

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 426 763**

51 Int. Cl.:

**H01L 39/24** (2006.01)

**B21C 37/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.12.2008** **E 08172701 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2013** **EP 2202814**

54 Título: **Un conjunto metálico que constituye un precursor para un superconductor y un procedimiento adecuado para la producción de un superconductor**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.10.2013**

73 Titular/es:

**LUVATA ESPOO OY (100.0%)**  
**P.O. BOX 78**  
**02101 ESPOO, FI**

72 Inventor/es:

**SOMERKOSKI, JUKKA**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 426 763 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**

Un conjunto metálico que constituye un precursor para un superconductor y un procedimiento adecuado para la producción de un superconductor

**Campo de la invención**

- 5 La presente invención se refiere a un conjunto metálico que constituye un precursor para un superconductor, conjunto metálico que comprende al menos un elemento conductor y elementos dopantes para dopar el elemento conductor. El procedimiento se refiere también a un superconductor y a un procedimiento para producir un superconductor.

**Técnica anterior**

- 10 Los superconductores de baja temperatura, que funcionan típicamente a 4,2 K, se usan para producir campos magnéticos elevados en diversas aplicaciones magnéticas tales como en aparatos de MRI y NMR, aceleradores de partículas, etc. Un ejemplo de superconductores de baja temperatura comprende Niobio aleado con Titanio. Otro tipo preferido comprende  $Nb_3Sn$ , posiblemente adicionalmente aleado con pequeñas cantidades de Ta o Ti. Normalmente, un superconductor se forma a partir de una pluralidad de filamentos, con un diámetro en el intervalo  
15 de hasta diez micrómetros, que se embeben en un metal tal como cobre. El metal circundante estabiliza los filamentos superconductores mecánica y eléctricamente.

- Un problema con el  $Nb_3Sn$ , como material superconductor, por ejemplo, es que la aleación es muy quebradiza, haciendo difícil dar al material el tamaño de filamentos requerido. Análogamente, la introducción de bajas cantidades de los elementos de aleación Ti o Ta en la aleación de Nb, también dificulta el trabajado de la aleación de Nb de manera que los filamentos son difíciles de formar. Cuando se fabrican superconductores de  $Nb_3Sn$  por lo tanto hay que formar primero un conjunto metálico con la dimensión y forma deseadas, tal como un hilo con filamentos embebidos, y después se introduce el Sn u otros elementos de aleación en los filamentos de Nb mediante recocido por difusión. La forma del superconductor debe ajustarse antes del recocido por difusión, después del cual la forma ya no puede cambiarse debido a su fragilidad.

- 25 Un procedimiento para producir un superconductor de  $Nb_3Sn$  comprende insertar una barra de NbTi dentro de una barra de Nb puro dispuesta dentro de una matriz metalizada de CuSn. Tanto Nb con NbTi son materiales blandos y pueden mecanizarse sin dificultades. El conjunto se extruye, se le da la forma final deseada y finalmente se calienta, de manera que el Sn y el Ti se difunden en los filamentos de Nb para formar el material superconductor, es decir,  $Nb_3Sn$  aleado con titanio. Un inconveniente con este procedimiento es que es caro y lleva tiempo disponer las barras de NbTi dentro de las barras de Nb.

- En el documento de patente WO 200508170 las barras de Nb y NbTi son estirados y conformadas en barras hexagonales del mismo tamaño. Las barras de Nb y Ti se sitúan dentro de una matriz de cobre y las barras de NbTi se separan uniformemente en la matriz. Debido a su forma hexagonal las barras de Nb y NbTi pueden empaquetarse cerca unas de otras. El número de barras de Nb supera de lejos el número de barras de NbTi, puesto que el contenido deseado de Ti en el material superconductor final es bajo. La matriz de cobre después se estira y se forma en una barra hexagonal y varias de estas barras hexagonales se apilan dentro de un cilindro de cobre alrededor de un núcleo de Sn. El cilindro de cobre se estira hasta conseguir un producto final con forma de hilo y después se trata por difusión para permitir que el Ti y Sn difundan a las barras de Nb.

- 40 Un problema con esta solución es que, incluso aunque las barras de NbTi estén dispuestas uniformemente dentro de la matriz metálica, de manera que el titanio se disperse uniformemente por todo el hilo, una pequeña variación del contenido de Ti surge, de manera que el superconductor de niobio-estaño resulta aleado con diferentes cantidades de titanio en diferentes localizaciones. Puesto que la sensibilidad del superconductor a las variaciones en el contenido de Ti es grande, esto conduce a variaciones en la calidad de los diferentes filamentos superconductores dentro del hilo, y disminuye el rendimiento para el superconductor.

- 45 El documento JP2008/166173A, figura 2 y figura 7, desvela un procedimiento y un precursor de hilo superconductor para producir un superconductor de  $Nb_3Sn$  dopado con Ti.

El documento JP 62211359A desvela un conjunto metálico para producir un superconductor de  $Nb_3Sn$  dopado con uno o más elementos de Ti, Ta, In, Hf, Al y Zr.

**Sumario de la invención**

- 50 El objeto de la presente invención es facilitar la producción de un superconductor de alta calidad.

De acuerdo con un primer aspecto de la invención este objeto se consigue con el conjunto metálico de acuerdo con la reivindicación 1. De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, este objeto se consigue con un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5.

Permitiendo que un conjunto metálico que comprenda al menos dos elementos dopantes dispuestos fuera de cada

