



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 281 009**

51 Int. Cl.:  
**H01L 39/14** (2006.01)  
**H01L 39/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04769346 .0**  
86 Fecha de presentación : **10.09.2004**  
87 Número de publicación de la solicitud: **1668712**  
87 Fecha de publicación de la solicitud: **14.06.2006**

54 Título: **Banda superconductora de material compuesto y el correspondiente método de fabricación.**

30 Prioridad: **11.09.2003 IT TO03A0692**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**16.09.2007**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**16.09.2007**

73 Titular/es: **EDISON S.p.A.**  
**Foro Buonaparte 31**  
**20120 Milano, IT**

72 Inventor/es: **Baldini, Alberto;**  
**Sbrana, Armando;**  
**Serracane, Claudio y**  
**Zannella, Sergio**

74 Agente: **Pons Ariño, Ángel**

ES 2 281 009 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

Banda superconductora de material compuesto y el correspondiente método de fabricación.

### Campo técnico

La presente invención se refiere a una banda superconductora de material compuesto y a un método para la fabricación de la misma.

### Antecedentes de la técnica

Las bandas superconductoras de material compuesto (también llamadas "conductores recubiertos") tienen considerable interés industrial. En general, las bandas superconductoras de material compuesto están formadas por un sustrato metálico flexible, una o más capas intermedias de barrera o tampón y una capa hecha de material superconductor, por ejemplo RE-Ba<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> (REBCO) ó YB<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-d</sub> (YBCO).

Las bandas superconductoras de material compuesto actualmente disponibles, sin embargo no son plenamente satisfactorias en cuanto a estabilización eléctrica y térmica, y además presentan una disipación de energía relativamente alta en presencia de campos eléctricos y/o magnéticos que varíen a lo largo del tiempo. Estos inconvenientes son especialmente importantes para aplicaciones en el sector de la energía.

El documento DE 40 04 908 A1 muestra una banda superconductora de material compuesto en el que unas tiras de capa YBCO formadas sobre un sustrato metálico están empotradas en y recubiertas por un revestimiento metálico, tal como plata.

El artículo "La importancia de la resistencia de la barrera interfilamental en un conductor recubierto de YBCO para reducir al mínimo las pérdidas en corriente alterna", de C.E. Oberly *et al.*, International Cryogenics Materials Conference, Actas de la Conferencia AIP n° 614B, 2002, págs. 621-630 (XP2311092) describe una banda superconductora de conductor recubierto de YBCO de material compuesto multifilamental similar, con un material resistivo tal como plata o un dieléctrico, que rellena las ranuras interfilamentales.

### Descripción de la invención

Una de las finalidades de la presente invención es, por consiguiente, proporcionar una banda superconductora de material compuesto y el correspondiente método de fabricación que permita salvar los inconvenientes del arte conocido al que se hace referencia arriba.

Un objetivo particular de la invención es el de proporcionar una banda superconductora de material compuesto que tenga buenas características de estabilización eléctrica y térmica y una reducida disipación de energía en presencia de campos eléctricos y/o magnéticos que varíen a lo largo del tiempo.

Otro de los objetivos de la invención es el de proporcionar un método para obtener dicha banda superconductora de material compuesto de una forma relativamente sencilla, rápida y económicamente ventajosa.

De acuerdo con dichos objetivos, la presente invención se refiere a una banda superconductora de material compuesto y a un método de fabricación de la misma, tal como se define en las reivindicaciones 1 y 12 anexas, respectivamente.

De acuerdo con la invención, se proporciona por lo tanto una banda superconductora de material compuesto en la cual la capa de material superconductor

está dividida en delgados filamentos superconductores, separados entre sí. El hecho de dividir el material superconductor en filamentos delgados permite no sólo la estabilización eléctrica y térmica sino también reducir de disipación de energía en presencia de campos eléctricos y/o magnéticos que varíen a lo largo del tiempo.

La cinta de material compuesto superconductor con una estructura multifilamental conforme a la invención es por lo tanto adecuada para una aplicación especialmente ventajosa en el sector de la energía.

### Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la presente invención surgirán claramente de la descripción de los siguientes ejemplos de realización, no limitadores, con referencia a las figuras de los dibujos anexas, en los cuales:

- la Figura 1 es una ilustración esquemática de un paso del método de fabricación de una banda superconductora de material compuesto según la invención;

- las Figuras 2 y 3 son vistas esquemáticas en sección transversal de una banda superconductora de material compuesto en dos pasos consecutivos del método de fabricación según la invención; y

- la Figura 4 ilustra una realización preferida de la banda superconductora de material compuesto, hecha según la invención.

### Mejor modo para realizar la invención

En la Figura 1, está designada por la referencia 1 una banda superconductora de material compuesto, que comprende un sustrato 2, en particular un sustrato metálico flexible en forma de cinta (por ejemplo, una aleación de Ni, Cu, etc.) sobre una superficie 3, sobre la que está depositada por lo menos una capa tampón intermedia 4, hecha por ejemplo, de un óxido metálico, y una capa 5 de un material superconductor, por ejemplo REBCO o YBCO.

El sustrato 2 está dotado de la capa tampón 4 y de la capa 5 mediante técnicas de deposición conocidas.

El método según la invención contempla la formación en la capa 5 de una multitud de filamentos superconductores 11, sustancialmente paralelos entre sí y a un eje longitudinal A de la banda, y lateralmente distanciados entre sí.

En particular, los filamentos 11 están formados en una fase de grabado, ilustrada esquemáticamente en la Figura 1. La banda 1 se alimenta de forma continua en un sentido de avance D paralelo al eje A, a un aparato de micrograbado 12, por ejemplo un aparato de grabado láser, situado encima de una cara 13 de la banda 1, definida por una superficie exterior de la capa 5. El aparato 12 excava una multitud de ranuras 14 a través de la capa 5, a través de todo el grueso de la capa 5 con el fin de delimitar así los filamentos 11. Cada filamento 11 tiene una pareja de paredes laterales 15.

Las gargantas 14 pueden ser continuas, es decir pueden extenderse sustancialmente a lo largo de toda la longitud de la banda 1, o por otra parte pueden estar constituidas por unos tramos discontinuos 16, de tal manera que cada ranura 14 queda interrumpida por una serie de puentes transversales 17 de material superconductor (de los cuales solamente está representado uno de ellos en la Figura 1 por razones de simplicidad), destinados a la conexión de filamentos adyacentes 11. La presencia de los puentes 17 tiene efectos positivos en cuestión de estabilización eléctri-

ca y reduce las fugas debidas al acoplamiento de los filamentos 11.

En cualquier caso, y tal como está ilustrado con detalle en la Figura 2, la banda 11 se graba hasta alcanzar el sustrato 2, y por lo tanto hasta dejar al descubierto la superficie 3. Las ranuras 14 están formadas a través de la capa 5 y de la capa tampón 4 y posiblemente penetren ligeramente en el sustrato 2, debajo de la superficie 3.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 1, el aparato 12 comprende una fuente láser 20 que trabaja la gama visible y/o en la ultravioleta, y un sistema óptico 21 que intercepta el haz 23 emitido por la fuente 20 y lo divide, por ejemplo mediante placas 22 debidamente orientadas, formando una multitud de haces paralelos 24, sustancialmente ortogonales a la cara 13, cada uno de los cuales graba una ranura 14, arrancando el material con el cual interactúa.

El diámetro, la potencia, la duración y la longitud de onda de los haces 23, 24 se eligen de tal manera que se obtengan ranuras 14 con las dimensiones requeridas. Por ejemplo las ranuras tienen una anchura de aproximadamente 10-50  $\mu\text{m}$  y una profundidad de 0,1 - 3  $\mu\text{m}$  (y en cualquier caso, una profundidad tal que deje al descubierto el sustrato 2).

Si se contempla la existencia de los puentes 17, éstos se obtienen convenientemente interrumpiendo el grabado de las ranuras a intervalos predeterminados durante el avance de la banda 1.

Se da por supuesto que las ranuras 14 se pueden grabar con técnicas distintas al grabado láser, utilizando equipos de micromecanizado de cualquier tipo conocido.

El método según la invención comprende también una fase de aplicar sobre las paredes laterales 14 de los filamentos 11 unas barreras resistivas 25.

