplo, las técnicas de unión de ejemplo incluyen unión por soldadura y por difusión. Se muestra una capa 880 de soldadura de ejemplo en la figura 8 uniendo dos ensamblajes 810, 820 HTS. En la patente de los Estados Unidos de propiedad común No. 6,828,507 se encuentra información adicional concerniente a los ensamblajes HTS.
- 5 En una o más realizaciones, la estabilidad eléctrica para los dos cables HTS de capas superconductores es potenciado adicionalmente rodeando el cable superconductor, por ejemplo, tal como el cable mostrado en las figuras 7 y 8, con una estructura 900 eléctricamente conductora, como se ilustra en la figura 9. La estructura eléctricamente conductora permite el transporte de corriente desde una capa superconductora a otra. Esto provee una ruta de corriente redundante, mejorando por lo tanto la estabilidad del cable al enfriamiento reduciendo la sensibilidad del cable a defectos y variaciones locales en desempeño. La estructura eléctricamente conductora puede incluir bandas 10 910, 910' conductoras superior e inferior en contacto eléctrico con los ensamblajes 710 y 720 HTS. Un agente de relleno, 920,920' eléctricamente conductor sustancialmente no poroso se extiende entre la primera y segunda bandas conductoras a lo largo de los lados del ensamblaje de cable superconductor para aislar los ensamblajes HTS del ambiente y proveer conectividad eléctrica entre las dos capas superconductoras y hacia una conexión eléctrica externa.
- 15 20 En el cable 900, el agente de relleno 920, 920' provee comunicación eléctrica entre los ensamblajes 710, 720 HTS. En esencia la agente de relleno 920, 920' se comporta como un tubo conductor, o puente. Aunque el agente de relleno 920, 920' es conductor, a medida que la corriente fluye a través del cable 900, la corriente en general seguirá el camino de menos resistencia, esto es a través de uno o de ambos ensamblajes 710, 720 HTS. La presencia de 25 caminos eléctricos redundantes para la corriente mejora la estabilidad eléctrica del cable e incrementa la capacidad de transporte de carga de cable 900 por encima de la de un ensamblaje simple o de dos ensamblajes aislados. Finalmente, el agente de relleno, 920, 920' provee un medio para introducir corriente eléctrica en uno o ambos ensamblajes 710, 720 HTS. Poniendo simplemente en contacto una fuente de corriente con el agente de relleno 920, 920', la corriente fluye a través del agente de relleno hacia los ensamblajes HTS. Puesto que el agente de relleno 920, 920' está en contacto con las bandas 910, 910', estabilizadoras conductoras, el poner en contacto una 30 fuente de corriente con una o con ambas bandas 910, 910' introduce también corriente en uno o varios ensamblajes, 710, 720 HTS.
- 35 40 El material 920, 920' es seleccionado de tal manera que es no poroso, tiene suficiente resistencia y es posible usarlo como recubrimiento hasta un espesor suficiente para rodear y sellar sustancialmente el cable 900. El recubrimiento grueso del agente de relleno 920, 920' en los lados del cable 900 también añade resistencia mecánica al cable y puede ayudar a evitar la deslaminación del cable 900 debido a flexionamiento u otras fuentes de daño potencial. El material 920, 920', agrega estabilidad térmica al cable proveyendo capacidad calorífica adicional. En una o más realizaciones, el cable tiene suficiente anchura de agente de relleno para satisfacer los requerimientos de resistencia mecánica y durabilidad del cable 900, pero no mucho más. Una anchura del agente individual típico varía de 0, 025-0, 2 mm, pero puede ser superior o inferior (por ejemplo 0.005-1 mm).
- 45 50 Las bandas 910 y 910' estabilizadoras potencian adicionalmente la estabilidad mecánica, eléctrica y térmica del cable 900. Las bandas 910, 910' pueden ser las mismas o diferentes, dependiendo de las características deseadas del cable resultante. El espesor de las bandas puede variar a través de un amplio rango desde aproximadamente 0.01-2 mm, dependiendo de la aplicación deseada, por ejemplo, entre 0.05-0.075 mm, hasta tan alto o más alto que 1 mm. Las bandas 910 y 910' son generalmente un material conductor flexible, por ejemplo, un metal, por ejemplo, aluminio, cobre, plata, níquel, hierro, acero inoxidable, aleación de aluminio, aleación de cobre, aleación de plata, aleación de níquel, aleación níquel tungsteno o aleación de hierro. Para la mayoría de las aplicaciones, se prefiere un metal de alta conductividad tal como cobre. Para una aplicación que limite los fallos en corriente, se prefiere una aleación mecánicamente fuerte, con alta resistividad tal como acero inoxidable.
- 55 60 En algunas realizaciones, las bandas 910 y 910' estabilizadoras tienen una anchura que es mayor que la anchura de los ensamblajes 710 y 720 HTS. Esta anchura en exceso, o sobrante, permiten que se formen capas o aletas de agente de relleno 920, 920' a lo largo de los lados del cable por acción capilar. En general, la anchura de las capas 910, 910' caen dentro del rango de 0.01-2 mm mayor que la anchura de los ensamblajes en 710, 720 de HTS. Por ejemplo, bandas estabilizadoras con una anchura de aproximadamente 4,3 mm pueden ser utilizadas con insertos superconductores de 4.0 o 4.1mm de anchura.
- 65 66 El cable HTS por ejemplo, el cable 1000 puede ser manufacturado tal como se ilustra en la figura 10. Los ensamblajes de cable HTS son fabricados como bandas multicapas anchas (por ejemplo aproximadamente 4 a 10 cm de anchura) y luego se divide longitudinalmente en varias bandas estrechas (por ejemplo aproximadamente 10 bandas de aproximadamente 0,4 cm de espesor, forman una banda de 4 cm de anchura), la cual se forma a partir de los ensamblajes 1010, 1020 HTS. Véase la etapa 1190 de figura 11. Las bandas 1060, 1060' estabilizadoras conductoras pueden ser más anchas que la anchura de la banda HTS angosta, de tal manera que las bandas

- estabilizadoras sobresalen de la banda HTS en ambos lados. Despues de la divisió, se forma el cable uniendo las bandas 1010,1020 de insertos de HTS angostas con bandas 1060, 1060' estabilizadoras en un bañ 1000 de material de agente de relleno. Los insertos 1010, 1020 de HTS multicapa, por ejemplo, pueden ser alimentados en el bañ de agente de relleno desde las guías 1010, 1010'. Las bandas 1060, 1060' estabilizadoras puede ser alimentadas desde las guías 1020, 1020' colocadas por encima y por debajo de las guías de alimentació 1010, 1010' de HTS 1010, 1020 de tal manera que las longitudes de material forman una configuració apilada. El agente de relleno rodea simultáneamente los ensamblajes 1010, 1020 HTS y tambié los laminan a las bandas 1060, 1060' estabilizadoras conductoras. El molde 1030 emerge y consolida los insertos 1010, 1020 y las bandas 1060, 1060' estabilizadoras en un cable 1000 superconductor. Laminando las bandas estabilizadoras al cable despues de fabricar y dividir los insertos HTS, en las bandas estabilizadoras pueden hacerse más anchas que los insertos. Esta característica sobresaliente promueve el entorchamiento capilar de la soldadura entre las bandas 1060, 1060' estabilizadoras superior e inferior para proveer aletas o agente de relleno grueso, mecánicamente robustos sobre los lados del cable.
- 5 15 Detalles adicionales sobre las estructuras conductoras eléctricamente para uso con una o más realizaciones de los cables HTS de la presente invención pueden encontrarse en la solicitud de patente de los Estados Unidos copendiente y de propiedad común No. 11/193,262, presentada el 29 de julio de 2005, y titulada "Architecture For High Temperature Superconductor Wire".
- 10 20 Los cables que tienen diferentes características de comportamiento pueden ser unidos de extremo a extremo para obtener un cable HTS que varía en comportamiento a lo largo de su longitud. Esto es facilitado por el uso de cables HTS que tiene una estructura externa eléctricamente conductora que provee contacto eléctrico con la capa superconductora de óxido, tal como se ilustra en la figura 9.
- 15 25 Los cables HTS tal como se describen aquí pueden ser utilizados en bobinas o carretes electromagnéticos. Así, el cable HTS en enrollado para formar una bobina de tal manera que el cable HTS en la región de la bobina que experimenta un campo magnético con un componente H//ab fuerte está constituido de cable HTS que tiene una alta I_c(H//ab). De manera similar, el cable HTS, en la región de la bobina que experimenta un campo magnético con un fuerte componente H//c está constituido de cable HTS que tiene una alta I_c(H//c) y opcionalmente una relació 30 deseada de I_c(H//ab)/ I_c(H//c). Las regiones de la bobina que experimentan campo magnético de orientación intermedias están constituidas de cables HTS que tienen una combinación deseada de capas conductoras de alta I_c(H//ab) y alta I_c(H//c) para obtener una I_c(H//c) deseada, y opcionalmente, una relació deseada de I_c(H//ab)/ I_c(H//c). Además, los espesores de las dos capas pueden ser seleccionados para obtener la combinación deseada de densidad de corriente paralela y perpendicular a la superficie de la cinta.
- 35 40 La figura 11 ilustra un diagrama de flujo de un proceso de ejemplo utilizado para manufacturar el cable de HTS de acuerdo con diversas realizaciones de la presente invención. En una primera estación 1110, se trata un sustrato de cable para obtener textura biaxial. Preferiblemente, la superficie del sustrato tiene una orientación cristalográfica relativamente bien definida. Por ejemplo, la superficie puede ser una superficie texturizada biaxialmente (por ejemplo una superficie (113) [211], o una superficie texturizada en cubo (por ejemplo) una superficie (100) [011] o una superficie (100) [001]. Preferiblemente, los picos en una figura polar de difracció de rayos x de la superficie tienen un FWHM de menos de aproximadamente 20° (por ejemplo, menos de aproximadamente 15°, menos de aproximadamente 10°, o desde aproximadamente 5° hasta aproximadamente 10°).
- 45 50 La superficie puede ser preparada, por ejemplo, laminando y fusionando. Las superficies tambié pueden ser preparadas utilizando procesos al vacío, tales como deposició asistida por haz de iones, deposició en sustrato inclinado y otras técnicas al vacío conocidas en el arte para formar una superficie biaxialmente texturizada por ejemplo, sobre una superficie policristalina orientada aleatoriamente o amorfa. En ciertas realizaciones (por ejemplo, cuando se utiliza la deposició asistida por haces), la superficie del sustrato no necesita ser texturizada (por ejemplo, la superficie puede ser policristalina orientada aleatoriamente, o la superficie puede ser amorfa).
- 55 60 El sustrato puede ser formado a partir de cualquier material capaz de soportar un apilamiento de capas amortiguadoras y/o una capa de material superconductor y capaz de proveer las propiedades mecánicas requeridas para el cable final. Ejemplos de materiales de sustrato que pueden ser utilizados como sustrato incluyen por ejemplo, metales y/o aleaciones, tales como níquel, plata, cobre, zinc, aluminio, hierro, cromo, vanadio, paladio, molibdeno y/o sus aleaciones. En algunas realizaciones, el sustrato puede ser formado de una superaleación. En ciertas realizaciones, el sustrato puede ser en la forma de un objeto que tiene un área superficial relativamente grande (por ejemplo, un cable o una oblea). En estas realizaciones, el sustrato es formado preferiblemente de un material relativamente flexible.
- 65 En algunas de estas realizaciones, el sustrato es una aleación binaria que contiene dos de los siguientes metales: cobre, níquel, cromo, vanadio, aluminio, plata, hierro, paladio, molibdeno, tungsteno, oro y zinc. Por ejemplo, una aleación binaria puede ser formada de níquel y cromo (por ejemplo níquel y como máx 20% atómico de cromo, níquel y desde aproximadamente cinco hasta aproximadamente 18% atómico de cromo, o níquel y desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 15% atómico de cromo). Como otro ejemplo, una aleación binaria

5 puede ser formada a partir de níquel y cobre (por ejemplo cobre y desde aproximadamente cinco hasta aproximadamente 45% atómico de níquel, cobre y desde aproximadamente 10 hasta aproximadamente 40% atómico de níquel, o cobre y desde aproximadamente 25 hasta aproximadamente 35% atómico de níquel). Como un ejemplo adicional, una aleación binaria también puede contener níquel y tungsteno (por ejemplo, desde aproximadamente un 1% de atómico de tungsteno hasta aproximadamente 20% atómico de tungsteno, desde aproximadamente 2% atómico de tungsteno hasta aproximadamente 10% atómico de tungsteno, desde aproximadamente 3% atómico de tungsteno hasta aproximadamente 7% atómico de tungsteno, aproximadamente 5% atómico de tungsteno). Una aleación binaria también puede incluir cantidades relativamente pequeñas de impurezas (por ejemplo menos de aproximadamente 0,1% atómico en peso de impurezas, aproximadamente 0.01% atómico de impurezas, o menos de aproximadamente 0,005 % atómico de impurezas). El Ni-W al 5% en peso es un material preferido para el sustrato.