- 5 elemento conductor (al que más adelante se dará forma de filamento), la sustancia dopante contenida en el elemento dopante se dispersará de forma más homogénea por todo el superconductor después del tratamiento térmico de difusión, lo que mejora en gran medida la calidad del superconductor. La alta calidad significa que una mayor corriente crítica puede fluir a través del superconductor creando un mayor campo magnético, o como alternativa el imán puede conformarse en una forma más compacta. Puesto que los elementos dopantes están dispuestos fuera de los elementos conductores el montaje de los elementos es rápido y preciso, lo que mejora en gran medida la velocidad de producción para producir el superconductor. La nueva forma de disposición del metal implica también una reducción de los costes de producción.
- 10 El conjunto metálico comprende un conjunto de elementos o elementos metálicos para formar un precursor para un superconductor.
- 15 Un verdadero superconductor puede formarse entonces a partir del conjunto metálico recocido por difusión mediante tratamiento térmico. Preferentemente el conjunto metálico comprende una lata de cobre en forma de cilindro de cobre hueco, en la que los elementos están dispuestos dentro de la lata de cobre. El conjunto puede comprender también una matriz metálica en la que están dispuestas las barras.
- 20 Un elemento conductor es un elemento destinado a formar un cuerpo superconductor, preferentemente un filamento, en el superconductor acabado. No es necesario que el elemento conductor constituya un superconductor antes de la finalización del superconductor. El elemento dopante comprende la aleación  $\alpha$  NbTi destinada a dopar o alear el elemento conductor. El elemento dopante comprende también otras sustancias, tales como las mismas sustancias que el elemento conductor o las del elemento que lo rodea. La sustancia dopante puede migrar al elemento conductor por difusión durante un tratamiento térmico.
- 25 Un filamento superconductor es un filamento que tiene una resistencia eléctrica prácticamente cero a bajas temperaturas. Típicamente en la técnica de los superconductores de baja temperatura las temperaturas de funcionamiento están cercanas a los 4 K, siendo el punto de ebullición del helio  $1,013 \cdot 10^5$  Pa (1 atmósfera). El diámetro de los filamentos puede estar entre unos pocos micrómetros y varios milímetros o superiores. Preferentemente, el espesor del filamento es menor de diez micrómetros, puesto que un filamento más fino facilita que la reacción se complete en menos tiempo durante el tratamiento térmico. Los filamentos finos poseen también mejores características CA.
- 30 De acuerdo con una realización, al menos dos elementos dopantes están situados cerca de cada elemento conductor al menos para la mayoría de elementos conductores. Por tanto, los elementos dopantes están cerca de los elementos conductores de manera que la distancia de difusión para la sustancia dopante es corta. Adicionalmente, la cantidad de sustancia dopante que dopa cada elemento conductor puede controlarse con mayor precisión. Preferentemente al menos tres y más preferentemente al menos cuatro elementos dopantes están situados cerca de cada elemento conductor. Por tanto cada elemento conductor recibirá la sustancia dopante de varios elementos dopantes, lo que conduce a un dopado más uniforme y disminuye el riesgo de fallo.
- 35 De acuerdo con una realización, para al menos una mayoría de los elementos conductores, al menos dos elementos dopantes están situados a una distancia de cada elemento conductor, que es menor o igual al diámetro del elemento conductor. Preferentemente, para al menos una mayoría de elementos conductores, al menos dos elementos dopantes están situados a una distancia de cada elemento conductor, que es menor o igual a la distancia al elemento conductor vecino más cercano. Preferentemente para al menos una mayoría de los elementos conductores, al menos dos elementos dopantes están situados en contacto con cada elemento conductor. Por tanto, el riesgo de que un elemento conductor esté situado a la sombra de otro elemento conductor respecto a sus elementos dopantes más cercanos disminuye. Por otro lado, puede suceder que, durante un tratamiento de difusión, la sustancia dopante desde el elemento dopante deba desplazarse a través del elemento conductor para alcanzar un elemento conductor que está detrás de este.
- 40 De acuerdo con una realización, para al menos una mayoría de los elementos conductores, al menos dos elementos dopantes están situados a una distancia de cada elemento conductor, que es menor o igual al diámetro del elemento conductor. Preferentemente, para al menos una mayoría de elementos conductores, al menos dos elementos dopantes están situados a una distancia de cada elemento conductor, que es menor o igual a la distancia al elemento conductor vecino más cercano. Preferentemente para al menos una mayoría de los elementos conductores, al menos dos elementos dopantes están situados en contacto con cada elemento conductor. Por tanto, el riesgo de que un elemento conductor esté situado a la sombra de otro elemento conductor respecto a sus elementos dopantes más cercanos disminuye. Por otro lado, puede suceder que, durante un tratamiento de difusión, la sustancia dopante desde el elemento dopante deba desplazarse a través del elemento conductor para alcanzar un elemento conductor que está detrás de este.
- 45 Como al menos dos elementos dopantes están situados cerca de y en dos direcciones diferentes de cada elemento conductor para al menos una mayoría de los elementos conductores, cada elemento conductor resulta dopado directamente desde dos o más direcciones diferentes. Esto aumentará la homogeneidad de la sustancia dopante dentro de los elementos conductores y puede disminuir también el tiempo para conseguir el dopado y la difusión. Preferentemente, los elementos dopantes están dispuestos en direcciones opuestas del elemento conductor. Esto aumentaría adicionalmente la homogeneidad de la sustancia dopante. Un elemento dopante puede estar situado cerca de dos o más elementos conductores, por ejemplo entre dos elementos conductores, de manera que el elemento dopante esté siendo compartido por los elementos conductores. El elemento dopante contribuye entonces al dopado de todos sus elementos conductores que lo rodean.
- 50 En una realización, al menos tres, preferentemente al menos cuatro, elementos dopantes están situados cerca de y en tres, o preferentemente cuatro, direcciones diferentes de cada elemento conductor para al menos una mayoría de los elementos conductores. Por tanto, los elementos dopantes rodean completamente el elemento conductor. Preferentemente, los elementos dopantes situados cerca de cada elemento conductor están situados sustancialmente de forma uniforme alrededor del elemento conductor. Por tanto la homogeneidad aumentará adicionalmente. Un problema con el conjunto metálico es que los elementos dopantes pueden agrietarse en algunos
- 55

puntos debido al alargamiento severo del conjunto metálico y los elementos cuando se conforma el conjunto metálico en su forma final. Proporcionando varios elementos dopantes paralelos el riesgo de fallo completo en una sección del conjunto metálico disminuirá.

5 De acuerdo con una realización, el conjunto comprende una pluralidad de elementos de manguito cada uno de los cuales contiene entre uno y siete elementos conductores y su o sus elementos dopantes vecinos. Proporcionando tales elementos de manguito, se facilita el montaje del conjunto metálico. Puesto que es posible disponer diversos elementos en el conjunto metálico en una operación el tiempo para acabar el montaje se acorta. Preferentemente, los elementos de manguito están dispuestos también para mantener los elementos juntos, y para asegurar que los elementos dopantes están cerca del conductor. Preferentemente, los elementos de manguito están dispuestos para  
10 que cada uno contenga solo un elemento conductor y sus elementos dopantes vecinos, para al menos una mayoría de los elementos conductores. Los elementos de manguito comprenden Cu o una aleación de Cu. Por tanto, los elementos de manguito proporcionan un metal de alta conductividad en el que los filamentos superconductores están embebidos para conseguir estabilidad mecánica y eléctrica.

15 De acuerdo con una realización los elementos de manguito tienen una pared que define un hueco interno, y al menos una mayoría de elementos dopantes están situados entre los elementos conductores dentro del hueco y de la pared del cilindro. Por tanto, la sustancia dopante está rodeada por una pared formada por los elementos de manguito de manera que la sustancia dopante tiende a difundirse dentro del elemento conductor. En particular, la solubilidad de Ti en Cu es menor que en Nb, en el que el Ti se difunde principalmente en los filamentos de Nb.

20 De acuerdo con la invención, el conjunto comprende al menos dos elementos dopantes situados fuera del elemento conductor para cada elemento conductor. Preferentemente, para al menos una mayoría de los elementos conductores, el conjunto comprende al menos tres, preferentemente al menos cuatro elementos dopantes para cada elemento conductor. Disponiendo diversos elementos dopantes para cada elemento conductor, la uniformidad de la distribución de la sustancia dopante aumenta, lo que a su vez aumenta la calidad del superconductor.

25 De acuerdo con una realización al menos una mayoría de los elementos conductores y elementos dopantes son barras que tienen una forma alargada con una sección transversal uniforme. Preferentemente, el propio conjunto metálico tiene una forma alargada con una sección transversal uniforme. Un elemento con una forma alargada y una sección transversal uniforme es sencillo de constituir en formas nuevas. Por tanto, es fácil de alargar adicionalmente el conductor y los elementos dopantes en filamentos superconductores y el conjunto metálico en un hilo superconductor. En una realización preferida, los elementos dopantes y los elementos conductores están conformados en forma de barras con secciones transversales circulares o hexagonales. Dependiendo de cuanto  
30 haya progresado la fabricación las barras pueden tener diferentes dimensiones.

35 Preferentemente, el área de la sección transversal de cada al menos una mayoría de los elementos dopantes es menor que un quinto del área de la sección transversal de cada uno de al menos una mayoría de los elementos conductores. Preferentemente, el área de la sección transversal de los elementos dopantes es menor que un décimo del área de la sección transversal de los elementos conductores, más preferentemente, el área de la sección transversal de los elementos dopantes es menor que una centésima parte del área de la sección transversal de los elementos conductores. El contenido deseado de sustancia dopante, que en la mayoría de los casos es muy bajo, determina el número y los tamaños de elemento dopantes. Teniendo una sección transversal más pequeña para los elementos dopantes, un número mayor de elementos dopantes puede disponerse en el conjunto metálico, dando una mayor homogeneidad. También es posible disponer los elementos dopantes más uniformemente a través del conjunto metálico. En una realización, los elementos dopantes están dispuestos en los huecos formados entre los elementos conductores vecinos, proporcionando estabilidad mecánica y un empaquetado compacto del conjunto.

