

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 998**

51 Int. Cl.:

**H01L 39/14** (2006.01)

**H01L 39/24** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.08.2010** **E 10757739 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015** **EP 2471115**

54 Título: **Conductor multifilamentario y método para su producción**

30 Prioridad:

**26.08.2009 DE 102009038920**

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

**01.06.2015**

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)  
Wittelsbacherplatz 2  
80333 München , DE**

72 Inventor/es:

**RIES, GÜNTER y  
NEUMÜLLER, HEINZ-WERNER**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 536 998 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

Conductor multifilamentario y método para su producción

5 La presente invención hace referencia a un conductor multifilamentario con un sustrato en forma de cinta y con al menos una capa superconductora. Al menos una capa superconductora está conformada sobre al menos una superficie del sustrato en forma de cinta y se encuentra subdividida en filamentos. El sustrato en forma de cinta, paralelamente con respecto a su extensión longitudinal, presenta una primera dirección y al menos un filamento, paralelamente con respecto a su extensión longitudinal, presenta una segunda dirección. La presente invención hace referencia además a un método para producir un conductor multifilamentario de esa clase.

10 Los conductores multifilamentarios con capas superconductoras, entre otras cosas, se utilizan como conductores en instalaciones superconductoras. A modo de ejemplo, dichos conductores pueden emplearse en bobinados superconductores de tomógrafos de resonancia magnética, en motores, en generadores o en limitadores de corriente. En particular al utilizar materiales superconductores de alta temperatura (HTS), como por ejemplo  $Y_2BaCu_3O_7$  (YBCO), ya a la temperatura del nitrógeno líquido se alcanzan propiedades superconductoras de los conductores. De este modo pueden realizarse instalaciones superconductoras fiables y favorables en cuanto a  
15 costes.

Los conductores de técnica HTS de segunda generación (2G) presentan una película delgada HTS monocristalina como capa portadora de corriente, en especial de YBCO cerámico, la cual está conformada sobre un soporte metálico en forma de una cinta. Para colocar la película delgada HTS monocristalina sobre el soporte, este último se encuentra recubierto con una capa de amortiguación texturada constituida por varias capas, sobre la cual se aplica la capa HTS a través de procedimientos de separación, como por ejemplo evaporación, deposición por láser o descomposición química.  
20

Sobre la capa HTS se aplica adicionalmente una capa conductora convencional de protección o de estabilización que puede puentear eléctricamente puntos defectuosos y secciones cortas que se han transformado en conductoras convencionales en la capa HTS, donde dicha capa protege a la capa HTS frente a daños mecánicos. Por lo general la capa conductora convencional se compone de plata y/o de cobre. El soporte en forma de cinta en donde se aplica la pila de capas, constituida por la capa de amortiguación, la capa HTS y la capa de estabilización, presenta generalmente una anchura dentro del rango de milímetros o centímetros.  
25

En la utilización de corriente alterna, transversalmente con respecto al soporte en forma de cinta, se presenta con frecuencia un componente de campo variable en el tiempo. Debido a lo mencionado, en la capa HTS, y en menor medida también en la capa de estabilización, se inducen corrientes circulantes de blindaje que se superponen a la corriente de transporte. Esas corrientes de blindaje conducen a pérdidas eléctricas que se liberan en forma de calor, donde éste debe ser disipado desde los conductores HTS mediante un dispositivo de enfriamiento. Debido a ello, las ventajas económicas a través del ahorro energético que se alcanzan mediante la utilización de conductores HTS en comparación con los conductores óhmicos clásicos, se reducen o no se logra en absoluto.  
30

Las pérdidas por longitud  $P_H/L$  son proporcionales con respecto a la amplitud del campo alternante  $\Delta B$ , a la frecuencia  $f$ , a la corriente crítica  $I_C$  y a la anchura efectiva del conductor  $d_f$ , verticalmente con respecto al campo magnético:  
35

$$P_H/L = f \times \Delta B \times I_C \times d_f$$

40 En los superconductores NbTi- y  $Nb_3Sn$  las pérdidas se reducen repartiendo la sección transversal en muchos filamentos delgados con una  $d_f$  reducida, donde dichos filamentos están colocados en una matriz de metal, por ejemplo de cobre. No obstante, esta medida sólo es eficaz cuando el conductor es trenzado o cableado.

Se logra transferir este principio a los conductores HTS mediante conductores Roebel. Por la solicitud WO 03/100875 A2 se conoce un conductor Roebel de este tipo que está estructurado en base a varios soportes paralelos en forma de cinta, revestidos con HTS. En una estructura correspondiente de un conductor HTS las pérdidas se calculan a través de la anchura de la cinta individual. Para minimizar aún más las pérdidas, por la solicitud US 2007/0191202 A1 se conoce el hecho de subdividir en filamentos la capa superconductora y la capa de estabilización de cobre a través de surcos longitudinales, de forma paralela con respecto a la dirección longitudinal del soporte en forma de cinta. Los métodos para conformar las acanaladuras longitudinales o surcos que llegan hasta el soporte comprenden el tratamiento mecánico, la corrosión química, el mecanizado por haz láser, las técnicas de fotorresistencia y la descomposición local de órdenes cristalinas. De este modo, un filamento se subdivide en un soporte en muchos filamentos individuales que se extienden de forma paralela con respecto al eje longitudinal del soporte. Como anchura efectiva del conductor  $d_f$  se mantiene la anchura de los filamentos  
50

individuales sobre el soporte, en contraposición a la anchura del soporte revestido de forma superconductora como filamento.