10 En ciertas de estas realizaciones el sustrato contiene más de dos metales (por ejemplo, una aleación ternaria o una aleación cuaternaria). En algunas de estas realizaciones, la aleación puede contener uno o más formadores de óxido (por ejemplo., Mg, Al, Mo, V, Ta, Ti, Cr, Ga, Ge, Zr, Hf, Y, Si, Pr, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Lu, Th, Er, Tm, ser, Ce, Nd, Sm, Yb y/o La, siendo Al el formador de óxido preferido), así como dos de los siguientes metales: cobre, níquel, cromo, tungsteno, vanadio, aluminio, plata, hierro, paladio, molibdeno, oro y zinc. En ciertas de estas realizaciones, la aleación puede contener dos de los siguientes metales: cobre, níquel, cromo, tungsteno, vanadio, aluminio, plata, hierro, paladio, molibdeno, oro y zinc, y puede ser desprovisto sustancialmente de cualquiera de los formadores de óxido antes mencionados.

15 En realizaciones en las cuales las aleaciones contienen un formador de óxido, las aleaciones pueden contener al menos de aproximadamente 0.5% atómico de formador de óxido (por ejemplo, al menos de aproximadamente 1% atómico de formador de óxido, o al menos aproximadamente 2% atómico de formador de óxido) y como máximo aproximadamente 25% atómico de formador de óxido (por ejemplo, como máximo aproximadamente 10% atómico de formador de óxido o como máximo aproximadamente 4% atómico de formador de óxido). Por ejemplo, la aleación puede incluir un formador de óxido (por ejemplo, al menos 0,5 de aluminio), desde aproximadamente 25% atómico hasta aproximadamente 55% atómico de níquel (por ejemplo, desde aproximadamente 35% atómico hasta aproximadamente 55% atómico de níquel, o desde aproximadamente 40% atómico hasta aproximadamente 55% atómico de níquel) siendo el resto cobre. Como otro ejemplo, la aleación puede incluir un formador de óxido (por ejemplo, al menos aproximadamente 0,5% de aluminio atómico), desde aproximadamente 5% atómico hasta aproximadamente 20% atómico de cromo (por ejemplo, desde aproximadamente 10% atómico hasta aproximadamente 18% atómico de cromo, o desde aproximadamente 10% hasta aproximadamente 15% atómico de cromo) siendo el resto níquel. Las aleaciones pueden incluir cantidades relativamente pequeñas de metales adicionales (por ejemplo, menos de aproximadamente 0,1% atómico de metales adicionales, menos de aproximadamente 0,001% atómico de metales adicionales, o menos de aproximadamente 0,005% de metales adicionales).

20 40 Un sustrato formado de una aleación puede ser producido por ejemplo, combinando los constituyentes en forma de polvo, fusionando y enfriando o, por ejemplo, difundiendo los constituyentes en polvo juntos en estado sólido. La aleación puede ser formada entonces por texturización por deformación (por ejemplo, fusión y laminado, apilamiento, extrusión y/o extracción) para formar una superficie texturada (por ejemplo, texturizada biaxialmente o texturizada en cubo). Alternativamente, los constituyentes de la aleación pueden ser apilados en una configuración de rollo gelatinoso, y luego se texturiza la deformación. En algunas realizaciones, un material con un coeficiente relativamente bajo de expansión térmica (por ejemplo, Nb, Mo, TA, V, Cr, Zr, Pd, Sb, NbTi, un elemento intermetálico como NiAl o Ni₃Al, o mezclas de los mismos) puede ser formado en una barra y embebido en la aleación antes de la texturización por la deformación.

45 50 55 En algunas realizaciones, la formación de óxido estable en la superficie puede ser mitigada hasta que se forme una primera capa epitaxial (por ejemplo, amortiguadora) sobre la superficie de aleación texturizada biaxialmente, utilizando una capa intermedia dispuesta sobre la superficie del sustrato. Las capas intermedias incluyen aquellas capas de metal o aleación epitaxiales que no forman óxidos en la superficie cuando se exponen a condiciones como las establecidas por PO₂ y temperatura requerida para el crecimiento inicial de las películas amortiguadoras epitaxiales. Además, la capa amortiguadora actúa como una barrera para evitar que los elementos del sustrato no migren hacia la superficie de la capa intermedia y formen óxidos durante el crecimiento inicial de la capa epitaxial. Ausente tal capa intermedia, se esperaría que uno o más elementos en el sustrato formaran óxidos termodinámicamente estables en la superficie del sustrato en los cuales significativamente impedirían la deposición de capas epitaxiales debido, por ejemplo, a la carencia de textura en esta capa de óxido.

60 Capas metálicas intermedias de ejemplo incluyen níquel, oro, plata, paladio y aleaciones de los mismos. Metales o aleaciones adicionales pueden incluir aleaciones de níquel y/o cobre. Películas o capas epitaxiales depositadas sobre una capa intermedia pueden incluir óxidos metálicos, calcogénidos, haluros y nitruros. En algunas realizaciones, la capa metálica intermedia no se oxida bajo las condiciones de deposición de la película epitaxial.

- Hay que tener cuidado en que la capa intermedia depositada no se difunda completamente en un sustrato antes de nucleación y crecimiento de la estructura de capa amortiguadora inicial que hace que la capa epitaxial se establezca. Esto significa que después de seleccionar el metal (o aleación) para atributos apropiados tales como la constante de difusión de la aleación del sustrato, estabilidad termodinámica contra la oxidación bajo condiciones prácticas de crecimiento de la capa amortiguadora epitaxial y la coincidencia de la red con la capa epitaxial, el espesor de la capa metálica depositada tiene que ser adaptado a las condiciones de deposición de la capa epitaxial, en particular a la temperatura.
- 5 La deposición de la capa metálica intermedia puede hacerse en un proceso al vacío tal como la evaporación o aspersión, o por medios electroquímicos tales como electroplateado (con o sin electrodos). Estas capas metálicas intermedias depositadas pueden o pueden no ser epitaxiales después de la deposición (dependiendo de la temperatura del sustrato durante la deposición), sino que la orientación epitaxial puede ser obtenida subsecuentemente durante un tratamiento con calor después de la deposición.
- 10 15 En algunas realizaciones, puede formarse azufre sobre la superficie del sustrato o capa intermedia. El azufre puede formarse, por ejemplo, exponiendo la capa intermedia a un ambiente gaseoso que contiene una fuente de azufre (por ejemplo, H_2S , una hoja de tántalo o una hoja de plata) e hidrógeno (por ejemplo, hidrógeno, o una mezcla de hidrógeno y un gas inerte, tal como una mezcla de hidrógeno 5%/gas argón) durante un período de tiempo (por ejemplo, desde aproximadamente 10 segundos hasta aproximadamente una hora, desde aproximadamente un minuto hasta aproximadamente 30 minutos, desde aproximadamente cinco minutos hasta aproximadamente 15 minutos). Esto puede llevarse a cabo a temperatura elevada (por ejemplo, a una temperatura que va desde aproximadamente 450°C hasta aproximadamente 1100°C, desde aproximadamente 600°C hasta aproximadamente 900°C, 850°C). La presión del hidrógeno (o de la mezcla hidrógeno/gas inerte) puede ser relativamente baja (por ejemplo, menos de aproximadamente un torr (133 Pa), menos de aproximadamente 1×10^{-3} torr ($\sim 0.13 \text{ Pa}$), menos de aproximadamente 1×10^6 torr ($0.13 \times 10^{-3} \text{ Pa}$)) o relativamente alta (e.g., mayor de aproximadamente 1 torr (133 Pa), mayor de aproximadamente 100 torr ($13.3 \times 10^3 \text{ Pa}$, mayor de aproximadamente 760 torr ($101.3 \times 10^3 \text{ Pa}$)).
- 20 25 Sin querer limitarse por la teoría, se considera que exponer la superficie del sustrato texturizado a una fuente de azufre bajo estas condiciones puede dar como resultado la formación de una superestructura (por ejemplo, una superestructura de $c(2\times 2)$) de azufre sobre la superficie de sustrato texturizado. Se considera que la superestructura puede ser efectiva en la estabilización (por ejemplo, estabilización química y/o física) de la superficie de la capa intermedia.
- 30 35 A la vez que se ha descrito una metodología para formar una superestructura de azufre, puede utilizarse también otros métodos para formar tales superestructuras. Por ejemplo, una superestructura de azufre (por ejemplo, $\text{S} c(2\times 2)$) puede formarse aplicando una solución orgánica apropiada a la superficie de la capa intermedia calentando hasta una temperatura apropiada en un ambiente de gas apropiado. Además, a la vez que se ha descrito la formación de una superestructura de azufre sobre la superficie de la capa intermedia, se considera que también pueden ser efectivas otras superestructuras en la estabilización (por ejemplo, estabilización química y/o física) de la superficie. Por ejemplo, se considera que una superestructura de oxígeno, una superestructura de nitrógeno, una superestructura de carbono, una superestructura de potasio, una superestructura de cesio, una superestructura de litio o una superestructura de selenio depositada sobre la superficie pueden ser efectivas en la potenciación de la estabilidad de la superficie.
- 40 45 50 En una segunda estación 1120 de procesamiento, se forman una o más capas amortiguadoras sobre la superficie texturizada por crecimiento epitaxial sobre una superficie metálica texturizada. Alternativamente, puede formarse una capa amortiguadora sobre una superficie metálica texturizada aleatoriamente, policristalina, usando deposición asistida por un haz de iones (IBAD). En esta técnica, un material de capa amortiguadora es evaporada utilizando, por ejemplo, evaporación con haz de electrones, deposición por aspersión, o deposición con láser pulsado mientras que un haz de iones (por ejemplo, un haz de iones de argón) es dirigido a una superficie amorfa suave de un sustrato sobre el cual se deposita el material de la capa amortiguadora evaporada.
- 55 Por ejemplo, la capa amortiguadora puede ser formada por deposición asistida por haz de iones evaporando un material de capa amortiguadora que tiene una estructura similar a la sal de roca (por ejemplo, un material que tiene una estructura de sal de roca, tal como un óxido, incluyendo MgO , o un nitruro) sobre una superficie amorfa, suave (por ejemplo, una superficie que tiene una raíz cuadrada media de rugosidad de menos de aproximadamente 10 nm) de un sustrato de tal manera que el material de la capa amortiguadora tiene una superficie con un alineamiento sustancial (por ejemplo, aproximadamente 13° o menos), tanto en el plano como fuera del plano.
- 60 65 En las condiciones usadas durante la deposición del material de capa amortiguadora pueden incluir, por ejemplo, una temperatura de sustrato desde aproximadamente 0°C hasta aproximadamente 750°C (por ejemplo, desde aproximadamente 0°C hasta aproximadamente 400°C, desde aproximadamente temperatura ambiente hasta aproximadamente 750°C, desde aproximadamente temperatura ambiente hasta aproximadamente 400 °C), una rata de deposición desde aproximadamente 0,10 nm por segundo hasta aproximadamente 0,44 nm por segundo, una energía iónica que va desde aproximadamente 200 eV hasta aproximadamente 1200 eV, y/o un flujo de iones que

va desde aproximadamente 110 microamperios por centímetro cuadrado hasta aproximadamente 120 microamperios por centímetro cuadrado.

5 En algunas realizaciones, cuando se utiliza el IBAD, el sustrato es formado de un material que tiene una estructura básica no amorfa, policristalina (por ejemplo, una aleación metálica, tal como una aleación de níquel) con una superficie amorfa suave formada de un material diferente (por ejemplo, Si₃N₄).

10 En ciertas realizaciones, una pluralidad de capas amortiguadoras puede ser depositada por crecimiento epitaxial sobre una superficie IBAD original. Cada capa amortiguadora puede tener un alineamiento sustancial (por ejemplo, aproximadamente 13° o menos), tanto en plano como fuera de plano.

15 Puede prepararse un material amortiguador utilizando técnicas de fase en solución, incluyendo deposición metalorgánica, tal como se divulga, por ejemplo, S. S. Shoup et al., J. Am. Cer. Soc, vol. 81, 3019; D. Beach et al., Mat. Res. Soc. Symp. Proc, vol. 495, 263 (1988); M. Paranthaman et al., Superconductor Sci. Tech., vol. 12, 319 (1999); D.J. Lee et al., Japanese J. Appl. Phys., vol. 38, L178 (1999) and M. W. Rupich et al., I. E. E. E. Trans. on Appl. Supercon. vol.9, 1527. En ciertas realizaciones, los procesos de recubrimiento en solución pueden ser utilizados para la deposición epitaxial de uno a una combinación de cualquiera de las capas de óxido sobre sustratos texturizados; sin embargo, pueden ser particularmente aplicables para la deposición de la capa inicial (semilla) sobre un sustrato metálico texturizado. El papel de la capa semilla es proveer 1) protección del sustrato frente a la oxidación durante la deposición de la siguiente capa de óxido cuando se lleva a cabo en una atmósfera oxidante con respecto al sustrato (por ejemplo, deposición con aspersión con magnetrón de Zirconia estabilizada con ytria de un objetivo óxido); y 2) una plantilla epitaxial para crecimiento de capas de óxido subsecuentes. Con el fin de satisfacer estos requerimientos, la capa semilla debería crecer epitaxialmente sobre la superficie completa del sustrato metálico y estar libre de cualquier contaminante que pueda interferir con la deposición de capas de óxido epitaxiales subsecuentes.