45 De acuerdo con la invención, cada elemento dopante comprende NbTi, con un contenido de Ti entre el 20-60% en peso. Preferentemente el elemento dopante comprende el 40-50% en peso de Ti, que está disponible en el mercado. Por tanto, la proporción entre Nb y Ti es de aproximadamente 1:1. Las aleaciones de NbTi con estos intervalos dados de Ti son más dúctiles y más fácilmente deformables a altas tensiones que las aleaciones de Nb con otros contenidos de Ti. Por tanto un elemento dopante que comprende NbTi se procesará fácilmente en una forma final deseada. Adicionalmente, el Nb en elemento dopante puede migrar al elemento conductor y convertirse en parte del elemento conductor durante la difusión, puesto que la solubilidad del Nb en Cu es baja. El dopado con  
50 titanio da a los superconductores un rendimiento muy bueno.

De acuerdo con la invención, los elementos dopantes comprenden un núcleo dopante que contiene la sustancia dopante, y una capa de bloqueo de difusión que encierra el núcleo dopante para bloquear la difusión de la sustancia dopante a través de la capa de bloqueo de difusión a temperaturas por debajo de una temperatura de difusión deseada. Preferentemente, la temperatura de difusión, por encima de la cual tiene lugar la difusión a través de la capa de bloqueo de difusión, está en el intervalo entre 500-1000 °C. La sustancia dopante, en particular Ti, puede difundirse al metal circundante, en particular al Cu, a las temperaturas de trabajo en caliente típicas de la técnica. La difusión y las reacciones resultantes entre el cobre y el titanio pueden formar partículas intermetálicas duras sobre la superficie de los elementos conductores. Tales partículas pueden tener dimensiones del mismo tamaño que el diámetro de los filamentos superconductores deseados, en el que los filamentos pueden alterarse durante las etapas de trabajado metálico a las dimensiones finales. Por lo tanto, es ventajoso bloquear la difusión de la sustancia  
60

dopante en el metal circundante para retener la formabilidad del conjunto metálico. Preferentemente, las capas de bloqueo de difusión comprende Nb puro hasta un contenido de al menos el 95% en peso. La capa de bloqueo de difusión puede ser un manguito dispuesto fuera del núcleo dopante, un revestimiento dispuesto sobre el núcleo dopante o una capa con un contenido elemental diferente dispuesta alrededor del núcleo dopante.

5 De acuerdo con una realización, al menos una mayoría de los elementos conductores comprende un núcleo conductor adaptado para formar los filamentos superconductores. El núcleo conductor contiene el componente o sustancia principal que constituye el material del superconductor acabado. En una realización el núcleo conductor contiene Nb y posibles impurezas. En una realización el núcleo conductor contiene Nb y posibles impurezas. En otra realización, el núcleo conductor es una aleación de niobio tantalio. En otra realización, el núcleo conductor es una aleación de niobio y circonio. Preferentemente, al menos una mayoría de los elementos conductores comprende adicionalmente un elemento de soporte que contiene un metal con elevada conductividad eléctrica, dispuesto alrededor del núcleo. El elemento de soporte está adaptado para embeber y estabilizar el filamento superconductor en el superconductor acabado y facilitar la formación metálica de los elementos conductores.

10 De acuerdo con una realización la invención comprende producir los elementos dopantes y conductores por alargamiento de una preforma de material de los materiales respectivos en los elementos dopante y conductor respectivos que tienen secciones transversales sustancialmente uniformes. En una realización la invención comprende estirar las preformas de material en elementos dopantes y conductores alargados. En otra realización preferida la invención comprende extruir las preformas de material en elementos dopantes y conductores alargados.

15 En una realización los elementos dopantes antes de montarlos en el conjunto metálico se unen con los elementos conductores. En una realización adicional los elementos dopantes ya alargados y los elementos conductores se unen en forma alargada en una etapa de alargamiento adicional. Por tanto, los elementos dopantes se alargan al menos una vez más que los elementos conductores de manera que los elementos dopantes obtienen un área de sección transversal más pequeña que los elementos conductores. Por tanto, la cantidad de sustancia dopante corresponderá al nivel dopante deseado dentro del filamento superconductor acabado.

20 En una realización la invención comprende recocer un elemento, que va a formar parte del conjunto metálico, tras el alargamiento del elemento. Recociendo del elemento cualquier endurecimiento por trabajado en frío en el elemento puede aliviarse, de manera que se facilitará la formación o alargamiento adicional.

25 De acuerdo con una realización el conjunto metálico está compactado. Preferentemente, el conjunto metálico se compacta antes de conformar el conjunto metálico en su forma final deseada. Compactando el conjunto metálico cualquier espacio sin rellenar en el conjunto metálico se contraerá y retirará. Por tanto, el conjunto formará un superconductor de empaquetamiento compacto incluso aunque halla espacios vacíos dentro del conjunto metálico durante las primeras etapas de fabricación, permitiendo un número mucho más amplio de configuraciones permisibles de los elementos. Preferentemente, el conjunto metálico se compacta mediante un tratamiento de presión isostática. Preferentemente, el conjunto metálico se compacta por un procedimiento seleccionado entre el grupo que comprende Presión Isostática en Caliente o tratamiento HIP, Presión Isostática en Frío o tratamiento CIP y Presión Isostática Templada o tratamiento WIP. Más preferentemente el conjunto metálico se compacta por tratamiento HIP.

30 Preferentemente un elemento que suministra estaño que comprende una fuente de Sn se dispone en el conjunto metálico. Preferentemente, la invención comprende también compactar el conjunto metálico antes de disponer la fuente de Sn en el conjunto metálico. Preferentemente, la invención comprende también realizar cualquier etapa de trabajado en caliente, aparte del recocido por difusión, antes de disponer la fuente de Sn en el conjunto metálico. Por tanto, el procedimiento de acuerdo con la invención predominantemente comprende las etapas de trabajado en frío después de disponer la fuente de Sn en el conjunto metálico. Preferentemente, la fuente de Sn se proporciona en la etapa que permite el trabajado en frío directamente a una dimensión final antes de un tratamiento térmico de difusión final. El estaño tiene un punto de fusión muy bajo y se difunde fácilmente. También, las aleaciones de Sn creadas durante la difusión son generalmente quebradizas y difíciles de formar en una forma deseada. Por tanto, es ventajoso añadir el estaño tan tarde como sea posible, de manera que los otros metales puedan tratarse a mayores temperaturas. Preferentemente, el elemento que suministra estaño comprende estaño puro. Puesto que el estaño tiene un punto de fusión bajo en relación con otros metales, un metal de aleación en una aleación con estaño puede precipitar debido a su mayor punto de fusión. En otra realización, el suministro de Sn comprende estaño aleado con un bajo contenido por ejemplo de cobre que permite altos grados de trabajado en frío.

35 De acuerdo con una realización de la invención, se fabrica un superconductor por un tratamiento térmico de difusión de un conjunto metálico de acuerdo con cualquiera de las realizaciones anteriores. El tratamiento térmico de difusión para formar el Nb<sub>3</sub>Sn se realiza preferentemente a una temperatura de difusión en el intervalo entre 500-1000 °C, más preferentemente en el intervalo de 600-800 °C, más preferentemente en el intervalo entre 620-750 °C durante entre 50 y 400 horas. Debido al bajo punto de fusión de la fuente de estaño, es ventajoso elevar la temperatura escalonadamente en intervalos y realizar así el recocido a un intervalo de temperatura de 200-215 °C durante 30-60 horas, después a 390-410 °C durante 30-60 horas y a 550-570 °C durante 30-60 horas después del tratamiento térmico de formación de Nb<sub>3</sub>Sn real.

En una realización el estaño del elemento de suministro de estaño se difunde a un elemento conductor de niobio para formar el material superconductor Nb<sub>3</sub>Sn durante la etapa de difusión. Adicionalmente, el Ti de la fuente dopante de NbTi se difunde en los elementos conductores de niobio para dopar el Nb<sub>3</sub>Sn con titanio. Otras clases de superconductores pueden formarse de una manera similar. La razón para realizar el tratamiento térmico de difusión en una etapa final es porque el Nb<sub>3</sub>Sn es muy frágil y difícil de formar con una forma deseada.