5 En muestras cortas de conductores puede comprobarse una reducción de las pérdidas, pero en piezas largas de conductores, por ejemplo en arrollamientos de bobinas, el acoplamiento magnético entre los filamentos no se suprime y un campo alternante externo, como el que existe por ejemplo en las bobinas, induce además grandes corrientes de blindaje. Las corrientes de blindaje pueden exceder la densidad de corriente crítica del material superconductor, debido a lo cual el superconductor pasa al área resistiva. Se producen así considerables pérdidas eléctricas que nuevamente deben ser disipadas en forma de calor.

10 En otros conductores multifilamentarios superconductores conocidos, las secciones del filamento se encuentran dispuestas en un ángulo distinto de cero, con respecto a la dirección longitudinal del sustrato. En los conductores multifilamentarios de ese tipo se reducen aún más las pérdidas inductivas de corriente alterna. Conductores multifilamentarios correspondientes se revelan en "IEEE Transactions on Applied Superconductivity", volumen 15, 2005, páginas 2827 a 2830, así como en las solicitudes US 2006/0040830 A1 y WO 01/008169. En los conductores multifilamentarios de este tipo, el ángulo entre los filamentos y la dirección longitudinal del sustrato se ubica dentro de un rango de 30 y 60 grados, por lo general aproximadamente en 45 grados, de manera que en una extensión longitudinal relativamente reducida puede alcanzarse un entrecruzamiento de los filamentos.

15 Es objeto de la presente invención proporcionar un conductor multifilamentario que, en comparación con los conductores multifilamentarios conocidos por el estado del arte, presente una disminución adicional de las pérdidas eléctricas. En particular, es objeto de un conductor multifilamentario acorde a la invención minimizar la inducción de corrientes en el conductor multifilamentario en campos alternantes externos. Otro objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método para producir un conductor multifilamentario que presente pérdidas eléctricas mínimas en el caso de una inducción minimizada de corrientes en el conductor multifilamentario en campos alternantes externos.

20 El objeto mencionado con respecto al conductor multifilamentario se alcanzará con las características de la reivindicación 1 y, con respecto al método para producir el conductor multifilamentario, a través de las características de la reivindicación 11.

25 En las reivindicaciones dependientes respectivamente asociadas se indican variantes ventajosas del conductor multifilamentario acorde a la invención y del método para producir el conductor multifilamentario. Las características de las reivindicaciones subordinadas pueden combinarse con características de una reivindicación dependiente respectivamente asociada o, preferentemente, también con características de varias reivindicaciones dependientes subordinadas.

30 El conductor multifilamentario acorde a la invención presenta un sustrato en forma de cinta y al menos una capa superconductora. Al menos una capa superconductora está conformada sobre al menos una superficie del sustrato en forma de cinta y se encuentra subdividida en filamentos. El sustrato en forma de cinta, paralelamente con respecto a su extensión longitudinal, presenta una primera dirección y al menos un filamento, paralelamente con respecto a su extensión longitudinal, presenta una segunda dirección. La primera dirección del sustrato en forma de cinta conforma un ángulo con la segunda dirección de, al menos, un filamento, donde dicho ángulo se ubica entre 1 y 5 grados.

35 Gracias a ello, las pérdidas en aplicaciones de campo alternante y las influencias de defectos locales en conductores de técnica superconductora se reducen de forma efectiva al utilizar conductores multifilamentarios por ejemplo en bobinas, en donde los conductores se encuentran enrollados unos sobre otros. En especial en bobinas con enrollado bifilar se logra disminuir las pérdidas de forma considerable. Las pérdidas  $P_h$  a través de una amplitud del campo alternante  $\Delta B$  vertical con respecto al conductor multifilamentario no dependen de la anchura del conductor, sino de la anchura de los filamentos individuales. La cantidad de pérdidas por histéresis se reduce en el factor  $d_l/b$ . En aplicaciones magnéticas, por ejemplo en la tomografía de resonancia magnética, en espectrómetros de resonancia nuclear y en aceleradores en los que se exige una elevada precisión del campo, los campos defectuosos generados a través de las corrientes de blindaje más reducidas y localizadas sobre la anchura del filamento se reducen considerablemente en cuanto al volumen útil.

40 De manera especialmente ventajosa, un ángulo entre la primera dirección del sustrato en forma de cinta y la segunda dirección de, al menos, un filamento se ubica entre 1 y 5 grados. Al menos un filamento puede estar conformado completamente a lo largo de la segunda dirección, en particular sin un componente longitudinal, paralelamente con respecto a la primera dirección. Los componentes longitudinales a lo largo de la primera dirección aumentan las pérdidas al utilizarse por ejemplo en bobinas con enrollado bifilar.

45 El sustrato en forma de cinta puede presentar una primera superficie sobre un lado anterior y una segunda superficie opuesta sobre un lado posterior, donde tanto sobre la primera, así como también sobre la segunda superficie, se

encuentra conformada una pluralidad de filamentos. Los filamentos de la primera superficie pueden presentar una segunda dirección que no es igual a una tercera dirección, paralelamente con respecto a la dirección longitudinal de los filamentos de la segunda superficie. Gracias a ello puede alcanzarse un efecto de la reducción de pérdidas de forma análoga a la reducción en bobinas con enrollado bifilar.