20 25 30 La formación de capas amortiguadoras de óxido puede ser llevada a cabo de tal manera que se promueva la humectación de una capa sustrato subyacente. Adicionalmente, en realizaciones particulares, la formación de capas de óxido metálico puede llevarse a cabo utilizando precursores de alcóxido de metal (por ejemplo, precursores "sol gel").

35 Una vez que el sustrato texturizado que incluye la capa amortiguadora está preparado, se deposita una solución de precursor en la estación 1130 de deposición como se describe más arriba. Opcionalmente, el precursor puede corresponder a una plantilla. Puede requerirse equipo adicional para lograr la operación de formación de plantilla, por ejemplo, cuando se utiliza ablación por láser o bombardeo con iones para formar la plantilla de la capa superconductora. Si se utiliza la deposición con plantilla gota a gota, entonces un aparato de deposición por impresión con chorro de tinta puede lograr tanto la deposición como la formación de la plantilla de la solución precursora de óxido.

40 45 50 55 60 Típicamente, se utiliza química de soluciones para preparar fluoruro de bario y/u otros precursores superconductores; y una solución (por ejemplo, una solución que contiene sales metálicas, tales como acetato de Ytrio, trifluoroacetato de ytrio (Y-TFA), acetato de cobre, acetato de bario y/o una sal fluorada de bario) se dispone sobre una superficie (por ejemplo, sobre una superficie de un sustrato, tal como un sustrato que tiene una capa de aleación con una o más capas amortiguadoras depositadas sobre la misma). La solución puede ser dispuesta sobre la superficie utilizando técnicas estándar (por ejemplo, recubrimiento por rotación, recubrimiento por inmersión, recubrimiento por ranuras). La solución es secada para eliminar al menos una parte de los compuestos orgánicos presentes en la solución (por ejemplo, secada a aproximadamente a temperatura ambiente o bajo calor moderado), y el material resultante se hace reaccionar (por ejemplo, se descompone) en un horno en un ambiente de gas que contiene oxígeno y agua para formar fluoruro de bario y/o otros materiales apropiados (por ejemplo, CuO y/o Y₂O₃). En algunas realizaciones, los reactores citados más arriba pueden ser utilizados en cualquiera o todas de estas etapas.

65 Las soluciones de sales metálicas se preparan utilizando fuentes de metal en las proporciones apropiadas deseadas en la capa superconductora resultante. Así, por ejemplo, una cantidad adicional de sal de cobre, en exceso de las proporciones estequiométricas utilizadas en Y-123, se incluye en una solución precursora utilizada para preparar una capa superconductora de alta I_c(H//ab) que tiene exceso de cobre. De manera similar, la solución precursora puede contener componentes aditivos, incluyendo compuestos metálicos solubles e insolubles, que se utilizan para modificar la composición final del superconductor. Tales aditivos pueden incluir, por ejemplo, compuestos solubles de compuestos metálicos tales como ytrio, neodimio, samario, europio, gadolinio, Terbio, dispropio, holmio, Erbio, Tulio, yterbio y lutecio, metales alcalinotérreos, como calcio, bario y estroncio, metales de transición, tales como el escandio, titanio, vanadio, cromo, manganeso, hierro, cobalto, níquel y circonio, Cerio, plata, aluminio y magnesio que son capaces de disolverse en los solventes contenidos en la solución precursora. Los componentes aditivos también pueden incluir excesos estequiométricos de compuestos solubles incluidos en la solución precursora. Por ejemplo, pueden incluirse sales solubles de ytrio o sales solubles de cobre en la solución precursora en exceso al requerido para formar Y123. También pueden agregarse componentes aditivos insolubles a la solución precursora.

Ejemplos de soluciones salinas metálicas que pueden ser utilizadas son como sigue.

- 5 En algunas realizaciones, la solución salina metálica puede tener una cantidad relativamente pequeña de ácido libre.
- 5 En soluciones acuosas, ésta puede corresponder a una solución de sal metálica con un pH relativamente neutro (por ejemplo, ni fuertemente ácido ni fuertemente básico). La solución salina metálica puede ser utilizada para preparar superconductores de capas múltiples utilizando una amplia variedad de materiales que pueden ser utilizados como capas subyacentes sobre la cual se forma la capa superconductora.
- 10 La concentración total de ácido libre de la solución salina metálica puede ser menor de aproximadamente 1×10^{-3} molar, (por ejemplo, menos de aproximadamente 1×10^{-5} molar o aproximadamente 1×10^{-7} molar). Ejemplos de ácidos libres que pueden estar contenidos en una solución de sal metálica incluyen ácido trifluoroacético, ácido acético, ácido nítrico, ácido sulfúrico, ácidos de yoduros, ácidos de bromuros y ácidos de sulfatos.
- 15 Cuando la solución salina metálica contiene agua, la composición precursora puede tener un pH de al menos aproximadamente 3 (por ejemplo, al menos aproximadamente 5 o aproximadamente 7).
- En algunas realizaciones, la solución salina metálica puede tener un contenido de agua relativamente bajo (por ejemplo, menos de aproximadamente 50% en volumen de agua, menos de aproximadamente menos de 35% en volumen de agua, menos de aproximadamente 25% en volumen de agua).
- 20 25 En realizaciones en donde la solución salina metálica contiene ión trifluoroacetato y un catión de un metal alcalinotérreo (por ejemplo, bario), la cantidad total de ión trifluoroacetato puede ser seleccionada de tal manera que la relación molar del flúor contenido en la solución salina metálica (por ejemplo, en la forma de trifluoroacetatos) con respecto al metal alcalinotérreo (por ejemplo, iones varios) contenido en la solución salina metálica es al menos aproximadamente 2:1 (por ejemplo, desde aproximadamente 2:1 hasta aproximadamente 18.5:1, o desde aproximadamente 2:1 hasta aproximadamente 10:1).
- 30 35 En general, la solución salina metálica puede ser preparada combinando compuestos solubles de un primer metal (por ejemplo, cobre), un segundo metal (por ejemplo, un metal alcalinotérreo) y un metal de tierra rara con uno o más solventes deseados y opcionalmente agua. Tal como se utiliza aquí, "compuestos solubles" de los metales primero, segundo y de tierra rara se refiere a compuestos de estos metales que son capaces de disolverse en los solventes contenidos en la solución de sal metálica. Tales compuestos incluyen, por ejemplo, sales (por ejemplo nitratos, acetatos, alcóxidos, yoduros, sulfatos y trifluoroacetatos), óxidos e hidróxidos de estos metales.
- 35 40 En ciertas realizaciones, una solución salina metálica puede ser formada a partir de una solución orgánica que contiene trifluoroacetatos metálicos preparados a partir de polvos de $\text{Ba}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$, $\text{Y}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_3$, y $\text{Cu}(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2$ los cuales son combinados y se hacen reaccionar utilizando métodos conocidos para los experimentados en el arte. Por ejemplo, los polvos de fluoroacetatos de metales pueden ser combinados en una relación de un 2:1:3 en alcohol metílico para producir una solución sustancialmente 0,94 M con base en el contenido de cobre.
- 45 50 En ciertas realizaciones, la solución salina metálica puede contener una base de Lewis. El metal de tierra rara puede ser ytrio, lantano, europio, gadolinio, Terbio, disprosio, holmio, Erbio, Tilio, iterbio, cerio, Praseodimio, neodimio, prometio, samario o Lutecio. En general, la sal metálica de tierra rara puede ser cualquier sal metálica de tierra rara que sea soluble en los solventes contenidos en la solución salina metálica y que, cuando se procesa para formar un intermediario (por ejemplo, un intermediario de oxihaluro metálico), forma óxidos de tierras raras (por ejemplo, Y_2O_3). Tales sales pueden tener, por ejemplo, la fórmula $\text{M}(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{CXX'X})(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{CX'''X''''X''''})(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_p-\text{CX''''X''''X''''})$ o $\text{M}(\text{OR})_3$. M es el metal de tierra rara. n, m y p es al menos uno pero menos de un cierto número que genera la sal insoluble en los solventes (por ejemplo, de uno a diez). Cada uno de X, X', X'', X''', X'''', X''''', X'''''' y X'''''' es H, F, Cl, Br o I. R es un grupo que contiene carbono, el cual puede ser halogenado (por ejemplo, CH_2CF_3) o no halogenado. Ejemplos de tales sales incluyen carboxilatos no halogenados, acetatos halogenados (por ejemplo, trifluoroacetato, tricloroacetato, tribromoacetato, triyodoacetato), alcóxidos halogenados y alcóxidos no halogenados. Ejemplos de tales carboxilatos no halogenados incluyen acetatos no halogenados (por ejemplo, M ($\text{O}_2\text{C-CH}_3)_3$). El metal alcalinotérreo puede ser bario, estroncio o calcio. En general, la sal de metal alcalinotérreo
- 55 60 65 puede ser cualquier sal de metal alcalinotérreo que sea soluble en los solventes contenidos en la solución salina metálica y que, cuando se procesan para formar un intermediario (por ejemplo, un intermediario de oxihaluro metálico), forma un compuesto de haluro de metal alcalino (por ejemplo, BaF_2 , BaCl_2 , BaBr_2 , BaI_2) antes de formar óxidos de alcalinotérreos (por ejemplo, BaO). Tales sales pueden tener, por ejemplo, la fórmula $\text{M}'(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_n-\text{CXX'X})(\text{O}_2\text{C}-(\text{CH}_2)_m-\text{CX'''X''''X''''})$ o $\text{M}'(\text{OR})_2$. M' es el metal alcalinotérreo, n y m son cada una al menos una pero menos que un cierto número que hace que la sal sea insoluble en los solventes (por ejemplo, de uno a diez). Cada uno de X, X', X'', X''', X'''' es H, F, Cl, B o, I. R puede ser un grupo que contiene carbono halogenado o no halogenado. Ejemplos de tales sales incluyen acetatos halogenados (por ejemplo, trifluoroacetato, tricloroacetato, tribromoacetato, triyodoacetato). En general, el metal de transición es cobre. El metal de transición debe ser soluble en los solventes contenidos en la solución de sal metálica. Preferiblemente, durante la conversión del precursor al intermediario (por ejemplo, oxihaluro metálico), ocurre un entrecruzamiento mínimo entre moléculas de metal de