**Breve descripción de los dibujos**

La invención se describe ahora como un número de ejemplos no limitantes de la invención con referencia a los dibujos adjuntos.

- 10 La Figura 1a-c muestra un primer ejemplo de un conjunto metálico y un procedimiento para la producción de un superconductor de acuerdo con la invención.
- La Figura 2a-d muestra un segundo ejemplo de un conjunto metálico y un procedimiento para la producción de un superconductor de acuerdo con la invención.
- La Figura 3 muestra un ejemplo de un conjunto metálico que no es parte de la invención.

**Descripción detallada de las realizaciones preferidas**

15 En la figura 1 a se muestra un ejemplo de un conjunto metálico 1 de elementos 3 que constituye un precursor para un superconductor de acuerdo con la invención. El conjunto metálico 1 comprende una pluralidad de elementos conductores 5 adaptados para proporcionar filamentos superconductores en el superconductor acabado, y una pluralidad de elementos dopantes 7 que proporciona una superficie dopante para dopar los elementos conductores 5. Un ejemplo de un elemento conductor 5 se muestra con mayor detalle en la figura 1b, y un ejemplo de un elemento dopante 7 se muestra en la Figura 1 c.

De acuerdo con la invención, el conjunto 1 comprende al menos dos elementos 7 dispuestos fuera de cada elemento conductor 5. Después de un tratamiento térmico de difusión la sustancia dopante contenida en los elementos dopantes 7 se dispersará por lo tanto más homogéneamente por todo el superconductor, lo que mejora en gran medida la calidad del superconductor.

25 Los elementos dopantes 7 se disponen cerca de y próximos, en este ejemplo en contacto con, los elementos conductores 5. Por tanto, el elemento dopante próximo a cada elemento conductor está al menos igual de cercano al elemento conductor como el otro elemento conductor más cercano. Por tanto, la distancia de difusión para la sustancia dopante es corta. Los elementos conductores y dopantes 5, 7 sin embargo constituyen elementos separados hasta la etapa de difusión de acabado, que se describirá a continuación.

30 En este ejemplo, puesto que el tamaño de los elementos dopantes 7 es mucho menor que el tamaño de los elementos conductores 5, los elementos dopantes están dispuestos en los espacios no rellenos formados entre los elementos conductores 5. En este ejemplo, solo una capa de elementos conductores 5 se muestra por simplicidad, pero en la práctica puede usarse cualquier número de capas de elementos conductores. Adicionalmente, se disponen dos elementos dopantes 7 cerca de cada elemento conductor 5. En este ejemplo cada elemento dopante se comparte entre dos elementos conductores 5, y los dos elementos dopantes 7 situados cerca de cada elemento conductor 5 están situados en direcciones sustancialmente opuestas del elemento conductor 5. Por tanto, la concentración de la sustancia dopante después de la difusión será más homogénea.

35 En este ejemplo, al menos una mayoría tanto de los elementos conductores 5 como de los elementos dopantes 7 tienen una forma alargada, de manera que sus longitudes son mayores que sus anchuras y alturas. El elemento conductor 5 y los elementos dopantes 7 se conforman adicionalmente con una sección transversal uniforme para todas sus longitudes. En este ejemplo, los elementos conductores 5 y los elementos dopantes son 7 barras cilíndricas conformadas con una sección transversal circular. Para al menos una mayoría de los elementos dopantes y conductores, el área de la sección transversal de cada elemento dopante es menor que un quinto del área de la sección transversal de cada elemento conductor. Otras formas de los elementos conductores y dopantes pueden usarse tales como formas hexagonales o trapezoidales para aumentar el factor de carga del conjunto.

40 En la figura 1b el elemento conductor se muestra con mayor detalle. El elemento conductor 5 comprende un núcleo conductor 9 que contiene un material base superconductor y que esta adaptado para constituir el filamento superconductor en el superconductor acabado. En este ejemplo, el núcleo conductor 9 comprende Nb o una aleación de Nb tal como NbTa o NbZr. Preferentemente el núcleo conductor 9 comprende Nb puro aparte de impurezas, puesto que el Nb puro es dúctil y fácil de formar en filamentos finos. El elemento conductor 5 comprende una cubierta 13 de elemento conductor dispuesta alrededor del núcleo 9. La cubierta 13 está fabricada de Cu o una aleación de Cu.

45 En una realización de la invención, el elemento conductor 5 comprende adicionalmente una capa 11 de bloqueo de difusión dispuesta alrededor del núcleo conductor 9. La capa 11 de bloqueo de difusión es necesaria cuando se usan un elemento conductor más grande que está rodeado por barras de NbTi puro.

En la figura 1c un elemento 7 dopante se muestra con mayor detalle. El elemento 7 dopante comprende un núcleo

15 dopante que contiene la sustancia dopante. El elemento 7 dopante está provisto adicionalmente de una capa 17 de bloqueo de difusión que encierra el núcleo 15 dopante y que está adaptada para bloquear la difusión de la sustancia dopante a temperaturas por debajo de una temperatura de difusión deseada. El elemento dopante comprende también una carcasa 19 del elemento dopante dispuesta alrededor del núcleo y la capa de difusión 17, cuya cubierta 19 está fabricada en Cu o en una aleación de Cu.

La sustancia dopante en el núcleo dopante 15 comprende una aleación de NbTi para dopar el elemento conductor con Ti. Esta aleación es dúctil y puede formarse fácilmente en la forma deseada del elemento dopante. El número y tamaño de los elementos dopantes 7 se elige de manera que los filamentos superconductores acabados contengan entre el 0,2-3 % en peso de Ti, preferentemente entre el 0,5-1,5 % de Ti.

La capa 17 de bloqueo de difusión está en este ejemplo hecha de una capa de Nb puro alrededor del núcleo de NbTi. La difusión del Ti debe impedirse durante la producción del montaje, puesto que el Ti por otro lado puede difundirse en la cubierta de Cu o elemento de soporte circundante, dando como resultado la formación de partículas intermetálicas Cu-Ti y posibles roturas adversas de los filamentos finos deseados. La capa 17 de bloqueo de difusión está adaptada para bloquear la difusión a temperaturas menores que una temperatura de difusión deseada.

El conjunto comprende también una fuente de Sn 21 dispuesta para proporcionar Sn a los filamentos superconductores. La fuente de Sn comprende una barra cilíndrica de Sn puro o aleación de Sn con Cu. La fuente de Sn está adaptada para tener un tamaño y contenido de Sn, de manera que después de la difusión de los filamentos superconductores acabados constituirá el  $Nb_3Sn$  dopado con Ti.

El conjunto metálico 1 comprende adicionalmente un elemento de soporte adaptado para contener el conjunto unido. El elemento de soporte comprende un cilindro hueco, en el que el conductor 5 y los elementos dopantes 7 están dispuestos dentro del cilindro, junto con la fuente de Sn 21, que está dispuesta en el centro del conjunto. En este ejemplo el elemento de soporte 23 circundante está fabricado de Cu o una aleación de Cu, puesto que es ventajoso que los filamentos superconductores acabados sean embebidos en cobre tanto para conseguir tanto estabilidad eléctrica como mecánica. Preferentemente, el elemento de soporte 23 se fabrica del mismo material que las cubiertas 13, 19 de los elementos conductor y dopante.

A continuación, se describe un ejemplo de un procedimiento adecuado para producir un superconductor a partir del conjunto metálico de la figura 1a.