5 De este modo, en especial en una ejecución con una transposición del conductor ofrece como resultado una conducción de la corriente con pocas pérdidas. Para ello, al menos un filamento del lado anterior se encuentra conectado de forma eléctricamente conductora con al menos un filamento del lado posterior, en particular mediante al menos una capa que está conformada sobre al menos una tercera superficie, sobre una o dos caras laterales del sustrato en forma de cinta. Una longitud de transposición puede ubicarse dentro del rango de 20cm.

10 Un puenteado de puntos defectuosos en la capa superconductora puede tener lugar de forma particularmente efectiva, reduciendo aún más las pérdidas, cuando entre al menos dos filamentos contiguos sobre una superficie se encuentra conformado al menos un puente eléctrico. A través del puente, así como del puenteado, se forma una conexión eléctrica, así como conexiones eléctricas de, al menos, dos filamentos contiguos. Al menos un puente eléctrico puede estar dispuesto centrado en una de las superficies, en particular con una dirección longitudinal del  
15 puente, de forma paralela con respecto a una primera dirección del sustrato en forma de cinta. Un filamento defectuoso con capacidad de corriente local reducida es puenteado eléctricamente mediante el puente y el filamento contiguo.

El conductor multifilamentario puede presentar una pila de capas constituidas por material soporte en forma de cinta, al menos una capa de amortiguación, al menos una capa superconductora, en particular una capa superconductora de alta temperatura (HTS) y/o al menos una capa de estabilización. La capa de amortiguación posibilita una capa superconductora monocristalina con crecimiento epitaxial sobre el material soporte. Una capa HTS posibilita la  
20 utilización del conductor multifilamentario con propiedades superconductoras también en el caso de temperaturas dentro del rango del nitrógeno líquido. La capa de estabilización protege la capa superconductora frente a daños mecánicos y puentea eléctricamente puntos locales en la capa superconductora con una capacidad de corriente reducida, es decir que la estabiliza y la protege de forma mecánica y eléctrica.

El material soporte puede estar compuesto por metal, en particular por acero. Al menos una capa de amortiguación puede comprender al menos un material del grupo constituido por Al, óxido de itrio, IBAD MgO, Homo-epi MgO, LMO o combinaciones, así como aleaciones de esos materiales y/o pilas de capas de esos materiales. Al menos una  
30 capa superconductora puede componerse de YBCO. Al menos un puente puede componerse igualmente de YBCO, en particular de YBCO de, al menos, una capa HTS. Esto permite una conducción eléctrica sin pérdidas también mediante el puente. Al menos una capa de estabilización puede componerse de cobre o de plata o comprender una pila de capas con al menos una capa de cobre y/o al menos una capa de plata. Al menos un puente puede componerse también del material de, al menos, una capa de estabilización o comprender dicho material, lo cual permite una fabricación sencilla del puente.

35 El material soporte puede presentar un grosor dentro del rango de 50 a 100  $\mu\text{m}$  y una anchura dentro del rango de 10 mm. Al menos una capa de amortiguación puede presentar un grosor dentro del rango de 100 nm. Al menos una capa superconductora puede presentar un grosor dentro del rango de 1  $\mu\text{m}$ , y al menos un filamento puede presentar una anchura dentro del rango de 0,5 mm. Al menos una capa de estabilización puede presentar un grosor dentro del rango de 3  $\mu\text{m}$  a 300 $\mu\text{m}$ . Las dimensiones mencionadas son convenientes para una pluralidad de  
40 aplicaciones de un conductor multifilamentario.

Un método acorde a la invención para producir el conductor multifilamentario antes descrito comprende los siguientes pasos,

- dos materiales soporte en forma de cinta son llevados a una conexión mecánica el uno con el otro a través de lados opuestos, y

45 - respectivamente sobre un lado de un material soporte en forma de cinta, el cual se encuentra situado de forma opuesta con respecto al lado de la conexión mecánica, se aplica una capa superconductora, y

- sobre la capa superconductora se aplica una capa de estabilización,

50 - donde la capa de estabilización de un primer material soporte en forma de cinta se encuentra colocado de forma superpuesta con la capa de estabilización de un segundo material soporte en forma de cinta en los bordes de los dos materiales soporte en forma de cinta, de manera que tiene lugar una conexión eléctrica de las capas de estabilización mediante los bordes, y

- las capas superconductoras y las capas de estabilización se subdividen en filamentos.

Los dos materiales soporte en forma de cinta pueden ser llevados a una conexión del uno con el otro, en particular de forma coincidente. A través de este método, con pocos pasos, es posible producir el conductor multifilamentario de forma sencilla y favorable en cuanto a costes.

5 La aplicación de capas puede efectuarse a través de electrólisis, soldadura, evaporación en vacío, pulverización catódica y/o descomposición térmica de compuestos de metal en la fase de vapor. La subdivisión de las capas superconductoras y la subdivisión de las capas de estabilización en filamentos pueden efectuarse mecánicamente o a través de tratamiento con láser y/o corrosión, en especial corrosión o corrosión química por vía húmeda, de surcos que respectivamente atraviesan una capa. La fotolitografía puede utilizarse en especial en tratamientos de ataque. 10 La aplicación de capas, de manera alternativa, puede efectuarse a través del estampado a presión o del contracolado de la cinta del sustrato aún no revestida en la posición de los surcos. En la siguiente separación de capas superconductoras y de estabilización no tiene lugar una aplicación de material, de manera que se conforma la estructura deseada del filamento.