- transición discretas (por ejemplo, moléculas de cobre). Tales metales de transición pueden tener, por ejemplo, la fórmula $M''(CXX'X''-CO(CH)_aCOCX''X''X''')(CX''''X''''X''''-CO(CH)_bCOCX''''X''''X''''')$, $M''(O_2C-(CH_2)_n-CXX'X'')$ ($O_2C-(CH_2)_m-CX''X''X''')$ o $M''(OR)_2$. M'' es el metal de transición. a y b son cada uno al menos uno pero menos que un cierto número que hace que la sal sea insoluble en los solventes (por ejemplo, de uno a cinco). En general, n y m son cada uno al menos uno pero menos de un número que hace que la sal sea insoluble en los solventes (por ejemplo, de uno a diez). Cada uno de X , X' , X'' , X''' , X'''' , X''''' , X'''''' , X''''''' , y X'''''''' , es H, F, Cl, Br o I. R es un grupo que contiene carbón, el cual puede ser halogenado (por ejemplo, CH_2CF_3) o no halogenado. Estas sales incluyen, por ejemplo, acetatos no halogenados (por ejemplo, $M''(O_2C-CH_3)_2$), acetatos halogenados, alcóxidos halogenados, y alcóxidos no halogenados. Ejemplos de tales sales incluyen tricloroacetato de cobre, tribromoacetato de cobre, triyodoacetato de cobre, $Cu(CH_3COCHCOCF_3)_2$, $Cu(OOCC_7H_{15})_2$, $Cu(CF_3COCHCOF_3)_2$, $Cu(CH_3COCHCOCH_3)_2$, $Cu(CH_3CH_2CO_2CHCOCH_3)_2$, $CuO(C_5H_6N)_2$ y $Cu_3O_3Ba_2(O-CH_2CF_3)_4$. En ciertas realizaciones, la sal de metal de transición es una sal de carboxilato (por ejemplo, una sal de carboxilato no halogenada) tal como una sal de propionato del metal de transición (por ejemplo, una sal de propionato no halogenada del metal de transición). Un ejemplo de una sal de propionato no halogenada y un metal de transición es $Cu(O_2CC_2H_5)_2$. En unas realizaciones, la sal de metal en transición es una sal simple, tal como sulfato de cobre, nitrato de cobre, yoduro y/o oxilato de cobre. En algunas realizaciones, n y/o m pueden tener el valor cero. En ciertas realizaciones, a y/o b pueden tener el valor cero. Una Lista ilustrativa y no limitante de las bases de Lewis incluyen compuestos que contienen nitrógeno, tales como amoníaco y aminas. Ejemplos de aminas incluyen CH_3CN , C_5H_5N y $R_1R_2R_3N$. Cada uno de R_1 R_2 R_3 es independientemente H, un grupo alquilo (por ejemplo, un grupo alquilo de cadera recta, un grupo alquilo ramificado, un grupo alquilo alifático, un grupo alquilo no alifático y/o un grupo alquilo sustituido) o similares. Sin querer limitarse por la teoría, se considera que la presencia de una base de Lewis en la solución de sal metálica puede reducir el entrecruzamiento de cobre durante la formación del intermediario. Se cree que esto se alcanza debido a que una base de Lewis puede coordinar (por ejemplo, coordinación selectiva) con iones cobre, reduciendo por lo tanto la capacidad del cobre para entrecruzarse.
- Típicamente, la solución de sal metálica es aplicada a una superficie (por ejemplo, típicamente una capa de superficie de un amortiguador), por medios tales como recubrimiento por rotación, recubrimiento por inmersión, recubrimiento por humectación, recubrimiento por ranura, recubrimiento por grabado, u otras técnicas conocidas por los experimentados en el arte, y luego calentadas subsecuentemente.
- En una estación 1140 subsiguiente, los componentes del precursor se descomponen. En el caso de los componentes del precursor que utilizan al menos una sal que contiene fluoruro, el primer paso de la etapa de calentamiento se lleva a cabo para descomponer las moléculas de metalorgánicas a uno o más intermediarios oxifluoruro del material superconductor deseado.
- Típicamente, la temperatura inicial en esta etapa es aproximadamente temperatura ambiente, y la temperatura final va desde aproximadamente 190°C hasta aproximadamente 210°C, preferiblemente hasta una temperatura de aproximadamente 200°C. Preferiblemente, esta etapa se lleva a cabo utilizando una rampa de temperatura de al menos 5°C por minuto, más preferiblemente una rampa de temperatura de al menos 10°C por minuto, y lo más preferiblemente una rampa de temperatura de al menos aproximadamente 15°C por minuto. Durante esta etapa, la presión parcial de vapor de agua en el ambiente nominal gaseoso se mantiene preferiblemente a aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 50 Torr (~6666 Pa) más preferiblemente desde aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 30 Torr (~4000 Pa), y los más preferiblemente a desde aproximadamente 20 Torr (~2666 Pa) hasta aproximadamente 30 Torr (~4000 Pa). La presión parcial de oxígeno en el ambiente gaseoso nominal se mantiene a desde aproximadamente 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa) y preferiblemente a aproximadamente 730 -740 Torr (~9.73x10⁴ a ~9.87x10⁴ Pa).
- Se continúa entonces el calentamiento hasta una temperatura que va desde aproximadamente 200°C hasta aproximadamente 290°C utilizando una rampa de temperatura que va desde aproximadamente 0,05 °C por minuto hasta aproximadamente 5°C por minuto (por ejemplo, desde aproximadamente 0,5°C por minuto hasta aproximadamente 1 °C por minuto). Preferiblemente, el ambiente de gas durante esta etapa de calentamiento es sustancialmente el mismo que el ambiente de gas nominal utilizado cuando la muestra es calentada desde la temperatura inicial desde hasta 190°C hasta aproximadamente 215°C.
- El calentamiento es continuado posteriormente a una temperatura de aproximadamente 650°C, o más preferiblemente a una temperatura de aproximadamente 400°C, para formar el intermedio oxifluoruro. Esta etapa se lleva a cabo preferiblemente utilizando una rampa de temperatura de al menos aproximadamente 2°C por minuto, más preferiblemente al menos aproximadamente 3°C por minuto, y lo más preferiblemente al menos aproximadamente 5°C por minuto. Preferiblemente, el ambiente gaseoso durante esta etapa de calentamiento es sustancialmente el mismo que el ambiente gaseoso nominal usado cuando la muestra es calentada desde la temperatura inicial hasta aproximadamente 190°C hasta aproximadamente 215°C.
- En realizaciones alternativas, el fluoruro de bario se forma calentando la solución secada desde una temperatura inicial (por ejemplo, a temperatura ambiente) hasta una temperatura que va desde aproximadamente 190°C hasta aproximadamente 215°C (por ejemplo, aproximadamente 210°C) en una presión de vapor de agua que va desde

- aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 50 Torr (~6666 Pa) vapor de agua (e.g., desde aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 30 Torr (~4000 Pa) vapor de agua, o desde aproximadamente 10 Torr (~1333 Pa) hasta aproximadamente 25 Torr (~3333 Pa) vapor de agua). La presión parcial nominal de oxígeno puede ser, por ejemplo, desde aproximadamente 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta 5 aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa). En estas realizaciones, el calentamiento se continúa a una temperatura que va desde aproximadamente 220°C hasta aproximadamente 290°C (por ejemplo, aproximadamente 220°C a una presión de vapor que va desde aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 50 Torr (~6666 Pa) de vapor de agua (e.g., desde aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 30 Torr (~4000 Pa) de vapor de agua, o desde aproximadamente 10 Torr (~1333 Pa) hasta aproximadamente 25 Torr (~3333 Pa) de vapor de agua). La presión nominal parcial de oxígeno puede ser, por ejemplo, desde aproximadamente 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta 10 aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa). Esto es seguido por calentamiento hasta aproximadamente 400°C a una tasa de al menos aproximadamente 2°C por minuto (e.g., al menos aproximadamente 3°C por minuto, al menos aproximadamente 5°C por minuto) en una presión de vapor de agua de desde aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta 15 aproximadamente 50 Torr (~6000 Pa) vapor de agua (e.g., desde aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) hasta aproximadamente 30 Torr (~4000 Pa) de vapor de agua, o desde aproximadamente 10 Torr (~1333 Pa) hasta aproximadamente 25 Torr (~3333 Pa) de vapor de agua para formar fluoruro de bario. La presión nominal parcial de oxígeno puede ser, por ejemplo, desde aproximadamente 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta 20 aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa).
- En ciertas realizaciones, el calentamiento de la solución secada para formar fluoruro de bario puede incluir poner la muestra recubierta en un horno precalentado (por ejemplo, a una temperatura de al menos aproximadamente 100°C, al menos 25 aproximadamente 150°C, al menos aproximadamente 200 °C, como máximo aproximadamente 300°C, como máximo aproximadamente 250°C, aproximadamente 200 °C). El ambiente gaseoso en el horno puede tener, por ejemplo, una presión de gas total de aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa), una presión parcial predeterminada de vapor de agua (por ejemplo, al menos aproximadamente 10 Torr (~1333 Pa), al menos 30 aproximadamente 15 Torr (~2000 Pa) como máximo aproximadamente 25 Torr (~3333 Pa), como máximo aproximadamente 20 Torr (~2666 Pa), aproximadamente 17 Torr (~2266 Pa)) siendo el resto oxígeno molecular. Despues de que la muestra recubierta alcanza la temperatura del horno, la temperatura del horno puede ser incrementada (por ejemplo, hasta al menos aproximadamente 225°C, hasta al menos aproximadamente 240°C, hasta como máximo 35 aproximadamente 275 °C, hasta como máximo aproximadamente 260°C, aproximadamente 250 °C) a una tasa de rampa de temperatura predeterminada (por ejemplo, al menos aproximadamente 0,5°C por minuto, al menos 40 aproximadamente 0,75 °C por minuto, como máximo aproximadamente 2°C por minuto, como máximo aproximadamente 1,5°C por minuto, aproximadamente 1 °C por minuto). Esta etapa puede llevarse a cabo con el mismo ambiente gaseoso nominal utilizado en la primera etapa de calentamiento. La temperatura del horno puede ser incrementada entonces adicional (e.g., hasta al menos 350°C, hasta al menos 375°C, hasta como máximo 450°C, hasta como máximo 425°C, aproximadamente 450°C) a una tasa de rampa de temperatura predeterminada (e.g., a al menos 5°C por minuto, a al menos 8°C por minuto, como máximo aproximadamente 20°C por minuto, como máximo aproximadamente 12°C por minuto, aproximadamente 10°C por minuto). Esta etapa puede llevarse a cabo con el mismo ambiente gaseoso nominal usado en la primera etapa de calentamiento.
- Pueden depositarse capas adicionales sobre una capa previamente depositada, la cual ha sido procesada para formar una película intermedia de oxifluoruro. Las condiciones procesamiento son sustancialmente como las que se describen aquí arriba; sin embargo, la presión parcial de vapor de agua durante la descomposición de la película de oxifluoruro es aproximadamente 5-10 torr (~ 667 a Pa ~ 1333).
- Los tratamientos anteriores de una solución salina metálica pueden dar como resultado una película intermedia de oxifluoruro en la cual los constituyentes de óxidos de metal y fluoruros de metal que están distribuidos homogéneamente a lo largo de la película. Preferiblemente, el precursor tiene una densidad de defectos relativamente baja y está esencialmente libre de fracturas a través del espesor intermedio. A la vez que se ha descrito la química de soluciones para la formación de fluoruro de bario pueden utilizarse también otros métodos para otras soluciones precursoras.
- La película intermedia superconductora puede entonces ser calentada para formar la capa HTS deseada en una estación 55 1150 de procesamiento posterior. Típicamente, ésta etapa se lleva a cabo calentando desde aproximadamente temperatura ambiente hasta una temperatura de aproximadamente 700°C hasta aproximadamente 825°C, preferiblemente a una temperatura que va desde aproximadamente 740°C hasta 60 800°C y más preferiblemente hasta una temperatura de aproximadamente 750°C hasta aproximadamente 790°C, a una rampa de temperatura de aproximadamente más de 25°C por minuto, preferiblemente a una tasa de temperatura de aproximadamente más de 100°C por minuto y más preferiblemente a una tasa de temperatura de aproximadamente más de 200°C por minuto. Esta etapa puede también comenzar desde la temperatura final de aproximadamente 400-650°C utilizada para formar la película intermedia de oxifluoruro. Durante esta etapa, se hace fluir sobre la superficie de la película para suministrar los reactivos gaseosos a la película y para eliminar los productos de reacción gaseosos de la película. El ambiente gaseoso nominal durante ésta etapa tiene una presión total de 65 aproximadamente 0.1 Torr (Pa ~13.3) hasta aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa) y está comprendido desde aproximadamente 0.09 Torr (~12 Pa) hasta aproximadamente 50 Torr (~6666 Pa) de oxígeno y aproximadamente