En una primer etapa 25, el procedimiento comprende producir al menos un elemento conductor 5. El elemento conductor se produce a partir de una preforma de un material apropiado alargando la preforma en un elemento conductor 5 similar a una barra. El alargamiento puede realizarse por cualquier procedimiento de alargamiento, tal como extrusión, perfilado o incluso laminado, dependiendo de la geometría deseada del elemento conductor. Análogamente, el procedimiento comprende producir elementos dopantes 7 por alargamiento de una preforma de material del material apropiado. En este ejemplo, el procedimiento comprende alargar los elementos dopantes de manera que los elementos dopantes obtengan un área de la sección transversal que es menor que un quinto del área de la sección transversal de los elementos conductores. Esto puede realizarse usando un procedimiento de alargamiento más severo para los elementos dopantes que para el elemento conductor, o alargando los elementos dopantes un número de veces adicional respecto a los elementos conductores.

En una segunda etapa 27, el procedimiento comprende ensamblar al menos un elemento conductor y al menos dos elementos dopantes 7 en el conjunto metálico 1, que es un precursor para un superconductor. En particular, el procedimiento comprende montar al menos dos elementos dopantes para cada elemento conductor en el conjunto metálico, y disponer los elementos dopantes fuera de los elementos conductores. El procedimiento comprende adicionalmente situar al menos dos elementos dopantes 7 cerca de cada elemento conductor 5 a una distancia, que es menor que el diámetro del elemento conductor. En este ejemplo, los elementos dopantes están situados para que estén en contacto con los elementos conductores. El procedimiento comprende también disponer al menos dos elementos dopantes cerca de, y en dos direcciones diferentes de cada elemento conductor, de manera que los elementos dopantes estén dispuestos sustancialmente de forma uniforme alrededor de cada elemento conductor.

En la segunda etapa, el procedimiento comprende también disponer una fuente de Sn 21 en el conjunto, en este ejemplo en el centro del conjunto. El procedimiento comprende también disponer los elementos conductores, los elementos dopantes y la fuente de Sn dentro de un elemento de soporte 23 fabricado de Cu o una aleación de Cu. Tal elemento de soporte en algunos casos en la técnica se denomina tubo o lata.

En una tercera etapa 29, el procedimiento comprende formar el conjunto en una forma deseada. En este ejemplo, el procedimiento comprende alargar el conjunto metálico a un espesor deseado para el superconductor acabado. El alargamiento puede comprender el estirado, o cualquier otro proceso de trabajado en frío adecuado, y puede realizarse en una o varias etapas. Adicionalmente, el procedimiento puede comprender montar varios de tales conjuntos metálicos 1 en un conjunto aún mayor, que después se alarga correspondientemente. Preferentemente, el conjunto final se alarga a un diámetro de entre 1 y 10 mm, y de manera que los filamentos superconductores obtienen un diámetro de unos pocos a unas pocas decenas de micrómetros.

En una cuarta etapa 31, el procedimiento comprende el tratamiento térmico por difusión del conjunto metálico. El

tratamiento térmico en este ejemplo se realiza a una temperatura entre 600 – 800 °C y durante entre 100 y 400 horas. Durante el tratamiento térmico, la sustancia dopante a partir de los elementos dopantes se difunde en los elementos conductores y el Sn de la fuente de Sn se difunde en los elementos conductores. En este ejemplo, los filamentos superconductores de Nb<sub>3</sub>Sn dopados con entre 0,2 – 3 % de Ti y preferentemente dopados con 0,5 – 1,5 % de Ti se forman durante la difusión. Después de la etapa de difusión el superconductor terminado ya no puede cambiarse a otras formas debido a lo quebradizo del Nb<sub>3</sub>Sn.

En la figura 2a se muestra un segundo ejemplo de un conjunto 35 de acuerdo con la invención. A diferencia respecto al conjunto en la figura 1a el conjunto en la figura 2a comprende una pluralidad de subconjuntos 37. Cada subconjunto 37, un ejemplo del cual se muestra con mayor detalle en la figura 2b, comprende un elemento de manguito 39, al menos un elemento conductor 41 y al menos dos elementos dopantes 43 (iguales que el elemento dopante 7 en la Figura 1c) dispuestos fuera del elemento conductor. En otro ejemplo, el subconjunto puede estar diseñado en lugar de ello de la misma manera que el conjunto en la figura 1a, o puede estar diseñado de cualquier otra manera adecuada.

El elemento de manguito 39 es hueco para poder disponer el elemento conductor 41 y los elementos dopantes 43 dentro del elemento de manguito 39. En este ejemplo, solo un elemento conductor está dispuesto dentro del elemento de manguito, pero en otro ejemplo hasta siete elementos conductores pueden estar dispuestos dentro del mismo subconjunto, véase la figura 2d. El subconjunto 37 comprende adicionalmente al menos dos elementos dopantes en este ejemplo cuatro elementos dopantes 43, dispuestos dentro del elemento de manguito pero fuera y cerca del elemento conductor. Por tanto, el elemento de manguito 39 está dispuesto para contener un elemento conductor 41 y sus elementos dopantes 43 vecinos. En otro ejemplo, cada subconjunto 37 puede contener en lugar de ello entre uno y siete elementos conductores o su o sus elementos dopantes vecinos dispuestos dentro de un elemento de manguito 39. En la figura 2d se han dispuesto siete elementos conductores 41 de manera que el elemento conductor central 41 esté rodeado simétricamente por seis elementos conductores 41. Los elementos dopantes 43 se han situado alrededor de los elementos conductores 41. Una posición simétrica de los elementos conductores 41 y los elementos dopantes 43 mejora la calidad del superconductor producido.

El elemento de manguito 39 está dispuesto para soportar, rodear y contener los elementos conductores 41 y elemento dopantes 43 juntos. El elemento de manguito está fabricado de Cu o una aleación de Cu. El metal del elemento de manguito 39 por tanto embeberá y estabilizará los filamentos formados a partir de los elementos conductores en el superconductor acabado. En este ejemplo, todos los elementos conductores y dopantes están dispuestos dentro de un elemento de manguito, pero en otro ejemplo puede ser suficiente que al menos una mayoría de los elementos conductores estén dispuestos dentro de un elemento de manguito.

Los elementos dopantes 43 están dispuestos cerca del elemento conductor, y están situados en al menos dos, en este ejemplo cuatro, direcciones diferentes del elemento conductor 41. Los elementos dopantes están dispuestos adicionalmente de forma uniforme alrededor del elemento conductor, en el que la sustancia dopante se difundirá más homogéneamente en el elemento conductor. Adicionalmente, los elementos dopantes están situados a una distancia del elemento conductor, que es menor de o igual al diámetro del elemento conductor, en este ejemplo en contacto directo con el elemento conductor.

En este ejemplo, los elementos de manguito 39 tienen paredes 45 que definen dicho hueco interno. Al menos una mayoría de los elementos dopantes están situados dentro del hueco entre los elementos conductores y las paredes 45 de los cilindros. En este ejemplo, el elemento conductor está situado entre los elementos dopantes 43 dentro del elemento de manguito. Por tanto, los elementos dopantes están situados en un espacio entre el elemento conductor y la pared del manguito.

De acuerdo con el conjunto en las figuras 1a-c, los elementos conductores 41 y elementos dopantes 43 tienen una forma alargada con una sección transversal uniforme. Los elementos conductores y dopantes tienen forma de barra. Análogamente, el elemento de manguito 39 es alargado con una sección transversal uniforme, y en este ejemplo está conformado como un cilindro hueco. El área de la sección transversal de al menos una mayoría de los elementos dopantes es adicionalmente más pequeña que un quinto del área de sección transversal de al menos una mayoría de los elementos conductores. En un ejemplo, el diámetro del elemento conductor en el subconjunto es entre 12-17 cm, en este ejemplo 15 cm, y el diámetro de los elementos dopantes es entre 3-15 mm, en este ejemplo 5 mm. Los diámetros interno y externo del elemento de manguito son 15,5 cm y 20 cm respectivamente. Por tanto, el diámetro de un elemento dopante es menor que una vigésima parte del diámetro del elemento conductor.