15 Los surcos pueden conformarse en un ángulo de entre 1 y 5 grados entre la primera dirección del sustrato en forma de cinta y la segunda dirección de, al menos, un filamento. Los filamentos pueden estar conectados eléctricamente en los dos materiales soporte en forma de cinta mediante los bordes, de manera que se forman rutas de corriente en forma de espiral.

20 Los dos materiales soporte en forma de cinta del sustrato de doble capa se encuentran separados el uno del otro a través de un estrato intermedio resistente al calor, aislante o a través de un hueco de aire. Esto puede realizarse en particular a través de la soldadura de dos materiales soporte en forma de cinta, a través del plegado de una banda soporte en forma de cinta en dos bandas situadas una sobre la otra, o a través del laminado de un tubo, en particular antes de un paso de laminación de texturizado de los materiales soporte en forma de cinta.

Utilizando el método acorde a la invención para producir el conductor multifilamentario resultan las ventajas antes mencionadas, asociadas al conductor multifilamentario acorde a la invención.

25 A continuación, mediante las figuras se explican en detalle formas de ejecución preferentes de la invención con perfeccionamientos ventajosos conforme a las características de las reivindicaciones dependientes, donde dichas formas de ejecución no deben considerarse como restrictivas.

Las figuras muestran:

30 Figura 1: un conductor multifilamentario en una vista diagonal con filamentos, de forma paralela con respecto al eje del sustrato según el estado del arte, y

Figura 2: la estructura de capas de un filamento de un conductor multifilamentario según el estado del arte, y

Figura 3: un conductor multifilamentario acorde a la invención con filamentos conformados de manera que se extienden de forma diagonal sobre un lado anterior y un lado posterior de un sustrato, en forma de un espiral alrededor de su circunferencia, y

35 Figura 4: un conductor multifilamentario análogo al mostrado en la figura 3, donde entre los filamentos contiguos se encuentran conformados puentes, y

Figura 5: una vista superior del conductor multifilamentario mostrado en la figura 3 con filamentos sobre el lado anterior (limitado por líneas continuas) y sobre el lado posterior (líneas discontinuas), y

Figura 6a: una vista en sección del conductor multifilamentario mostrado en la figura 3 con dos soportes que se encuentran en una conexión directa, y

40 Figura 6b: una vista en sección del conductor multifilamentario mostrado en la figura 3 con un tubo comprimido como sustrato, y

Figura 6c: una vista en sección del conductor multifilamentario mostrado en la figura 3, el cual se compone de una parte plegada como sustrato, con una costura de soldadura en el lado abierto.

45 En la figura 1 se muestra una sección, de forma vertical con respecto al eje longitudinal de un conductor multifilamentario 1, en una vista diagonal desde el frente del conductor multifilamentario 1, según el estado del arte. El conductor multifilamentario 1 presenta un sustrato 2 en forma de cinta, con un lado anterior 9 y un lado posterior 10. Una primera dirección 21 del sustrato 2 en forma de cinta está definida como la dirección longitudinal del sustrato 2 en forma de cinta. De forma paralela con respecto a la primera dirección 21, sobre el lado anterior 21 del sustrato 2

en forma de cinta, se encuentran aplicadas tiras paralelas unas con respecto a otras de una capa de amortiguación 4. Las tiras de la capa de amortiguación 4 están separadas unas de otras y presentan una segunda dirección 22 que corresponde a la dirección longitudinal de las tiras de la capa de amortiguación 4. Sobre las tiras de la capa de amortiguación 4 se encuentra conformada una capa superconductora 3, por ejemplo de material YBCO. Sobre la capa superconductora 3 está conformada una capa delgada de plata (capa Ag) 5a y una capa de cobre (capa Cu) 5b como capa de estabilización y de apoyo 5. Entre las pilas de capas, así como filamentos 20, respectivamente compuestos por la capa de amortiguación 4, la capa superconductora 3 y la capa de estabilización 5, se encuentran conformados surcos 6 para separar los filamentos 20.

Al actuar un campo magnético externo variable en el tiempo (B) 8 sobre el conductor multifilamentario 1 son inducidas corrientes I en la capa de estabilización 5 y/o en la capa superconductora 3. Estas corrientes inducidas I circulan en la mitad de la cantidad de filamentos 20 con una dirección de la corriente 7 y en la otra mitad de la cantidad de filamentos 20 con una dirección de corriente 7' orientada en sentido opuesto. En los extremos del conductor se conectan las rutas de corriente. Las corrientes I exceden por lo general la corriente crítica de los filamentos 20 e impulsan al superconductor hacia el estado resistivo, donde se producen pérdidas óhmicas considerables. Éstas aumentan en un conductor no trenzado según la figura 1, de forma lineal con toda la anchura del conductor b; la subdivisión en filamentos 20 de la anchura  $d_f$  no produce ningún efecto.

En la figura 2 se representa en detalle la estructura en capas de un filamento 20 según el estado del arte. Sobre el lado anterior 9 del sustrato 2 se encuentra aplicada una capa de aluminio (Al) delgada 11 como una tira, donde en la figura 2 puede observarse una vista diagonal de una representación en sección, longitudinalmente con respecto a la tira. Sobre la capa Al 11 se encuentra una capa de óxido de itrio 12. Sobre esta última se encuentra aislada una capa IBAD de óxido de magnesio (MgO) 13 y una capa epitaxial Homo-epi MgO 14. Sobre la capa epitaxial Homo-epi MgO 14 se encuentra conformada una capa epitaxial LMO 15. Las mencionadas capas 11 a 15 forman en conjunto la capa de amortiguación 4 y actúan de modo eléctricamente aislante con respecto al sustrato 2. Dichas capas sirven como soporte dispuesto de forma monocristalina, conduciendo a un crecimiento monocristalino de la capa superconductora 3, por ejemplo de YBCO, sobre el sustrato 2, por encima de la capa de amortiguación 3.