- 0.01 Torr (~1.33 Pa) hasta aproximadamente 150 Torr (~2.00x10⁴ Pa) de vapor de agua y aproximadamente 0 Torr (~0 Pa) hasta aproximadamente 750 Torr (~1.00x10⁵ Pa) de un gas inerte (nitrógeno o argón). Más preferiblemente, el ambiente gaseoso nominal tiene una presión total de aproximadamente 0.15 Torr (~20.0 Pa) hasta aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) y está comprendida desde aproximadamente 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta aproximadamente 1 Torr (~133.3 Pa) de oxígeno y de aproximadamente 0.05 Torr (~6.67 Pa) hasta aproximadamente 4 Torr (~533 Pa) de vapor de agua.
- La película es mantenida entonces a una temperatura de aproximadamente 700°C - 825°C, preferiblemente a una temperatura aproximadamente de 740°C a 800°C y más preferiblemente a una temperatura de aproximadamente 750°C hasta aproximadamente 790°C, durante un tiempo de aproximadamente al menos 5 minutos hasta aproximadamente 120 minutos, preferiblemente durante un tiempo de al menos aproximadamente 15 minutos hasta aproximadamente 60 minutos, y más preferiblemente durante un tiempo de al menos aproximadamente 15 minutos hasta aproximadamente 30 minutos. Durante esta etapa, se hace fluir un gas de procesos sobre la superficie de la película para suministrar los reactivos gaseosos para la película y para eliminar los productos gaseosos de reacción de la película. El ambiente gaseoso nominal durante esta etapa tiene una presión total de aproximadamente 0,1 Torr (~13.3 Pa) hasta aproximadamente 760 Torr (~1.01x10⁵ Pa) y está comprendida aproximadamente desde 0.09 Torr (~12 Pa) hasta aproximadamente 50 Torr (~6666 Pa) de oxígeno y aproximadamente 0.01 Torr (~1.33 Pa) hasta aproximadamente 150 Torr (~2.00x10⁴ Pa) vapor de agua y aproximadamente 0 Torr (~0 Pa) hasta aproximadamente 750 Torr (~1.00x10⁵ Pa) de un gas inerte (nitrógeno o argón). Más preferiblemente, el ambiente gaseoso nominal tiene una presión total de aproximadamente 0.15 Torr (~20.0 Pa) hasta aproximadamente 5 Torr (~667 Pa) y está comprendida aproximadamente desde 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta aproximadamente 1 Torr (~133.3 Pa) de oxígeno y aproximadamente 0.05 Torr (~6.67 Pa) hasta aproximadamente 4 Torr (~533 Pa) vapor de agua.
- La película es enfriada entonces hasta temperatura ambiente gaseoso nominal con una presión de oxígeno de aproximadamente 0.05 Torr (~6.67 Pa) hasta aproximadamente 150 Torr (~2.00x10⁴ Pa), preferiblemente de manera aproximada 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta aproximadamente 0.5 Torr (~66.7 Pa) y más preferiblemente desde aproximadamente 0.1 Torr (~13.3 Pa) hasta aproximadamente 0.2 Torr (~26.7 Pa).
- El tratamiento de las películas precursoras tal como se describió más arriba provee una película de óxidos superconductora de estequiométria 123YBC normal. La estequiométria puede variar si la composición precursora contiene, por ejemplo, aditivos para la formación de precipitados en segunda fase para la formación de sitios de sujeción a nanoscalas.
- Opcionalmente, puede llevarse a cabo una formación de filamentos en la estación 1160 por procesos conocidos, o por procesos descritos en la solicitud de patente de los Estados Unidos 10/955,801, presentada el 29 de septiembre de 2004. Un procesamiento posterior mediante deposición de metal noble en la estación 1170, fusión con oxígeno en un ambiente con alto contenido de oxígeno, por ejemplo 760 Torr (1.01x10⁵ Pa) de O₂, en la estación 1180, laminación como se describió aquí más arriba y división en la estación 1190 completan el proceso.
- La invención está descrita con referencia a los siguientes ejemplos, los cuales se presentan con el propósito de ilustración y de ninguna manera pretenden ser limitantes de la invención.
- Ejemplo 1. Preparación de una capa superconductora alta Ic (H//ab) (ejemplo comparativo).
- Una solución precursora de Y-123 que tiene una estequiométria de Y:Ba:Cu de 1: 2:3.34 fue preparada disolviendo aproximadamente 0,83 gramos de Y(CF₃CO₂)₃, aproximadamente 1,60 gramos de Ba(CF₃CO₂)₂ y aproximadamente 1.54 gramos de Cu(C₂H₆CO₂)₂ en aproximadamente 4.85 ml de metanol (CH₃OH) y aproximadamente 0.15 ml de ácido propiónico (C₂H₆CO₂). La fórmula final de la solución fue ajustada a aproximadamente 5 ml con metanol.
- La solución precursora fue depositada mediante una técnica de recubrimiento por rotación, a una velocidad de 2000 RPM, sobre un sustrato metálico amortiguado con óxido texturizado biaxialmente de una longitud de (20 cm a 10 metros) de 1 cm de anchura con la estructura Ni(5at%)W/Y₂O₃YSZ/CeO₂. Una cantidad suficiente de solución precursora fue depositada para producir una película de un espesor de aproximadamente 0,8 µm de YBa₂Cu₃O_{7-x}.
- La muestra recubierta fue descompuesta a una película de oxifluoruro metálico intermedia calentando, en un horno de tubo de 2.25" (5.72 cm) de diámetro desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 200°C a una tasa de aproximadamente 15°C por minuto, luego desde aproximadamente 200°C hasta aproximadamente 250°C a una tasa de aproximadamente 0,9 °C por minuto y luego desde aproximadamente 250°C hasta aproximadamente 400°C a una tasa de aproximadamente 5°C por minuto en un ambiente gaseoso con flujo que tenía una presión de gas total de aproximadamente 760 torr (~1.01x10⁵ Pa) (presión de vapor de agua de aproximadamente 24 torr (~3.2x10³ Pa) siendo el resto oxígeno).
- La película de oxifluoruro metálico fue tratada entonces con calor para formar un superconductor de óxido. Una longitud corta (1-2cm) de la película intermedia fue calentada en un horno de tubo hasta aproximadamente 785°C a

una ⁵ rata de aproximadamente 200°C por minuto y se mantuvo durante aproximadamente 30 minutos en un ambiente que tenía una presión de gas total de aproximadamente 240 mtorr (~32.0 Pa) (presión de vapor de agua de aproximadamente 90 mtorr (~12.0 Pa), y una presión de gas oxígeno de aproximadamente 150 mtorr (~20.0 Pa)). Despues de mantenerla durante 30 minutos, el vapor de H₂O fue retirado del ambiente gaseoso y la película fue enfriada hasta temperatura ambiente en aproximadamente 150 mtorr (~20.0 Pa) de O₂. La película resultante tenía aproximadamente 0,8 µm de espesor.

Ejemplo 2. Preparación de una capa superconductora de alta I_c(c) utilizando 50% molar de exceso de Er-Y123 (ejemplo comparativo).

10 Se preparó una solución precursora disolviendo aproximadamente 0.83 gramos de Y(CF₃CO₂)₃, aproximadamente 0.138 gramos de Er(CH₃CO₂)₃, aproximadamente 1.60 gramos de Ba(CF₃CO₂)₂ y aproximadamente 1.28 gramos de Cu(C₂H₅CO₂)₂ en aproximadamente 4.85 ml de metanol (CH₃OH) y aproximadamente 0.15 ml de ácido propiónico (C₂H₆CO₂). El volumen final de la solución fue ajustado a aproximadamente 5 ml con metanol.

15 ¹⁵ El precursor fue descompuesto, procesado y recubierto con Ag tal como se describe en el ejemplo 1. La película resultante tenía una superficie suave y lustrosa, y sorprendentemente un espesor mayor de aproximadamente 2.6 µm con un recubrimiento individual. El patrón de difracción por rayos x de la película final mostró la presencia de Y (Er)Ba₂Cu₃O_{7-x} (00l) texturizada.

20 Ejemplo 3. Preparación de películas superconductoras doblemente recubiertas con diferentes composiciones (realización de la presente invención).

25 Una solución precursora de YBCO como línea base que tenía una estequiométria de Y:Ba:Cu de 1 :2:3.23 fue preparada disolviendo aproximadamente 0.85 gramos de Y(CF₃CO₂)₃, aproximadamente 1.45 gramos de Ba(CF₃CO₂)₂ y aproximadamente 1.35 gramos de Cu(C₂H₆CO₂)₃ en aproximadamente 4.85 ml de metanol (CH₃OH) y aproximadamente 0.15 ml de ácido propiónico (C₂H₆CO₂). El volumen final de la solución fue ajustado con metanol al tener una concentración de Y de aproximadamente 0.4 molar.

30 Una solución precursora de A YBCO con adición de 50% de Disprosio con una estequiométria de Y: Dy :Ba:Cu de 1 :0.5:2:3.23 fue preparada disolviendo aproximadamente 1.70 gramos de Dy(CH₃CO₂)₃, y aproximadamente 1.90 ml de metanol (CH₃OH) en aproximadamente 20 ml de solución de línea base. El volumen final de la solución fue ajustado con metanol para tener una concentración de Y de aproximadamente 0.3 molar.

35 La solución precursora agregada con 50% de Dy fue depositada sobre un sustrato metálico amortiguado de óxido texturizado biaxialmente con la estructura Ni(5at%)W/Y₂O₃/YSZ/Ce₂ mediante la técnica de recubrimiento con molde con ranura. La solución fue recubierta sobre sustrato amortiguado con la cantidad dirigida a formar una película de REBa₂Cu₃O_{7-x} de 0.8 µm de espesor.

40 ⁴⁰ La muestra recubierta fue descompuesta a una película de oxifluoruro metálico intermedia calentando, en un tubo de horno de 2.25 pulgadas (5,72 cm) de diámetro, desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 200°C a una rata de aproximadamente 15°C por minuto, luego desde aproximadamente 200°C hasta aproximadamente 250°C a una rata de aproximadamente 0.9 °C por minuto y luego desde aproximadamente 250°C hasta aproximadamente 400°C a una rata de aproximadamente 5°C por minuto en un ambiente gaseoso en flujo que tenía una presión total de gas de aproximadamente 760 torr (~1.01x10⁵ Pa) (presión de vapor de agua de aproximadamente 17.5 Torr (~2333 Pa) (siendo el resto oxígeno) a 20 °C).

50 La película de oxifluoruro metálico fue recubierta entonces con la solución precursora YBCO de línea base preparada como se describió más arriba por un espesor final objetivo de 0.6 µm de YBa₂Cu3O_x.

La cinta recubierta fue descompuesta de nuevo para formar el oxifluoruro metálico intermedio por el mismo proceso como se mencionó anteriormente excepto que esta vez la presión de vapor de H₂O fue controlada a aproximadamente 9.2 torr (~1.23x10³ Pa).

55 La cinta descompuesta fue tratada con calor para formar un superconductor de óxido. La cinta fue unida con 4m de cinta de guía de NiW recubierta de manera similar tanto en la parte similar como en el respaldo para establecer el ambiente uniforme y controlado durante la reacción. La cinta se hizo reaccionar entonces a 785°C con los siguientes parámetros. La cinta fue sometida a una rampa hasta 785°C con una rata de rampa promedio de aproximadamente 285 °C/minuto. Durante la reacción, la presión total durante la reacción fue controlada hasta aproximadamente 1 torr.

60 La presión parcial de H₂O fue aproximadamente 800 mtorr (~106.7 Pa) y la presión parcial de oxígeno fue aproximadamente 200 mtorr (~26.7 Pa). El tiempo de reacción fue de aproximadamente 11 minutos. Durante el enfriamiento, se utilizó una presión total de aproximadamente 1 torr con presión parcial de oxígeno a aproximadamente 200 mTorr (~26.7 Pa) y presión parcial de N₂ a aproximadamente 800 mTorr (~106.7 Pa).

La película reaccionada fue recubierta con aproximadamente ~3 μm de capa de protección de Ag y luego fusionada en un ambiente de oxígeno a 760 torr. La película resultante tenía una I_c de aproximadamente ~500/cm-anchura o una J_c de aproximadamente 4 MA/cm² a 77K, autocampo. La corriente crítica (I_c) versus la orientación del campo magnético (Θ) a 75K y 1 Tesla se representa gráficamente en la Figura 12. A 75 K y 1 Tesla, el cable HTS porta una

5 I_c de 114 A/cm-anchura y 178 A/cm-anchura con el campo perpendicular y paralelo a la superficie de la muestra, respectivamente. Esto representa una anisotropía de aproximadamente 1.5.

Otras referencias

10 En los documentos siguientes se encuentra información relevante adicional:

Patente de los Estados Unidos No. 5,231 ,074, expedida el 27 de julio de 1993, y titulada "Preparation of HighlyTextured Oxide Superconducting Films from MOD Precursor Solutions;" Patente de los Estados Unidos No.

15 6,022,832, expedida el 8 de febrero de 2000, y titulada "Low Vacuum Process for Producing Superconductor Articles with Epitaxial Layers;" Patente de los Estados Unidos No. 6,027,564, expedida el 22 de febrero de 2000, y titulada "Low Vacuum Process for Producing Epitaxial Layers;" Patente de los Estados Unidos No. 6,190,752, expedida el 20 de febrero de 2001, y titulada "Alloy Materials;" Publicación PCT No. WO/58044, publicada el 5 de octubre de 2000, y titulada "Alloy Materials;" Publicación PCT No. WO 99/17307, publicada el 8 de abril de 1999, y titulada "Substrates with Improved Oxidation Resistance;" Publicación PCT No. WO 99/16941, publicada el 8 de abril de 1999, y titulada

20 "Substrates for Superconductors;" Publicación PCT No. WO98/58415, publicada el 23 de diciembre de 1998, y titulada "Controlled Conversion of Metal Oxyfluorides into Superconducting Oxides;" Publicación PCT No. WO 01/11428, publicada el 15 de febrero de 2001, y titulada "Multi-Layer Articles and Methods of Making Same;" Publicación PCT No. WO 01/08232, publicada el 1 de febrero de 2001, y titulada "Multi-Layer Articles And Methods Of Making Same;" Publicación PCT No. WO 01/08235, publicada el 1 de febrero de 2001, y titulada "Methods And

25 Compositions For Making A Multi-Layer Article;" Publicación PCT No. WO 01/08236, publicada el 1 de febrero de 2001, y titulada "Coated Conductor Thick Film Precursor;" Publicación PCT No. WO 01/08169, publicada el 1 de febrero de 2001,y titulada "Coated Conductors With Reduced A.C. Loss;" Publicación PCT No. WO 01/15245, publicada el 1 de marzo 2001, y titulada "Surface Control Alloy Substrates and Methods of Manufacture Therefor;" Publicación PCT No. WO 01/08170, publicada el 1 de febrero de 2001, y titulada "Enhanced Purity Oxide Layer

30 Formation;" Publicación PCT No. WO 01/26164, publicada el 12 de abril de 2001, y titulada "Control of Oxide Layer Reaction Rates;" Publicación PCT No. WO 01/26165, publicada el 12 de abril de 2001, y titulada "Oxide LayerMethod;" Publicación PCT No. WO 01/08233, publicada el 1 de febrero de 2001, y titulada "Enhanced High Temperature Coated Superconductors;" Publicación PCT No. WO 01/08231, publicada el 1 de febrero de 2001, y titulada "Methods of Making A Superconductor;" Publicación PCT No. WO 02/35615, publicada el April 20, 2002, y titulada "Precursor Solutions and Methods of Using Same;" Patente de los Estados Unidos No. 6,436,317, expedida el 20 de agosto de 2002, y titulada, "Oxide Bronze Compositions and Textured Articles Manufactured in Accordance Therewith;" Solicitud Provisional de Patente de los Estados Unidos No. 60/309,116, presentada el 31 de julio 2001, y titulada "Multi-Layer Superconductors and Methods of Making Same;" Patente de los Estados Unidos No. 6,797,313, expedida el 28 de septiembre de 2004, y titulada "Superconductor Methods and Reactor;" Solicitud Provisional de