En el conjunto de la figura 1a y los elementos conductores y dopantes de las figuras 1b-c, el elemento conductor 41 comprende un núcleo de Nb, y los elementos dopantes 43 comprenden cada uno un núcleo de NbTi. Los tamaños del elemento conductor y los elementos dopantes se seleccionan de manera que el superconductor acabado contendrá Ti en el intervalo entre el 0,2 – 3 % en peso. El conjunto comprende adicionalmente una fuente de Sn 47, en el que el filamento superconductor acabado comprenderá Nb<sub>3</sub>Sn dopado con entre 0,2 – 3 % en peso de Ti. El conjunto comprende adicionalmente un elemento de soporte 49 de Cu o una aleación de Cu que rodea y soporta los subconjuntos 37 y la fuente de Sn 47 dispuesta en el centro del conjunto.

Un superconductor acabado está formado a partir del conjunto metálico por procesamiento del conjunto de acuerdo

con el procedimiento descrito a continuación.

A continuación se desvelará un procedimiento adecuado para formar un superconductor. El procedimiento comprende formar un conjunto metálico de acuerdo con el conjunto en la figura 2a, y después procesar el conjunto.

5 En una primer etapa 51, el procedimiento comprende producir los elementos dopantes 43 (los mismos que los elementos dopantes 7 en la Figura 1 c) y los elementos conductores 41 por alargamiento de una preforma de los materiales respectivos, correspondiente a la primera etapa en relación a la figura 1c. El procedimiento comprende también disponer una capa de bloqueo de difusión alrededor de los núcleos dopantes y opcionalmente alrededor de los núcleos conductores, en la que una cubierta dopante está dispuesta alrededor de cada núcleo y capa de bloqueo de difusión. Los elementos dopantes 43 en ese ejemplo se estiran hasta un diámetro de 5 mm, mientras que los elementos conductores 41 se trabajan metálicamente hasta un diámetro de 15 cm.

10 En una segunda etapa 53, el procedimiento comprende disponer entre uno y siete elementos conductores, en este ejemplo, solo un elemento conductor 41, y sus elementos dopantes 43 vecinos dentro de un elemento de manguito 39 para formar un subconjunto 37. El elemento de manguito 39 está conformado como un cilindro que tiene una pared de cilindro 45 que define un espacio hueco, y el procedimiento comprende situar el elemento conductor en el medio del espacio hueco. El procedimiento comprende también situar cuatro elementos dopantes 43 en el espacio entre el elemento conductor 41 y la pared 45 del cilindro dentro del hueco. De esta manera, los elementos dopantes 43 están situados cerca de y en contacto con el elemento conductor 41. En este ejemplo, el procedimiento comprende también situar los elementos dopantes 43 en cuatro direcciones diferentes del elemento conductor, en este ejemplo sustancialmente uniformemente alrededor del elemento conductor. En otra realización de la presente invención, los elementos dopantes que comprende elementos de aleación NbTi binaria, con forma redonda o rectangular, se montan en una configuración similar con los elementos 43. Entre los elementos dopantes y el cilindro hueco 39, un manguito de bloqueo de difusión de niobio por puro se monta para montar el subconjunto 37. Esta barrera a la difusión sirve para bloquear la difusión de Ti y cobre para formar partículas de CuTi adversas duras durante las posibles etapas de formación en caliente.

20 En una tercera etapa 55, el procedimiento comprende compactar el subconjunto 37. Compactando el subconjunto 37 los espacios formados entre los diferentes elementos en el conjunto tal como entre el elemento de manguito 39, los elementos dopantes 43 y los elementos conductores 41, y también entre diferentes subconjuntos 37 disminuirá. Estos espacios podrían introducir de otra manera el gas atrapado tal como aire dentro del superconductor acabado. En este ejemplo el procedimiento comprende compactar el conjunto metálico por un tratamiento HIP (Presión Isostática en Caliente) del subconjunto.

25 En una cuarta etapa 59 el procedimiento comprende alargar el subconjunto 37 en la figura 2a. El subconjunto 37 puede alargarse por ejemplo por extrusión, estirado o algún otro procedimiento adecuado. Si se aplica tanto extrusión como estirado, la extrusión se realiza antes del estirado.

30 En una 5ª etapa 61, el procedimiento comprende disponer una pluralidad de subconjuntos 37 en un conjunto metálico 35. El procedimiento comprende también disponer una fuente de Sn 47 en el conjunto metálico 35. La fuente de Sn está dispuesta en el conjunto metálico 35 en una etapa después de cualquier tratamiento intermedio a temperatura caliente, puesto que el Sn tiene un punto de fusión bajo y tendería a difundir y reaccionar prematuramente. La fuente de Sn 47 es además preferentemente Sn puro o una aleación de SnCu. Debido al bajo punto de fusión de Sn en comparación con otros metales cualquier inclusión de otros elementos dentro de la fuente de Sn puede precipitar de otra manera y formar partículas duras o granos en la fuente de Sn. Puesto que los diámetros deseados del conjunto metálico 35 acabado es pequeño (cf. etapa siete a continuación) tales partículas o granos pueden alterar los filamentos del superconductor.

35 En una 6ª etapa 63 el procedimiento comprende alargar el conjunto metálico 35. El alargamiento puede comprender laminado, pero comprende preferentemente estirado, puesto que el estirado da los menores cambios al material del conjunto metálico 35. Debido a la presencia de Sn, el conjunto metálico 35 se estira en frío. De acuerdo con un ejemplo de la invención, varios de estos conjuntos metálicos 35 estirados se disponen después dentro de un segundo elemento de manguito para formar un segundo conjunto metálico. El segundo conjunto metálico se estira aún más, y este procedimiento se repite hasta que se alcanza una forma y diámetro finales deseados. En otra realización de la presente invención, en una etapa de reapilado final del conjunto metálico 35, un manguito de bloqueo de difusión de Ta, Nb o aleación de Nb se introduce dentro de los subconjuntos 37 y el manguito de cobre 47 hueco para proteger el cobre de la contaminación durante el tratamiento de recocido por difusión. El conjunto metálico final puede contener después varios grupos de subconjuntos, dispuestos uno dentro del otro. Por tanto, el conjunto metálico 35 se alarga a un diámetro final deseado para el superconductor acabado. Antes de una etapa de formación final de los elementos conductores, los filamentos de Nb se retuercen en una trayectoria helicoidal en una operación de retorcido separada. La forma deseada depende de la aplicación, pero normalmente es una forma de hilo redonda o rectangular, en la que se producirán los filamentos superconductores de Nb<sub>3</sub>Sn. El diámetro del hilo típicamente es entre 0,3 – 2 mm, y el diámetro de los filamentos superconductores de Nb<sub>3</sub>Sn normalmente es entre 2 – 15 μm. En otra realización alternativa una pluralidad de hilos 35 del tamaño final pueden retorcerse para formar una estructura de cable antes de la reacción del tratamiento de recocido. Típicamente, los hilos se revestirán con cromo, níquel o sus aleaciones antes de la operación de cableado.

5 En una 7ª etapa 65 el procedimiento comprende el recocido por difusión del hilo superconductor final por tratamiento térmico de la pluralidad de conjuntos metálicos 35 estirados, para producir un superconductor 35 acabado. En este ejemplo el procedimiento comprende el recocido por difusión por tratamiento térmico del conjunto metálico final entre 500-1000 °C durante entre 50-400 horas. Durante el tratamiento térmico de recocido por difusión el Ti en los elementos dopantes se difunde a los filamentos de Nb fabricados a partir de los elementos conductores, y el Sn de la fuente de Sn también se difunde a los filamentos de Nb, de manera que se forman los filamentos superconductores de Nb<sub>3</sub>Sn dopados con Ti. Por tanto, el conjunto metálico constituirá ahora un superconductor acabado.