En el caso presente, las barreras resistivas 25 están definidas por las respectivas partes 26 de pequeño espesor de las paredes laterales 15. Las partes 26 se extienden a lo largo de los filamentos 11 y dentro de cada filamento 11. En cada parte 26, el material superconductor tiene una estructura modificada con respecto al cuerpo de la capa 5 (es decir, de los filamentos 11), y por lo tanto define una barrera resistiva 25.

En este caso, las barreras resistivas 25 se obtienen convenientemente durante la fase de grabado, modificando para ello la estructura del material superconductor de las paredes laterales 15. En general, las características del haz 23 y los parámetros del proceso de la fase de grabado se eligen de tal manera que evitan cualquier calentamiento excesivo de la zona que rodea las ranuras producidas por los haces 24, con el fin de evitar la excesiva degradación de los materiales

de la capa 5, de la capa tampón 4 y del sustrato 2. Sin embargo, una limitada degradación térmica de dichos materiales, y específicamente del material superconductor en las inmediaciones rigurosas de las paredes laterales y en una zona limitada a las partes 26 trae consigo la deseada formación de las barreras resistivas 25.

Gracias a la presencia de las barreras resistivas 25, los filamentos 11 quedan desacoplados electromagnéticamente entre sí.

De acuerdo con una de las realizaciones de la invención, ilustrada esquemáticamente en la Figura 3, el método según la invención comprende entonces un paso de recubrimiento en el que los filamentos 11 se empotran en un material de recubrimiento, en particular en un material metálico que es altamente conductor, tanto desde el punto de vista eléctrico como desde el punto de vista térmico (por ejemplo Cu, Ag, Au, etc.), que forma una capa 30 de un espesor de unas pocas micras sobre la banda 1.

Durante el paso de recubrimiento, el material de recubrimiento se introduce en las ranuras 14 y rellena completamente las ranuras 14, y además queda depositado sobre la cara 13 para recubrir los filamentos 11.

Cada filamento individual 11 queda por lo tanto empotrado en una matriz metálica 31, estando cada filamento 11 rodeado por tres caras por el material de recubrimiento, que a su vez está en contacto directo con el sustrato metálico subyacente 2.

De esta manera se obtiene una estructura altamente estabilizada.

Una realización preferida, ilustrada esquemáticamente en la Figura 4, contempla que la banda 11, ya dotada de las ranuras 14 que delimitan los filamentos 11 y con el recubrimiento 30 (representado por una línea de trazos en la Figura 4), se lleva a una fase de enrollado en la que la banda 1 se enrolla sobre sí misma alrededor del eje A en dirección transversal, de manera que forme un hilo superconductor 33 con una estructura multifilamental, en la que los filamentos 11 están sustancialmente paralelos entre sí y al eje A.

Alternativamente se considera una fase de torsionado de la banda 1 sobre sí misma a lo largo del eje A con el fin de formar un hilo 33 semejante a un torzal, en el que los filamentos 11 están sustancialmente enrollados en espiral los unos respecto a los otros.

Preferentemente, la banda 1 se enrolla primeramente sobre sí misma alrededor del eje A para formar un hilo 33 con filamentos paralelos 11, y a continuación se torsiona el hilo 33 sobre sí mismo para formar un torzal a lo largo del eje A. De este modo se consigue un efecto ventajoso de reducción de las fugas.

## REIVINDICACIONES

1. Una banda superconductor de material compuesto (1) superconductor comprendiendo un sustrato (2) y una capa (5) hecha de material superconductor, comprendiendo dicha capa de material superconductor (5) una multitud de filamentos superconductores 11, que son sustancialmente paralelos entre sí y paralelos a un eje longitudinal (A) de la banda, y que están separados entre sí, estando la banda **caracterizada** porque comprende un recubrimiento (30) hecho de un material de recubrimiento conductor, estando los filamentos (11) empotrados en el recubrimiento (30), y porque cada filamento (11) está limitado por una pareja de paredes laterales (15) dotadas de barreras resistivas (25).

2. La banda según la reivindicación 1, **caracterizada** porque las barreras resistivas (25) están definidas por respectivas partes (26) de las paredes laterales (15) en las que el material superconductor tiene la estructura modificada con respecto al cuerpo de la capa de material superconductor (5).

3. La banda según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizada** porque los filamentos (11) están separados entre sí por ranuras (14), formadas a través de dicha capa de material superconductor (5) atravesando el espesor total de dicha capa de material superconductor (5).