40 Patente de los Estados Unidos No.60/166,297, presentada el 18 de noviembre de 1999, y titulada "Superconductor Articles and Compositions and Methods for Making Same;" y la patente de propiedad compartida de los Estados Unidos No. 6,974,501 , expedida el 13 de diciembre de 2005, y titulada "Superconductor Articles and Compositions and Methods for Making Same;" Publicación de Patente de los Estados Unidos No. 2005-0065035, publicada el 24 de marzo de 2005, y titulada "Superconductor Methods and Reactors;" Publicación de Patente de los Estados Unidos No. 2006-0040830, publicada el 23 de febrero de 2006, y titulada "Low AC Loss Filamentary Coated

45 Superconductors;" Solicitud de Patente de los Estados Unidos No. 10/955,801, presentada el 29 de septiembre 2004, titulada "Stacked Filamentary Superconductors;" Solicitud de Patente de los Estados Unidos (número aún no asignado), presentada el 21 de julio 2006, y titulada "Fabrication of Sealed High Temperature Superconductor Wires;" Solicitud Provisional de Patente de los Estados Unidos (número aún no asignado), presentada el 21 de julio 2006, y titulada "High Current, Compact Flexible Conductors Containing High Temperature Superconducting Tapes;"

50 Solicitud Provisional de Patente de los Estados Unidos (número aún no asignado), presentada el 21 de julio de 2006, y titulada "Low Resistance Splice for High Temperature Superconductor Wires;" y Solicitud Provisional de Patente de los Estados Unidos (número aún no asignado), presentada el 24 de julio 2006, y titulada "High Temperature Superconductors Having Planar Magnetic Flux Pinning Centers and Methods for Making the Same,"

55 55 Otras realizaciones están dentro de las siguientes reivindicaciones.

Reivindicaciones

1. Un cable (400) superconductor, que comprende:

- 5 al menos primera (440) y segunda (470) capas superconductoras dispuestas sobre uno o más sustratos (460) en relación de apilamiento,
- 10 comprendiendo la primera capa (440) superconductora un primer óxido superconductor a altas temperaturas seleccionado para proveer una primera relación predeterminada de corriente crítica en un campo magnético paralelo a la superficie de la capa superconductora con respecto a la corriente en un campo magnético perpendicular a la superficie de la capa superconductora ($I_c(H//ab)/I_c(H//c)$), y
- 15 comprendiendo la segunda capa (470) superconductora un segundo óxido superconductor a alta temperatura seleccionado para proveer una segunda relación predeterminada de corriente crítica en un campo magnético paralelo a la superficie de la capa superconductora con respecto a una corriente crítica en un campo magnético perpendicular a la superficie de la capa superconductora ($I_c(H//ab)/I_c(H//c)$),
- en donde la primera (440) y segunda (470) capas superconductoras dispuestas sobre el uno más sustratos en relación de apilamiento, y en combinación, proveen una corriente I_c crítica global predeterminada en una orientación de campo magnético seleccionada y la primera y segunda capas superconductoras están orientadas en el eje c y
- 20 la primera capa (440) superconductora es seleccionada para proveer una corriente crítica más alta en un campo magnético perpendicular a la superficie de la capa superconductora que la segunda capa (470) superconductora y la segunda capa (470) superconductora es seleccionada para proveer una corriente crítica más alta en un campo magnético paralelo a la superficie de la capa superconductora que la primera capa (440) superconductora.
- 25 2. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la primera relación predeterminada para ($I_c(H//ab)/I_c(H//c)$) es menor o igual a 2.6 en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o mayor.
- 30 3. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la primera relación predeterminada para ($I_c(H//ab)/I_c(H//c)$) es menor de 2.0 en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o mayor.
- 35 4. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la primera relación predeterminada para la ($I_c(H//ab)/I_c(H//c)$) es menor de 1.5 en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o mayor.
5. El cable (400) superconductor de la reivindicación 2, 3 o 4, en donde el campo magnético aplicado está en el rango aproximadamente 1 Tesla a aproximadamente 6 Tesla.
6. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde el cable superconductor comprende un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras, en donde la tierra rara comprende dos o más elementos de tierras raras.
- 40 7. El superconductor de la reivindicación 6, en donde el óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras comprende ytrio en exceso de la cantidad necesaria para un cobre alcalinotérreo de tierras raras estequiométrico.
8. El cable (400) superconductor de la reivindicación 6, en donde el elemento de tierras raras comprende uno o más de erbio y holmio.
- 45 9. El cable (400) superconductor de la reivindicación 8, en donde el uno o más de holmio y erbio están presente en una cantidad en el rango de 25% a 150% de la cantidad estequiométrica de óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras.
- 50 10. El cable (400) superconductor de la reivindicación 9, en donde el elemento de tierras raras comprende adicionalmente ytrio.
11. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde el cable superconductor comprende un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras y al menos una segunda fase de nanopartículas que comprende un compuesto que contiene un metal localizado dentro de un grano del superconductor de óxido.
- 55 12. El cable (400) superconductor de la reivindicación 11, en donde la nanopartícula de la segunda fase comprende uno o más de un elemento de tierras raras, un metal alcalinotérreo, y un metal de transición.
- 60 13. El cable (400) superconductor de la reivindicación 11, en donde la nanopartícula de segunda fase es seleccionada del grupo consistente de óxido de circonio, óxido de aluminio, $Y_2Cu_2O_5$, Y_2BaCuO_4 , óxido de magnesio, $BaZrO_3$, plata y CeO_2 .
- 65 14. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la segunda relación predeterminada para ($I_c(H//ab)/I_c(H//c)$) es mayor de 2.5 en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o mayor.

15. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la segunda relación predeterminada para $(I_c(H//ab)/I_c(H//c))$ es mayor de 3.5 en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o mayor.
- 5 16. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la segunda relación predeterminada para $(I_c(H//ab)/I_c(H//c))$ es mayor de 5.5 en un campo magnético aplicado de 1 Tesla o mayor.
- 10 17. El cable (400) superconductor de la reivindicación 14, 15, o 16 en donde el campo magnético aplicado está en el rango de aproximadamente 1 Tesla hasta aproximadamente 6 Tesla.
- 10 18. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde el cable superconductor comprende un óxido de cobre alcalinotérreo de tierras raras en donde la relación cobre alcalinotérreo es mayor de 1.5.
- 15 19. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde los espesores de la primera (440) y la segunda (470) capas superconductoras son diferentes.
- 20 20. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde el espesor de la primera (440) y segunda capas (470) superconductoras se selecciona para proveer una corriente crítica global predeterminada en una orientación de campo magnético seleccionada.
- 20 21. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la orientación de campo magnético seleccionada está entre 0° ($H//c$) y 90° ($H//ab$).
- 25 22. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la primera capa (440) superconductora está dispuesta sobre una superficie superior del sustrato (460), y la segunda capa (470) capa superconductora está dispuesta sobre una superficie inferior del sustrato (460).
- 30 23. El cable (400) superconductor de la reivindicación 22, en donde al menos una primera capa (750) amortiguadora está dispuesta entre la superficie superior del sustrato (760) y la primera capa (740) superconductora, y al menos una segunda capa (750') amortiguadora están dispuesto entre la superficie inferior del sustrato (760') y la segunda capa (740) superconductora.
- 35 24. El cable (400) superconductor de la reivindicación 1, en donde la segunda capa (470) superconductora se superpone a la primera capa (440) superconductora.
- 35 25. El cable (400) superconductor de la reivindicación 24, en donde una capa conductora está dispuesta entre la primera (440) y segunda (470) capas superconductoras.
- 40 26. El cable (400) superconductor de la reivindicación 25, en donde la capa conductora comprende cobre.
- 40 27. El cable (400) superconductor de la reivindicación 24, en donde una o más capas (750) amortiguadoras están dispuestas entre el sustrato (760) y la primera capa (740) superconductora.
- 45 28. El cable superconductor de la reivindicación 1, en donde el cable comprende adicionalmente:
- 45 un primer elemento recubierto que comprende:
- 50 un primer sustrato;
- 50 al menos una primera capa amortiguadora dispuesta sobre el primer sustrato;
- 50 soportando la primera capa superconductora;
- 50 y
- 50 una primera capa metálica protectora predisposta sobre la primera capa superconductora;
- 55 y
- 55 un segundo elemento recubierto que comprende:
- 55 un segundo sustrato;
- 55 al menos una segunda capa amortiguadora dispuesta sobre el segundo sustrato
- 55 y
- 55 soportando la segunda capa superconductora;
- 55 y
- 55 una segunda capa protectora metálica dispuesta sobre la segunda capa superconductora.
- 60 29. El cable superconductor de la reivindicación 28, que comprende adicionalmente:

una capa aglomerante intercalada dispuesta entre el primero y segundo elementos recubiertos de tal manera que el primero y segundo elementos recubiertos están unidos al primero y segundo sustratos.

30. El cable superconductor de la reivindicación 29, que comprende adicionalmente:

5

una capa de unión de aglomeración intercalada dispuesta entre el primero y segundo elemento recubiertos de tal manera que el primero y segundo elementos recubiertos están unidos a la primera y segunda capas protectoras.