10 En la figura 3 se muestra un ejemplo de un conjunto metálico 71 fuera del ámbito de la invención. El conjunto metálico en la figura 3 puede usarse también como un subconjunto, disponiendo varios de tales conjuntos en un conjunto más grande. El conjunto metálico 71 en la figura 3 comprende un elemento conductor 73 dispuesto en el medio, y un elemento dopante 75 hueco y cilíndrico dispuesto alrededor del elemento conductor. Por tanto, el elemento conductor está dispuesto dentro del elemento dopante 75 hueco, de manera que el elemento dopante está dispuesto fuera y uniformemente alrededor del elemento conductor. Por tanto, la sustancia dopante se difundirá  
15 fácilmente dentro del elemento conductor homogéneamente durante una etapa de difusión para dopar uniformemente el elemento conductor. El conjunto comprende adicionalmente un manguito de cobre 77 hueco cilíndrico, dispuesto alrededor del elemento dopante. En otra realización de esta invención, un manguito de Nb de bloqueo de difusión es introducido entre el elemento dopante 75 hueco y el manguito de cobre 77 hueco.

## REIVINDICACIONES

1. Un conjunto metálico (35) que constituye un precursor para un superconductor y que comprende al menos un elemento conductor (41) adaptado para proporcionar un filamento superconductor en el superconductor acabado, al menos dos elementos dopantes (43) para cada elemento conductor (41) que proporcionan una fuente dopante para dopar el elemento conductor (41), estando un elemento de manguito (39) fabricado de Cu o una aleación de Cu dispuesto fuera del elemento conductor (41) y el elemento dopante (43), y una fuente de Sn (47), en el que al menos un elemento conductor (41) comprende un núcleo conductor (9) que contiene Nb y posibles impurezas y en el que cada elemento dopante (43) comprende un núcleo dopante (15) que comprende una aleación de NbTi con un contenido de Ti entre el 20-60 % en peso, y una cubierta (19) del elemento dopante fabricada de Cu o una aleación de Cu,
- siendo el elemento conductor (41) y los elementos dopantes (43) barras que constituyen elementos separados, en el que el conjunto (35) está dispuesto de manera que al menos dos elementos dopantes (43) están situados cerca de y en dos direcciones diferentes de cada elemento conductor (41), en el que cada elemento dopante (43) comprende una capa de bloqueo de difusión (17) dispuesta como un revestimiento sobre el núcleo dopante (15) y adaptada para bloquear la difusión de la sustancia dopante a temperaturas por debajo de una temperatura de difusión deseada, y en el que la cubierta (19) del elemento dopante está dispuesta alrededor del núcleo y de la capa (17) de bloqueo de difusión.
2. Un conjunto de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** el conjunto comprende una pluralidad de elementos de manguito (39) dispuestos para contener cada uno entre uno y siete elementos conductores y su o sus elementos dopantes próximos.
3. Un conjunto de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque**, para al menos una mayoría de los elementos de manguito (39), cada elemento de manguito tiene una pared (45) que define un hueco interno y porque al menos una mayoría de los elementos dopantes (43) contenidos dentro del manguito están situados entre la pared del manguito y el elemento o elementos conductores (41) contenidos en el manguito.
4. Un conjunto de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el al menos un elemento conductor (41) y los elementos dopantes (43) tienen una forma alargada con una sección transversal uniforme, y los elementos dopantes (43) tienen cada uno un área de la sección transversal más pequeña que o igual a un quinto del área de sección transversal del elemento conductor (41) más cercano.
5. Un procedimiento adecuado cuando se produce un superconductor, comprendiendo el procedimiento
- montar al menos un elemento conductor (41), al menos dos elementos dopantes (43), un elemento de manguito (39) fabricado en Cu o una aleación de Cu, y una fuente de Sn (47) en un conjunto metálico (35) que constituye un precursor para un superconductor de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-4, **caracterizado porque** el procedimiento comprende adicionalmente
  - montar los al menos dos elementos dopantes (43) para cada elemento conductor (41) en el conjunto metálico (35) de manera que los elementos dopantes (43) están dispuestos cerca de y en dos direcciones diferentes de cada elemento conductor (41).
6. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** el procedimiento comprende
- montar los elementos dopantes (43) cerca de cada elemento conductor (41) a una distancia desde el elemento conductor que es menor que o igual al diámetro del elemento conductor (41).
7. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-6, **caracterizado porque** el procedimiento comprende
- alargar los elementos dopantes (43) de manera que los elementos dopantes obtengan un área de sección transversal que es menor que un quinto del área de la sección transversal de los elementos conductores (41).
8. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5-7, **caracterizado porque** el procedimiento comprende o
- disponer entre uno y siete elementos conductores (41) y su o sus elementos dopantes (43) próximos dentro del elemento de manguito (39), y
  - montar una pluralidad de tales elementos de manguito (39) en un conjunto metálico precursor para un superconductor.
9. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 8, **caracterizado porque** para al menos una mayoría de los elementos de manguito (39), cada elemento de manguito (39) comprende una pared que define un espacio hueco, comprendiendo el procedimiento
- situar al menos una mayoría de los elementos dopantes (43) contenidos en el elemento de manguito (39)

entre la pared del elemento de manguito (39) y el elemento o elementos conductores (41) contenidos en el elemento de manguito (39).

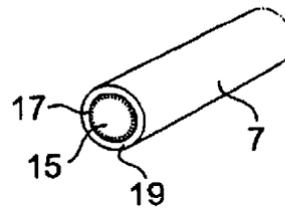
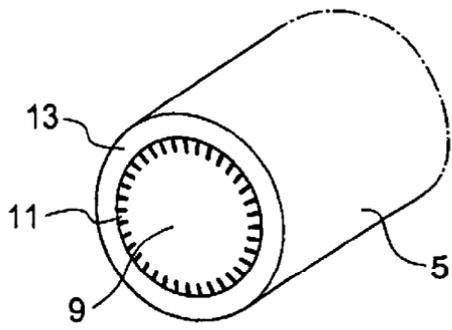
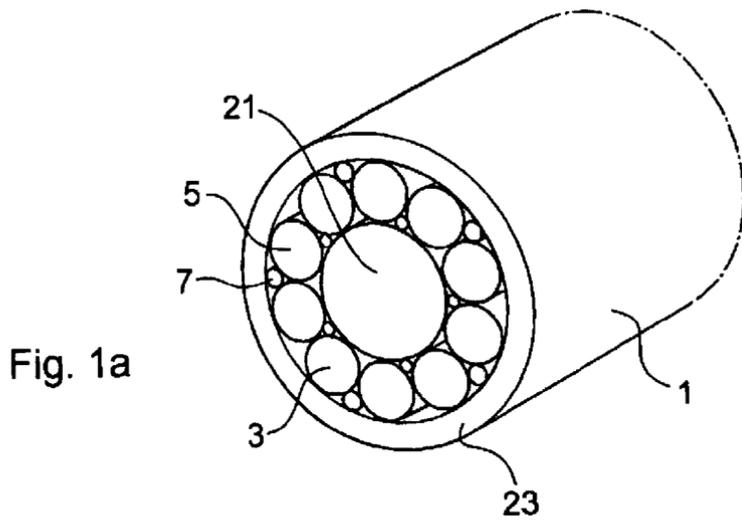