4. La banda según la reivindicación 3, **caracterizada** porque las ranuras (14) están interrumpidas por unos puentes transversales (17) para establecer la conexión entre filamentos adyacentes (11).

5. La banda según la reivindicación 3 ó 4, **caracterizada** porque las ranuras (14) se extienden en profundidad hasta el sustrato (2).

6. La banda según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizada** porque comprende por lo menos una capa tampón (4) interpuesta entre el sustrato (2) y la capa de material superconductor (5), extendiéndose las ranuras (14) a través de la capa de material superconductor (5) y a través de la capa tampón (4) hasta el sustrato (2).

7. La banda según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el material de recubrimiento es un material metálico.

8. La banda según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque el recubrimiento (30) rellena las ranuras (14) y recubre los filamentos (11).

9. La banda según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque está enrollada sobre sí misma alrededor de dicho eje (A) para formar un hilo (33) en el que dichos filamentos (11) quedan sustancialmente paralelos a dicho eje (A).

10. La banda según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque está torsionada sobre sí misma a lo largo de dicho eje (A) para formar un hilo a modo de torzal (33), en el cual los filamentos (11) quedan enrollados sustancialmente en espiral los unos respecto a los otros.

11. La banda según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** porque los filamentos (11) están conectados entre sí mediante puentes transversales (17) de material superconductor.

12. Un método de fabricación de una banda superconductor de material compuesto, comprendiendo un paso de proporcionar una banda superconduc-

tora de material compuesto (1) con una capa de material superconductor (5) posicionado sobre un sustrato (2), y un paso de formación de una multitud de filamentos superconductores (11) en la capa de material superconductor (5), delimitados por respectivas parejas de paredes laterales (15), siendo los filamentos (15) sustancialmente paralelos entre sí y paralelos a un eje longitudinal (A) de la banda, y estando separados unos de otros, estando el método **caracterizado** porque comprende además un paso de dotar a las paredes laterales (15) de los filamentos (11) de unas barreras resistivas (25), y una fase de recubrimiento en la que los filamentos (11) quedan empotrados en un material de recubrimiento conductor que forma un recubrimiento (30) de la banda (1).

13. El método según la reivindicación 12, **caracterizado** porque comprende un paso de grabado en el que se excavan multitud de ranuras (14) a través de la capa de material superconductor (5), a través de todo el espesor de dicha capa de material superconductor (5), con el fin de delimitar los filamentos (11); estando formadas dichas barreras resistivas (25) durante dicho paso de grabado, al modificar la estructura del material superconductor de dichas paredes laterales (15).

14. El método según la reivindicación 13, **caracterizado** porque durante el paso de grabado, las ranuras (14) se excavan en tramos discontinuos, de tal manera que cada ranura (14) queda interrumpida por unos puentes transversales (17) que conectan entre sí filamentos adyacentes.

15. El método según la reivindicación 13 ó 14, **caracterizado** porque durante el paso de grabado, la banda (1) se excava hasta el sustrato (2).

16. El método según cualquiera de las reivindicaciones 13 a 15, **caracterizado** porque la banda (1) comprende por lo menos una capa tampón (4) situada entre el sustrato (2) y la capa de material superconductor (5), efectuándose el paso de grabado a través de la capa de material superconductor (5) y a través de la capa tampón (4) hasta el sustrato (2).

17. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 16, **caracterizado** porque el material de recubrimiento es un material metálico.

18. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17, **caracterizado** porque durante dicho paso de recubrimiento el material de recubrimiento rellena dichas ranuras (14) y recubre dichos filamentos (11).

19. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 18, **caracterizado** porque comprende un paso de enrollar la banda (1) sobre sí misma alrededor de dicho eje (A) para formar un hilo (33) en el cual los filamentos (11) son sustancialmente paralelos a dicho eje (A).

20. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 19, **caracterizado** porque comprende un paso de torsionar la banda (1) sobre sí misma a lo largo de dicho eje (A) para formar un hilo a modo de torzal (33) en el cual dichos filamentos (11) están sustancialmente arrollados en espiral los unos respecto a los otros.

21. El método según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 20, **caracterizado** porque comprende un paso de conectar los filamentos (11) entre sí mediante puentes transversales (17) hechos de material superconductor.