Sobre la capa superconductora 3 se encuentra conformada una capa de plata (Ag) 5a y una capa de cobre (Cu) 5b. Estas dos capas conforman la capa de estabilización 5 que protege la capa superconductora 3 frente a daños mecánicos y puentea eléctricamente puntos defectuosos en el material superconductor monocristalino.

Sobre el lado posterior 10 del sustrato 2 puede estar conformada otra capa de cobre adicional como segunda capa de estabilización 5'.

El sustrato 2 del conductor multifilamentario 1 de las figuras 1 y 2 se compone de la aleación Hastelloy o de acero, posee un grosor de  $50\mu\text{m}$  y presenta una anchura de 10mm. El filamento 20 representado en la figura 2 presenta una capa de amortiguación 3 con un grosor de 100nm y posee una anchura de 0,5 mm. La capa superconductora 3 presenta un grosor de  $1\mu\text{m}$  y la capa de estabilización 5 sobre el lado anterior del sustrato 22 está diseñada con un grosor de  $23\mu\text{m}$ , con una capa de Cu con un grosor de  $20\mu\text{m}$ . La capa de estabilización 5' sobre el lado posterior 10 del sustrato 2 de cobre presenta un grosor de  $20\mu\text{m}$ .

En la figura 3 se representa en una vista diagonal desde arriba un conductor multifilamentario 1 acorde a la invención. El sustrato 2 del conductor multifilamentario 1 se compone de la aleación Hastelloy o de acero, posee un grosor de  $50\mu\text{m}$  y presenta una anchura de 10 mm. En este ejemplo de ejecución los filamentos 20, 20' se encuentran dispuestos sobre el sustrato 2 con una segunda dirección 22 que representa la dirección longitudinal de los filamentos 20, donde dicha dirección, junto con la primera dirección longitudinal 21 del sustrato 2, forma un ángulo de entre 1 y 5 grados. Los filamentos 20, 20' superconductores están dispuestos respectivamente sobre una superficie de un primer y un segundo soporte 16 y 17. Los dos soportes 16 y 17 se encuentran uno con el otro en una conexión mecánica sobre sus lados posteriores que se sitúan enfrentados a las superficies con filamentos 20, 20', donde los lados posteriores que se tocan se denominarán a continuación como el lado de la conexión mecánica 18. Los dos soportes 16 y 17 y la capa intermedia 29 forman en conjunto el sustrato 2 en forma de cinta del conductor multifilamentario 1 acorde a la invención.

Entre los filamentos 20, 20', sobre una superficie del sustrato 2, se encuentran conformados respectivamente de forma continua surcos 6, de manera que las capas superconductoras 3 de dos filamentos 20, 20' continuos respectivamente están separadas de forma eléctrica una de otra. Los filamentos 20 sobre el primer soporte 16 están dispuestos respectivamente de manera que se sitúan uno sobre otro de forma coincidente en el borde 19 del soporte 16 con los filamentos 20' del segundo soporte 17 en el borde 19 del soporte 16, 17. Durante la separación o conformación de la capa de estabilización 5 sobre los soportes 16 y 17 el material de la capa de estabilización 5 también se separa en el borde 19. Gracias a ello, mediante ese material, los filamentos 20 del soporte 16 se conectan eléctricamente con los filamentos 20' del soporte 17. Al constituirse los surcos 6 los mismos se conforman de forma completamente continua, igualmente a través del material de la capa de estabilización 5 en el borde 19, de manera que sólo se conectan eléctricamente los filamentos 20 y 20' que están situados unos sobre otros en el borde 19.

Los grosores de las capas, así como las anchuras del sustrato 2 y de los filamentos 20, 20', corresponden a los grosores y anchuras descritos para los conductores multifilamentarios 1 de las figuras 1 y 2.

El ángulo de los filamentos 20 sobre el lado anterior 9 presenta el valor opuesto del ángulo de los filamentos 20' sobre el lado posterior 10. El valor del ángulo se ubica dentro del rango de 1 a 5 grados, así como de -1 a -5 grados. Sobre los lados anterior y posterior 9, 10 están formados filamentos superconductores 20, 20' con una longitud b limitada, los cuales terminan en los bordes 19 del sustrato 2 en forma de cinta. Sobre los filamentos superconductores 20, 20' se encuentra aplicada una capa de estabilización 5, 5' de material conductor convencional, por ejemplo de cobre, la cual se conecta eléctricamente con la capa superconductora 3 de los filamentos 20, 20' y puede puentear la corriente en un punto defectuoso conductor convencional del superconductor. En los bordes 19 del sustrato 2 en forma de cinta la capa de estabilización 5, 5' se encuentra diseñada de modo que los filamentos 20, 20' de los lados anterior y posterior 9, 10 están conectados eléctricamente mediante una capa conductora convencional.

De este modo, alrededor del sustrato 2 en forma de cinta se forman una o varias rutas de corriente en forma de espiral que son superconductoras hasta las áreas cortas conductoras de forma convencional en los bordes 19 del sustrato 2 en forma de cinta. Con ello, conforme a la invención, se produce un superconductor de capa delgada con un "twist" conocido por la tecnología clásica de superconductores, en forma de filamentos superconductores paralelos, trenzados, el cual presenta menores pérdidas en las aplicaciones de campos alternantes.