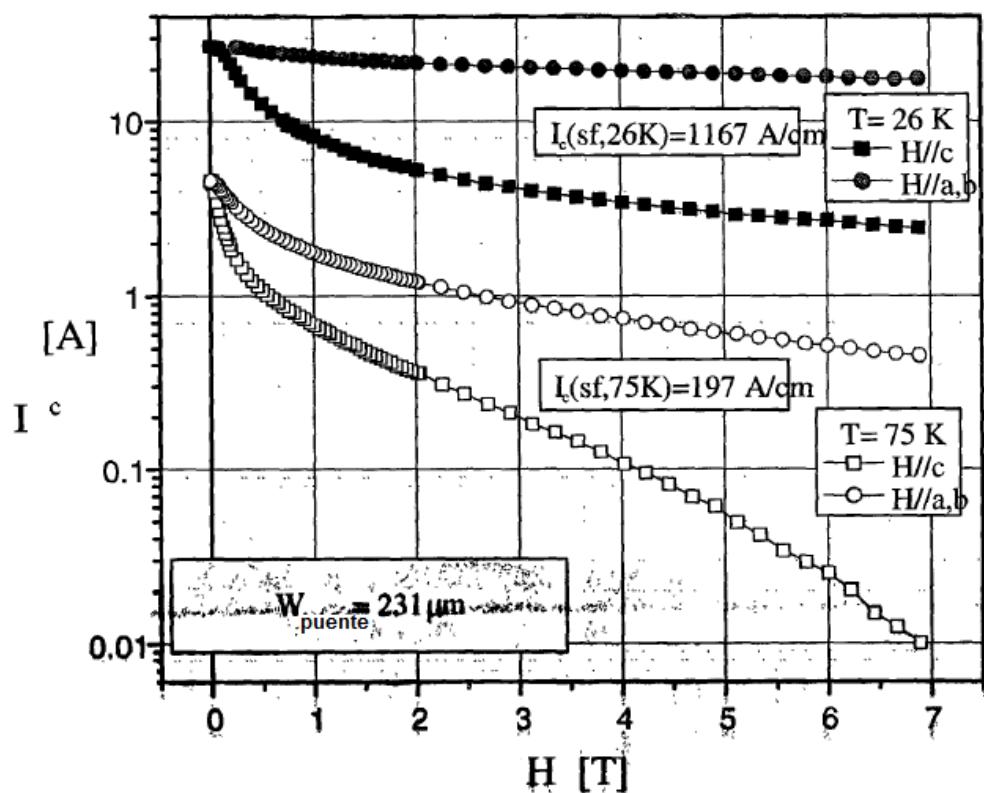


Figura 1

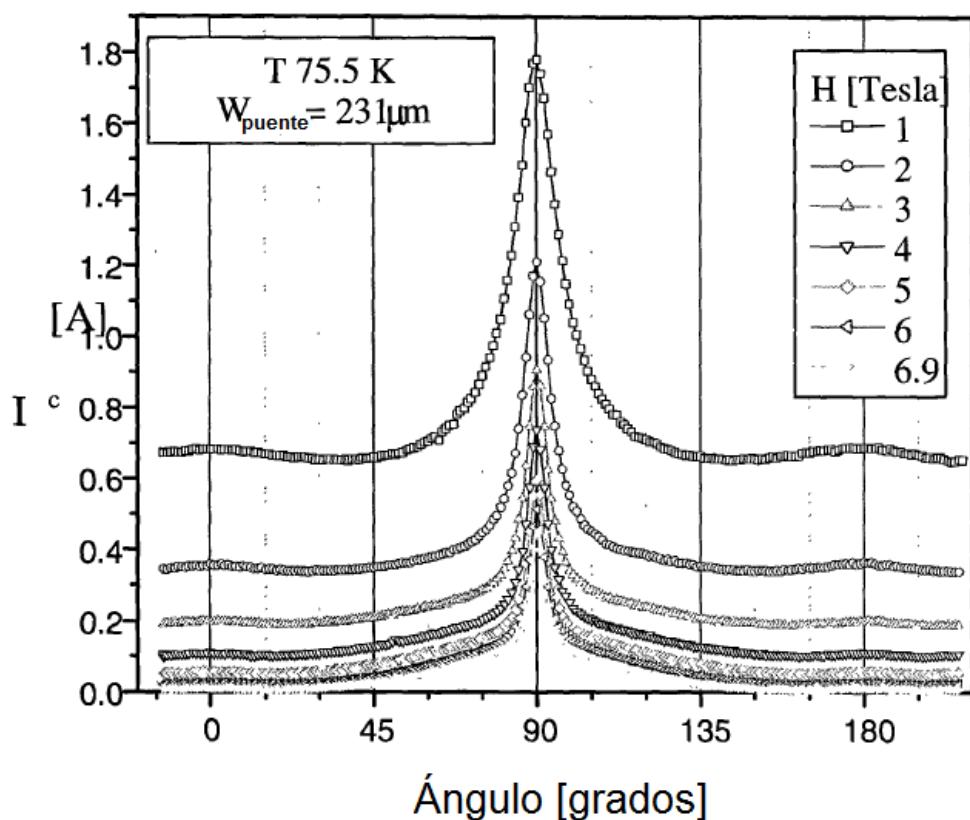


Figura 2

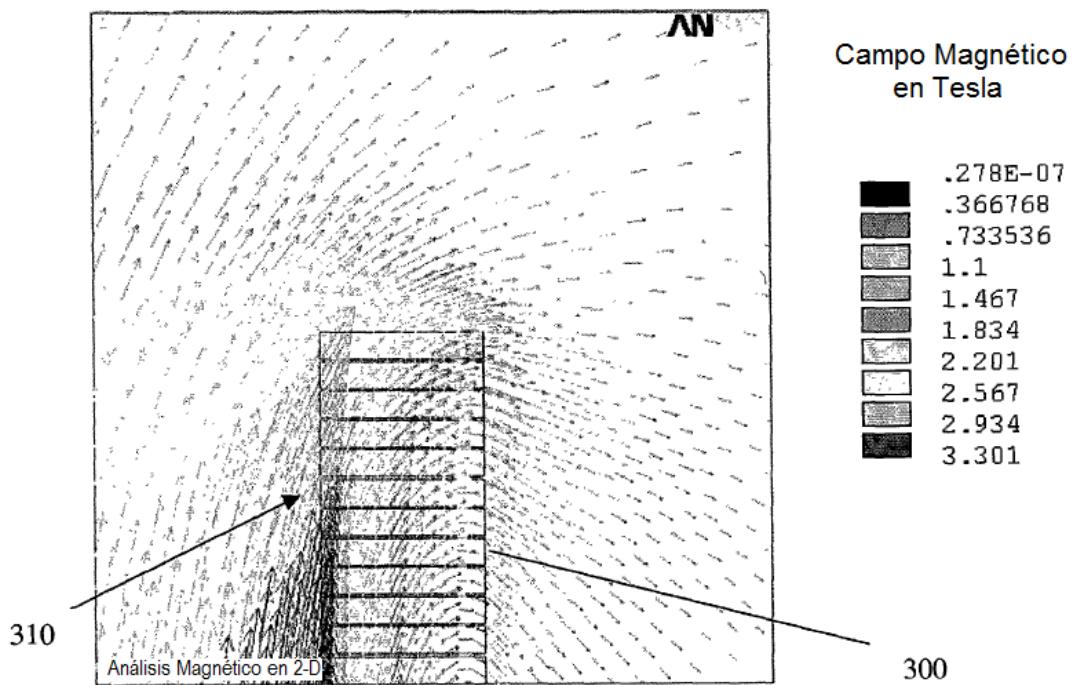


Figura 3

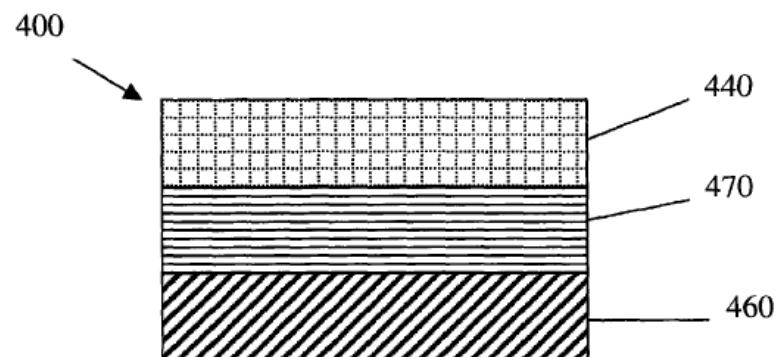


Figura 4A

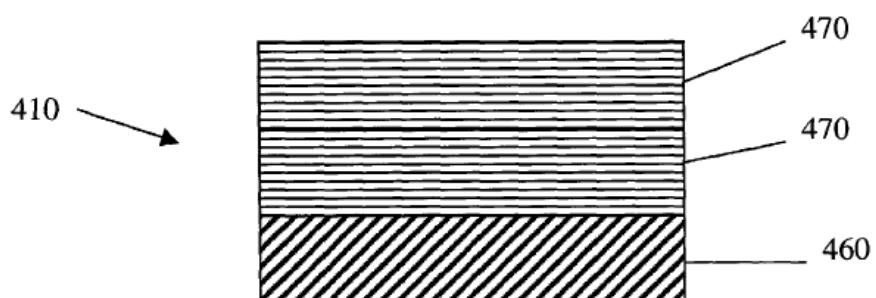


Figura 4B

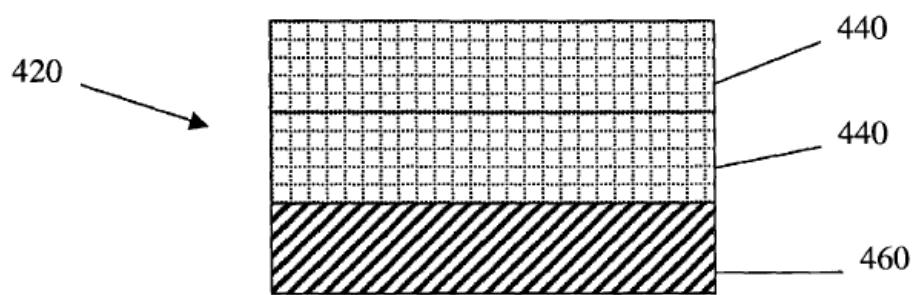


Figura 4C

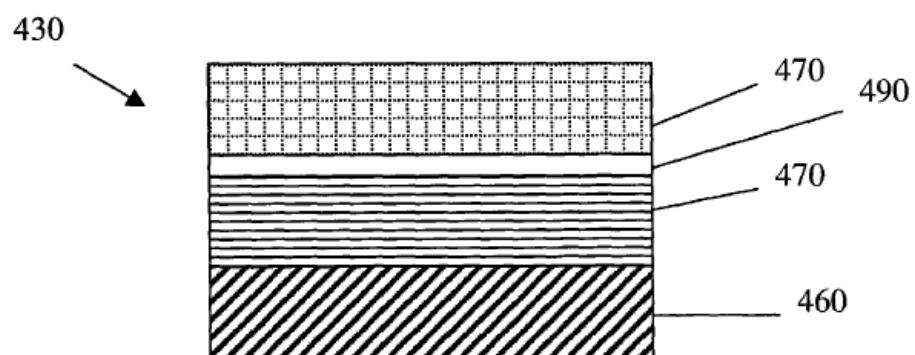


Figura 4D

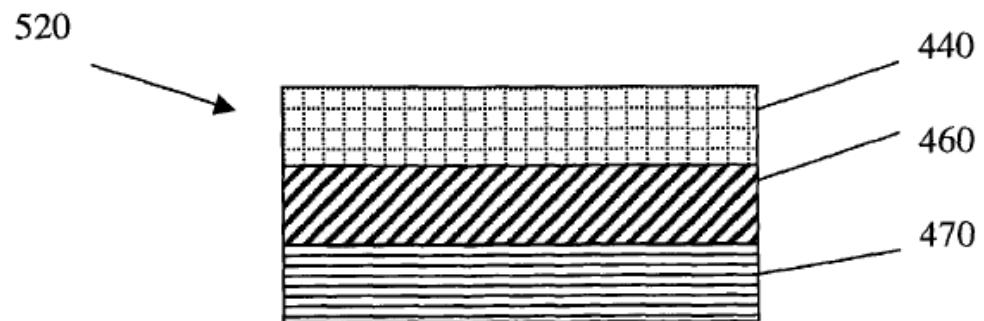


Figura 5A

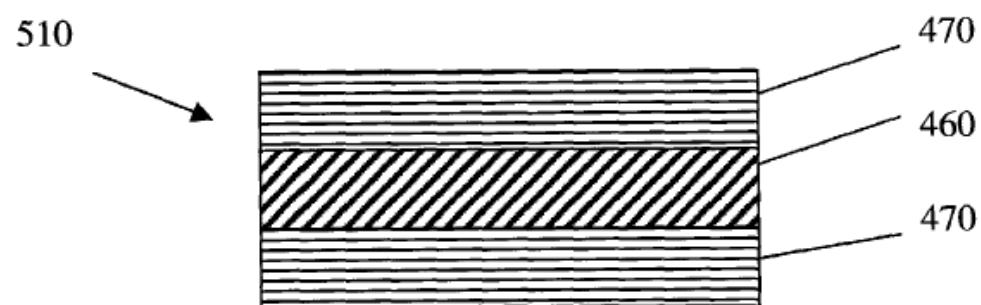