Fig. 1b

Fig. 1c

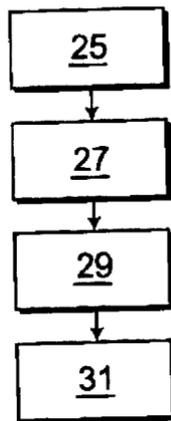


Fig. 1d

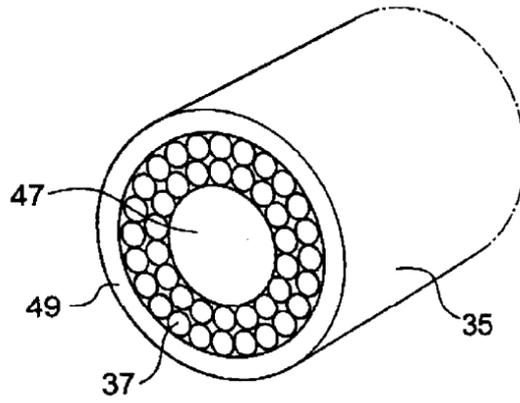


Fig 2a

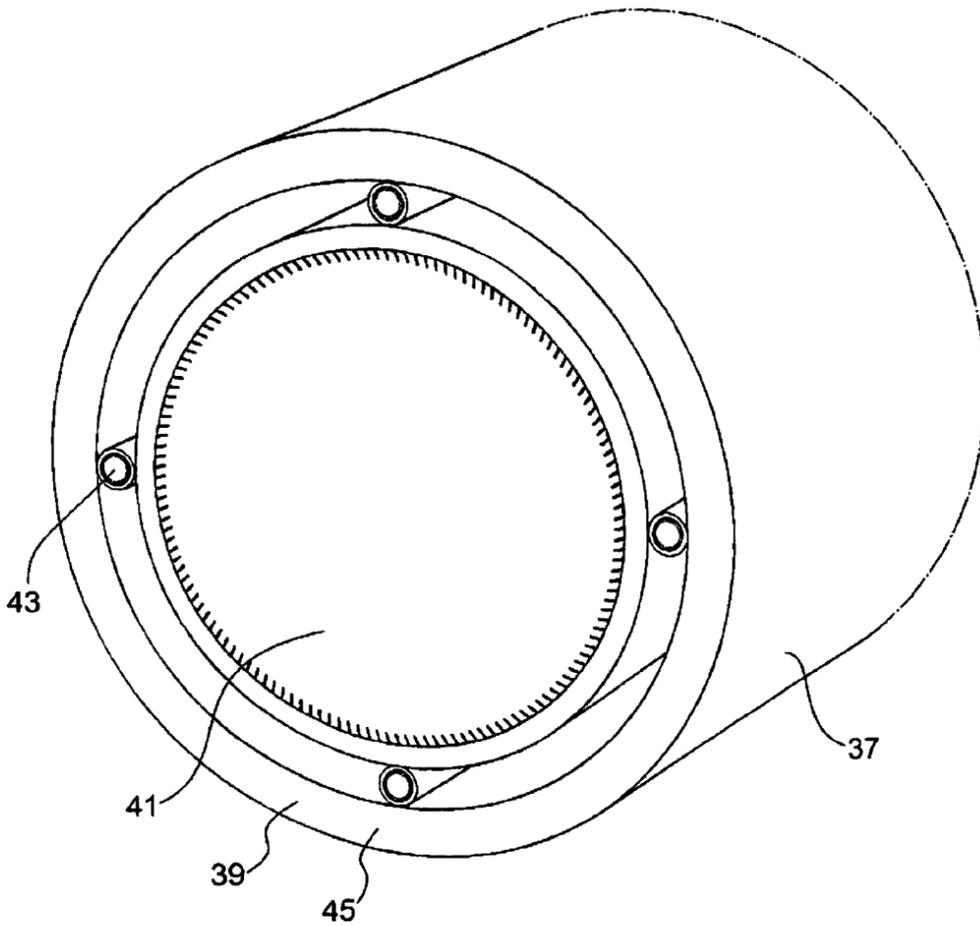


Fig 2b

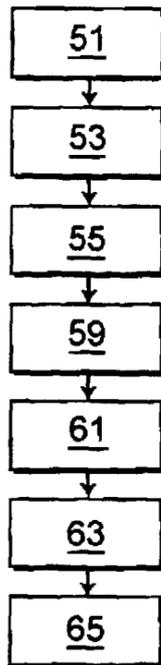


Fig. 2c

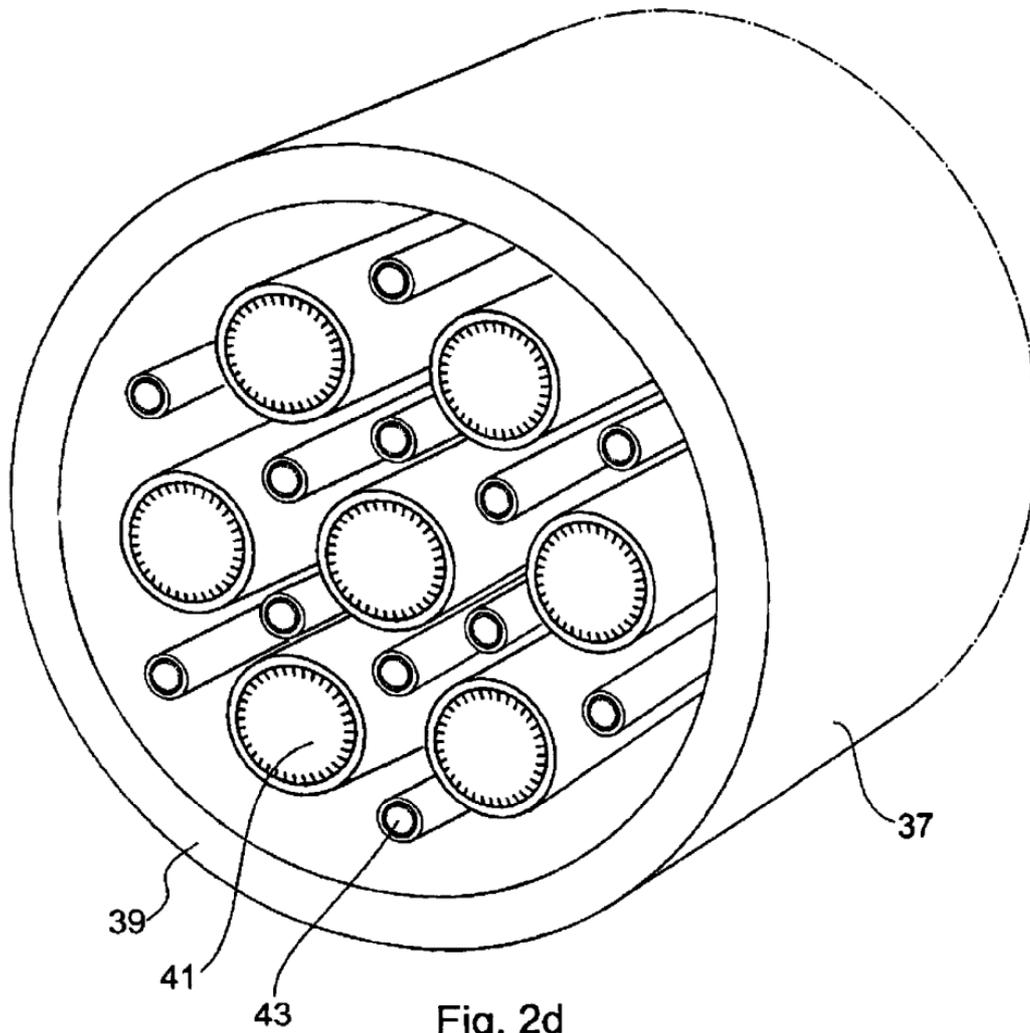


Fig. 2d

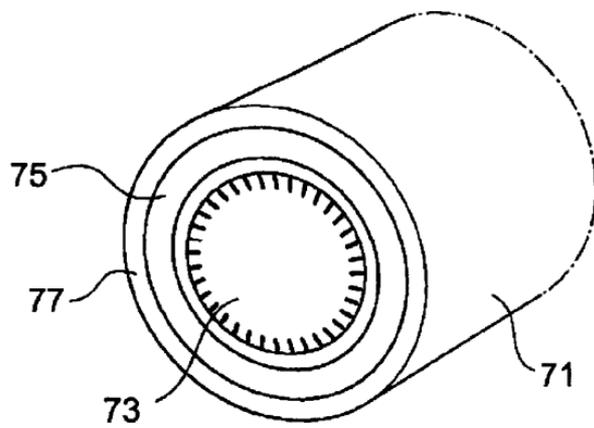


Fig. 3