En la figura 4 se representa un ejemplo de ejecución alternativo del conductor multifilamentario 1 acorde a la invención. Este conductor multifilamentario 1 es análogo al conductor multifilamentario 1 representado en la figura 3, a excepción de la conformación adicional de puentes 23 entre filamentos 20, 20' contiguos. En cuanto a la estructura de las capas, los puentes 23 están constituidos igual que los filamentos 20, 20' de las figuras 1 a 3, se componen sólo de la capa de estabilización 5 o de la capa de estabilización 5 y de la capa superconductora 3. Dichos puentes están diseñados de forma eléctricamente conductora y pueden puentear puntos defectuosos en la capa superconductora 3 de un filamento 20, 20' mediante la capa superconductora 3 del filamento 20, 20' contiguo. En la figura 4, los puentes 23, a modo de un elemento de unión, están dispuestos centrados sobre la superficie del sustrato 2, a lo largo de su primera dirección 21. De manera alternativa, los puentes 23 pueden disponerse también en el borde 19 o próximos a dicho borde. También pueden disponerse no como un elemento de unión continuo, sino de forma alternada o irregular sobre la superficie, respectivamente entre dos filamentos 20, 20' contiguos. En el ejemplo de ejecución que se representa en la figura 4, la anchura a de los puentes 23 se ubica dentro del rango de  $1/20$  de la longitud b de un filamento 20 ó 20' sobre un lado del sustrato 2. En función del material y de la capacidad de corriente exigida, la anchura de los puentes 23 puede también adoptar otros valores.

En los conductores multifilamentarios 1 es mayor la probabilidad de que un punto defectuoso local en un filamento 20 ó 20' reduzca la capacidad de corriente, con una longitud mayor y una anchura menor. De este modo, en bobinados con una longitud mayor del conductor multifilamentario 1, la capacidad de corriente de todo el conductor multifilamentario 1 con filamentos 20 ó 20' aislados unos de otros puede perjudicarse de forma considerable. A través de la disposición de puentes 23 entre los filamentos 20 ó 20' puede tener lugar una redistribución de la corriente desde un filamento 20 ó 20' defectuoso hacia filamentos 20 ó 20' contiguos. Siempre que a lo largo de los filamentos 20 ó 20' la distancia media entre los puntos defectuosos sea considerablemente mayor que la posición de transposición L, la corriente total encuentra rutas de corriente lo suficientemente intactas, y la corriente total crítica sólo se reduce también escasamente en conductores multifilamentarios 1 largos.

En la figura 5 se muestra una vista superior de un conductor multifilamentario 1 correspondiente a la forma de ejecución representada en la figura 3. Puede observarse que la segunda dirección 22 de los filamentos 20 sobre el primer soporte 16 (líneas continuas como delimitación en la anchura de los filamentos 20 en la figura 5) se encuentra dispuesta en un ángulo con respecto a una tercera dirección 26 de la extensión longitudinal de los filamentos 20' sobre el segundo soporte 17 (líneas discontinuas como delimitación en la anchura de los filamentos 20' en la figura 5). De este modo, los filamentos 20 y 20' conforman un ángulo sobre el soporte 16 y 17. El ángulo se ubica dentro del rango de pocos grados.

Mediante la conexión eléctrica en el borde 19, los filamentos 20, 20' sobre el primer soporte 16 y el segundo soporte 17 conforman un conductor multifilamentario 1 trenzado, así como en una transposición. Los filamentos 20, 20' circulan en el conductor a modo de un espiral. Para las pérdidas  $P_h$  a través de una amplitud de cambio alternante  $\Delta B$  vertical con respecto al conductor multifilamentario 1 ya no es determinante la anchura del conductor b, tal como sucede en el caso de un conductor sin filamentos 20, 20', sino la anchura  $d_f$  de los filamentos individuales 20, 20'. La cantidad de pérdidas por histéresis se reduce en el factor  $d_f/b$ . A través de la transposición de los filamentos 20, 20', también las pérdidas a través de corrientes de blindaje que son inducidas entre los filamentos 20, 20', son menores o iguales a cero, en el caso de que la capa de amortiguación 4 se encuentre lo suficientemente aislada con respecto al soporte 16, 17. El flujo magnético a través de la superficie entre dos filamentos paralelos 20 ó 20' cualquiera, respectivamente suma cero después de circular una longitud de transposición L. Las tensiones inducidas en medio y, con ello, las corrientes parásitas que generan pérdidas, se reducen así de forma efectiva independientemente de la longitud total del conductor multifilamentario 1.

En la figura 5, como una línea de líneas y puntos, se ilustra a modo de ejemplo una superficie A que es encerrada por dos filamentos 20 cualquiera en el lado anterior 9 ó 20' en el lado posterior 10. La superficie A, en un componente del campo B vertical con respecto a la superficie A, es atravesada por un flujo magnético BxA. Sobre cada uno de los dos puntos de cruce 27, 28 de los filamentos 20, 20' del lado anterior 9 y del lado posterior 10 del sustrato se aplica una tensión inducida  $U = \frac{1}{2} A \, dB/dt$ . En el centro del conductor ésta encuentra su punto más elevado y en el borde es igual a cero. Una capa 29 eléctricamente aislante acorde a la invención entre el primer y el segundo soporte 16 y 17 evita corrientes inducidas, de forma vertical a través del sustrato 2 delgado entre los filamentos 20 y 20'. Esas corrientes se superpondrían a la corriente de transporte en los filamentos 20, 20' y los filamentos 20, 20' pasarían a un área resistiva, afectado por pérdidas, así como generarían adicionalmente pérdidas óhmicas en el sustrato 2. Mediante la capa 29 eléctricamente aislante o capa intermedia entre el primer soporte 16 y el segundo soporte 17 se impide un acoplamiento magnético sobre el sustrato 2.