Figura 5B

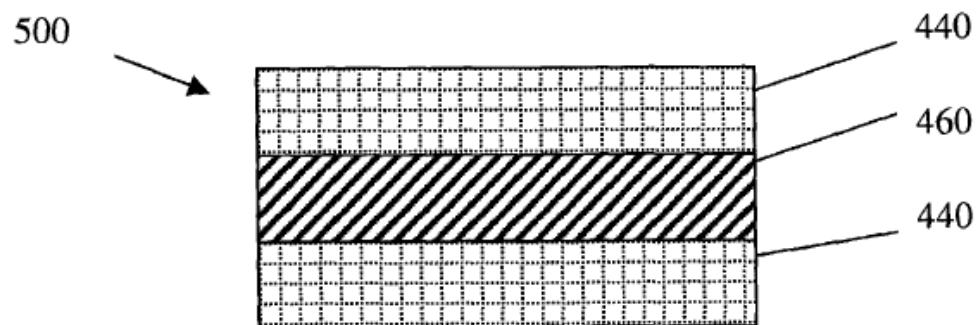


Figura 5C

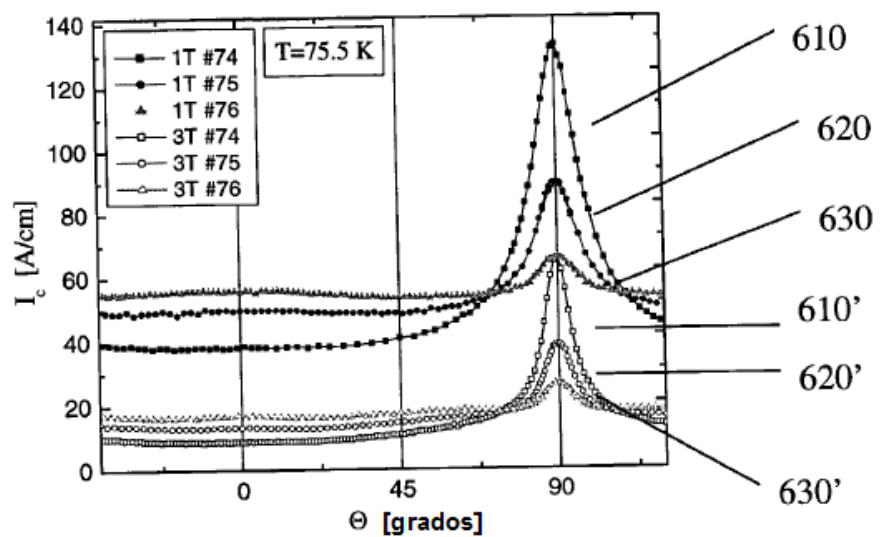


Figura 6

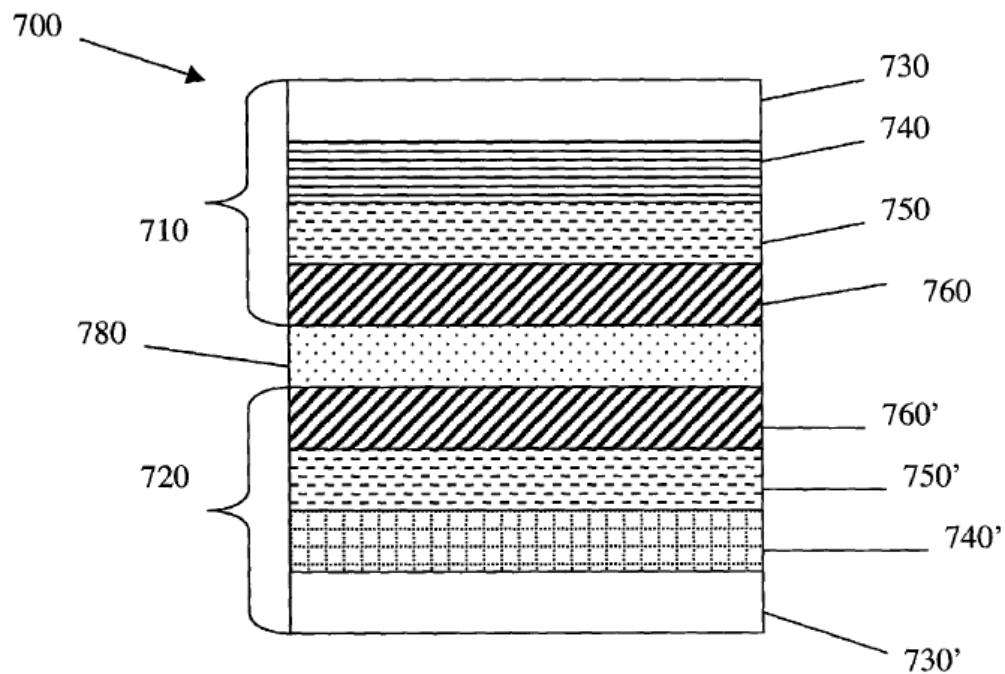


Figura 7

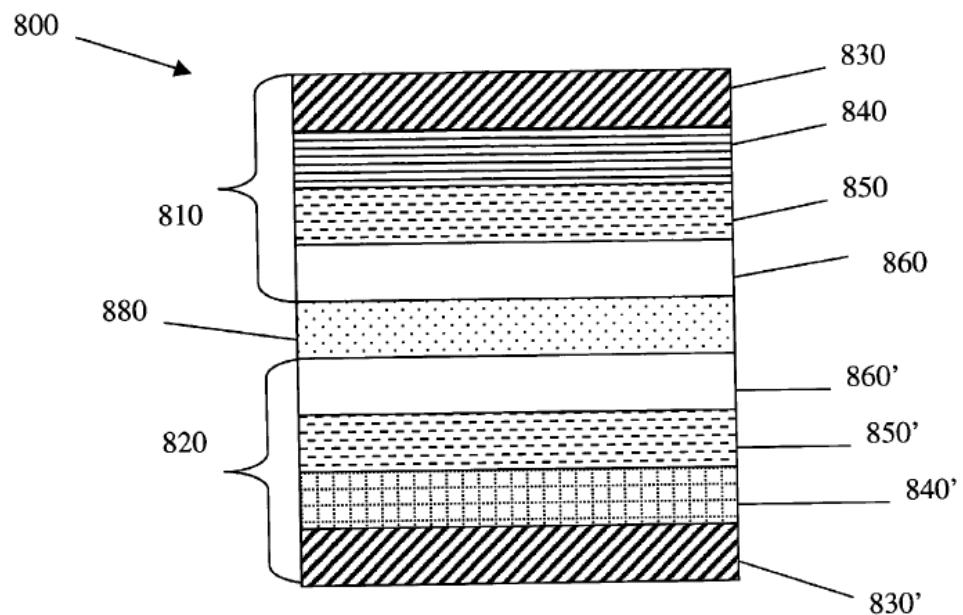


Figura 8

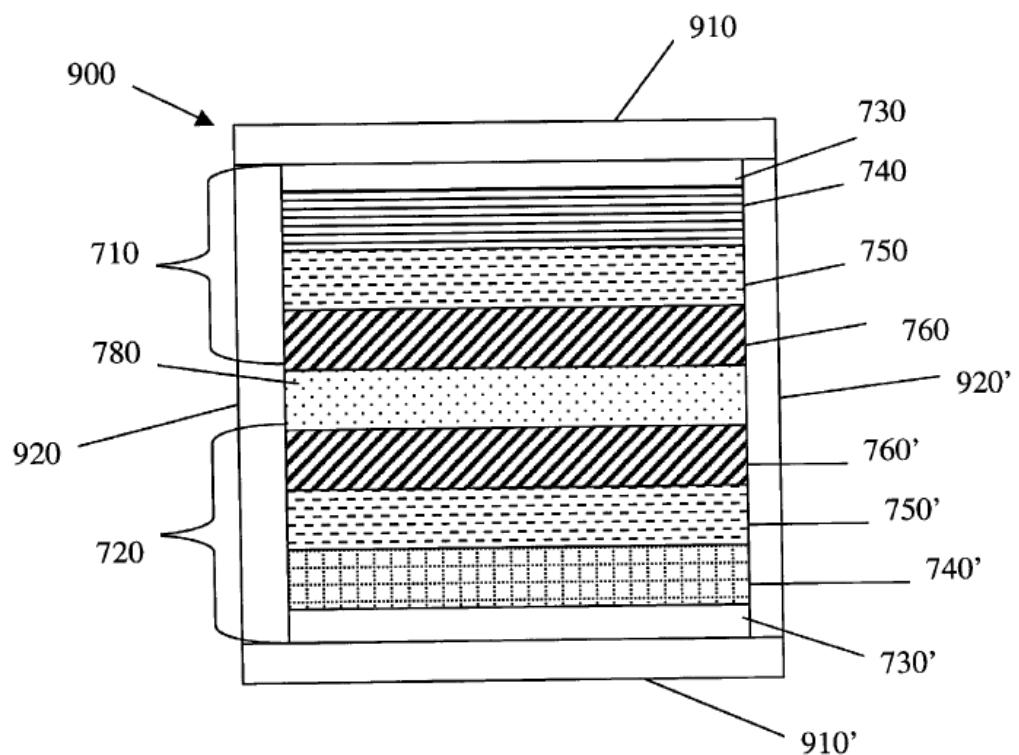


Figura 9

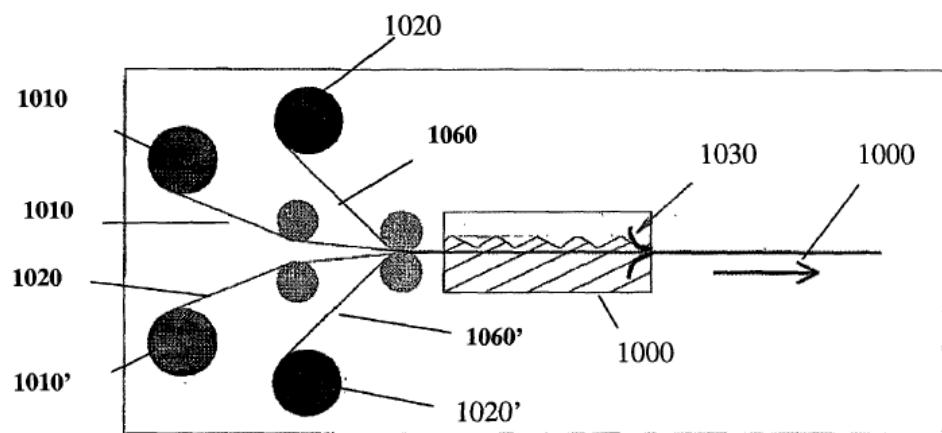
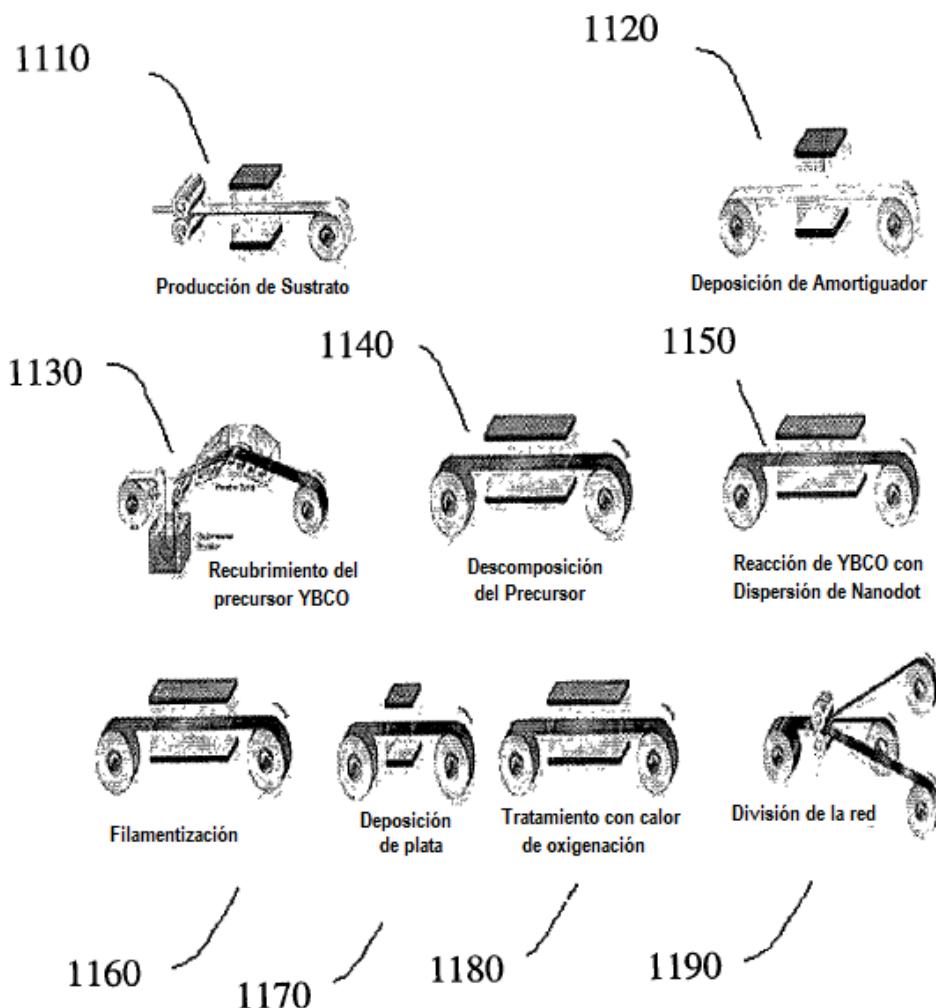


Figura 10

Figura 11



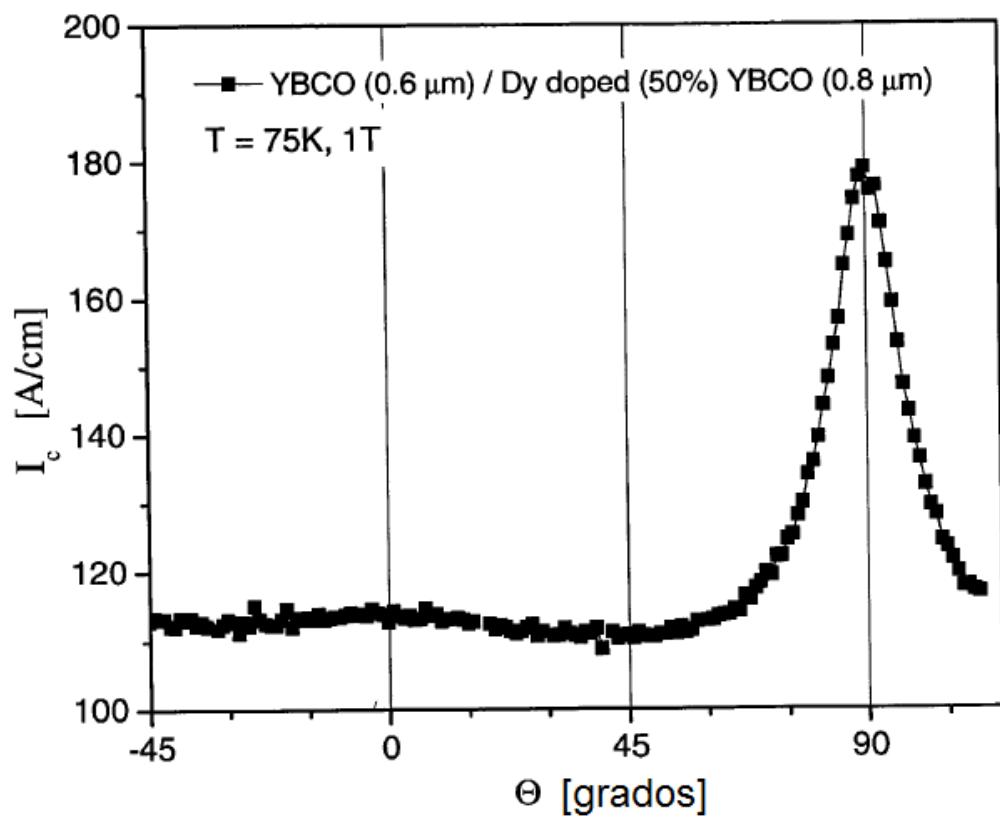


Figura 12