En aplicaciones magnéticas, en las que se exige una elevada precisión del campo, por ejemplo como sucede en la tomografía de resonancia nuclear, en aceleradores y en espectrómetros de resonancia nuclear, los campos defectuosos generados a través de las corrientes de blindaje más reducidas y localizadas sobre la anchura del filamento se reducen considerablemente en cuanto al volumen útil. De este modo, el conductor multifilamentario 1 acorde a la invención puede utilizarse también en aplicaciones críticas de corriente continua.

En el caso de contactos eléctricos conductores convencionales entre los filamentos 20 y 20' sobre los bordes 19 existe una resistencia óhmica  $R_n$  que aproximadamente asciende a

$$R_n = \rho_n \pi (d_n + d_s) / (d_n L_n)$$

en donde  $\rho_n$  es la resistencia eléctrica específica,  $d_n$ ,  $d_s$  son los grosores de la capa de metal normal y del soporte 16, 17,  $L_n = d_f L / 2 b$  es la longitud de un puente 23 en la primera dirección 21 y  $d_f$  es la anchura del filamento. Dos puentes 23 por longitud del trenzado L suman en cada filamento 20, 20' una resistencia media por longitud de

$$\langle R_n \rangle / l = \rho_n \pi (d_n + d_s) 2 b / (d_n d_f L^2).$$

Con una longitud de transposición L mayor esa resistencia puede ser muy reducida. De este modo, por ejemplo para un conductor multifilamentario 1 donde  $b = 10\text{mm}$  de ancho,  $0,3\text{mm}$  es el grosor total,  $I_c = 300\text{A}$ , 15 filamentos 20, 20' con la anchura  $d_f = 0,5\text{mm}$ , una densidad de corriente crítica efectiva en el conductor multifilamentario 1 de  $j_c = 100\text{A/mm}^2$ , una longitud de transposición o del trenzado de  $L = 20\text{cm}$ ,  $\rho_n = 2 \times 10^{-9} \, \Omega\text{m}$  en cobre a  $77\text{K}$ , y un grosor de la capa de cobre 5 y el sustrato 2 de  $d_n = d_s = 0,1\text{mm}$ , la resistencia óhmica media de un filamento 20, 20' a través de un puente de cobre 23 se da a través de

$$\langle R_n \rangle / l = 12,5 \, \mu\text{Ohm/m}$$

En el caso de  $I = I_c/15 = 20\text{A}$  en el filamento 20, 20' la caída de tensión es de  $250\mu\text{V/m}$ , así como de  $2,5 \, \mu\text{V/cm}$ . Esto es dentro del rango de la caída de tensión de  $1\mu\text{V/cm}$ , donde generalmente la corriente crítica se define en técnicas superconductoras.

Las pérdidas adicionales aumentan de forma cuadrática con la corriente. En el caso de  $I_c = 300\text{A}$  esto corresponde a  $75\text{mW}$  por metro de conductor multifilamentario 1 ó a  $250 \text{ mW}$  por kilo-amperímetro. En comparación con soluciones convencionales, un conductor multifilamentario 1 según la invención con material HTS implica un ahorro energético del 90% comparado con conductores óhmicos de cobre. Las pérdidas de magnetización  $P_h$  en el material superconductor, del modo antes descrito, pueden reducirse a través de anchuras del filamento  $d_f$  reducidas. De este modo, con el conductor multifilamentario 1 acorde a la invención pueden realizarse de forma económica aplicaciones de campos alternantes a 50/60 hercios en cables superconductores, transformadores superconductores, máquinas eléctricas con superconductores y otras aplicaciones. Otra ventaja en comparación con los conductores de cobre tradicionales reside en el hecho de que sean posibles densidades de corriente más elevadas en uno a dos órdenes de magnitud.

En las figuras 6a a 6c se muestran representaciones en sección del conductor multifilamentario 1 representado en la figura 5 con diferentes formas de ejecución de la conexión 18 mediante al menos una capa intermedia 29 del primer y el segundo soporte 16 y 17. Los filamentos 20, 20' se encuentran estructurados del mismo modo que los filamentos 20, 20' antes descritos, en base a una pila de capas formada por la capa de amortiguación 4, la capa superconductora 3 y la capa de estabilización 5. Entre los filamentos 20, 20' contiguos se encuentran conformados



respectivamente surcos 6. Los filamentos 20, 20' sobre el lado anterior 9 y posterior 10 del sustrato 2 se encuentran conectados eléctricamente el uno con el otro mediante el borde 19, a través de la capa de estabilización 5.

5 En la figura 6a, el primer soporte 16 y el segundo soporte 17 se encuentran conectados respectivamente el uno con el otro de forma plana y eléctricamente aislante, mediante su lado posterior. La conexión puede tener lugar por ejemplo adhiriendo uno sobre otro los lados posteriores. Entre los soportes 16 y 17 puede disponerse de forma adicional una capa termoaislante.

10 En la figura 6b los soportes 16 y 17 están diseñados de manera que es comprimido un tubo 24 de material del sustrato 2. En el interior del tubo puede mantenerse un hueco de aire delgado aislante que puede utilizarse también para una refrigeración. De este modo, a través de esa abertura puede introducirse por ejemplo nitrógeno líquido, refrigerando adicionalmente el conductor multifilamentario 1 desde el interior.

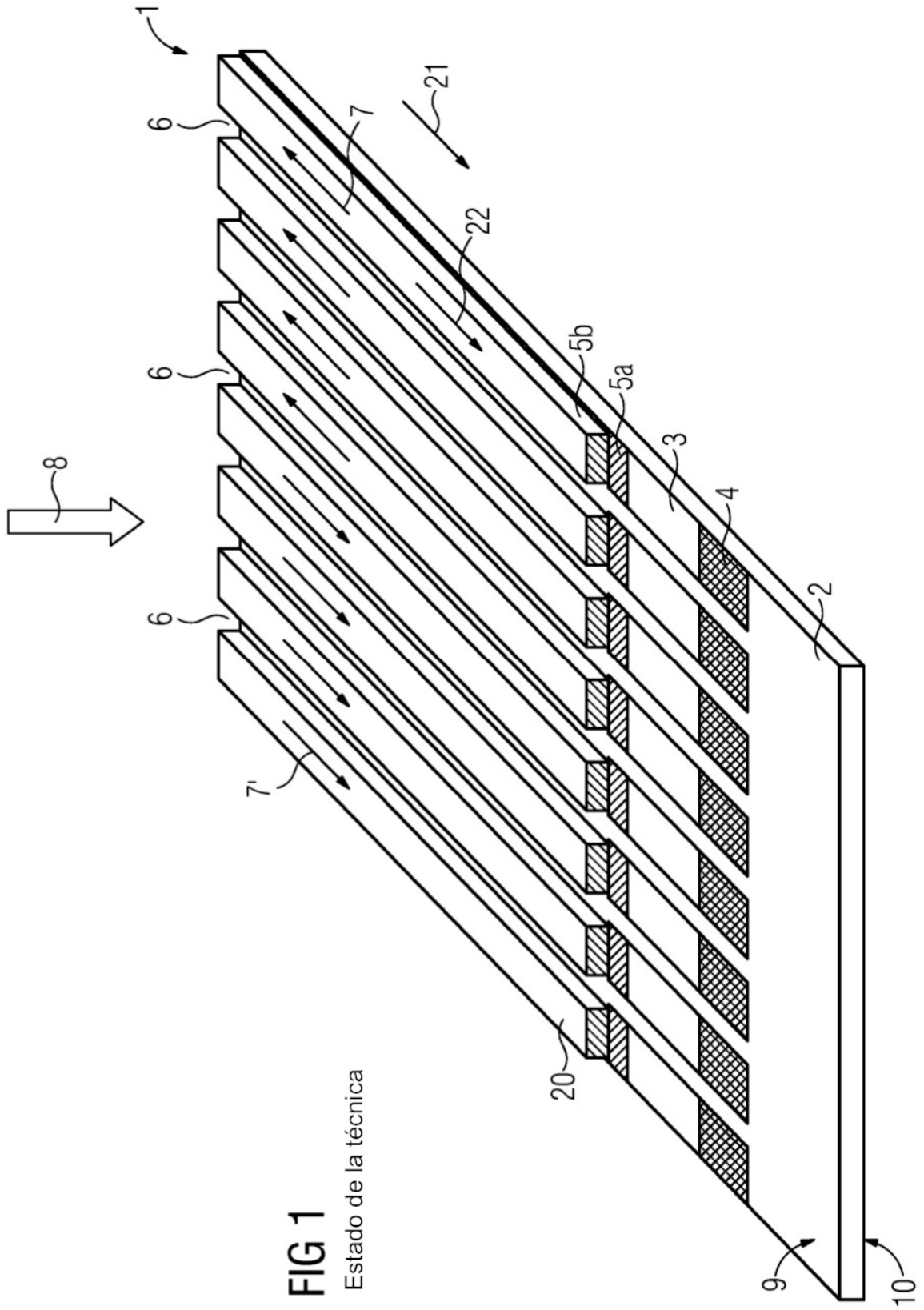
15 En la figura 6c, el primer y el segundo soporte 16 y 17 están conformados a través del plegado de un soporte ancho, con una anchura del soporte ancho igual al doble de la anchura de un soporte 16, 17, donde la línea de pliegue en el centro del soporte ancho se extiende a lo largo de su eje longitudinal. La línea de pliegue forma un borde 19 del sustrato 2 y, a lo largo del borde 19 opuesto del sustrato 2, una costura de soldadura o de encolado 25 puede unir el uno con el otro de forma mecánicamente estable el primer y el segundo soporte 16 y 17. Al separar la capa de estabilización 5 y conformar los surcos 6, los filamentos 20 del primer y del segundo soporte 16 y 17 se conectan respectivamente mediante los bordes 19, donde al conformarse los surcos 6 también en el borde 19 los filamentos 20 contiguos de un soporte 16 ó 17 respectivamente son separados el uno del otro de forma eléctrica en el borde 19. Una combinación de los ejemplos de ejecución de las figuras 6a a 6c con el ejemplo de ejecución de la figura 4, mediante los puentes 23, da como resultado una conexión eléctrica de filamentos 20 sobre un soporte 16 ó 17.

## REIVINDICACIONES

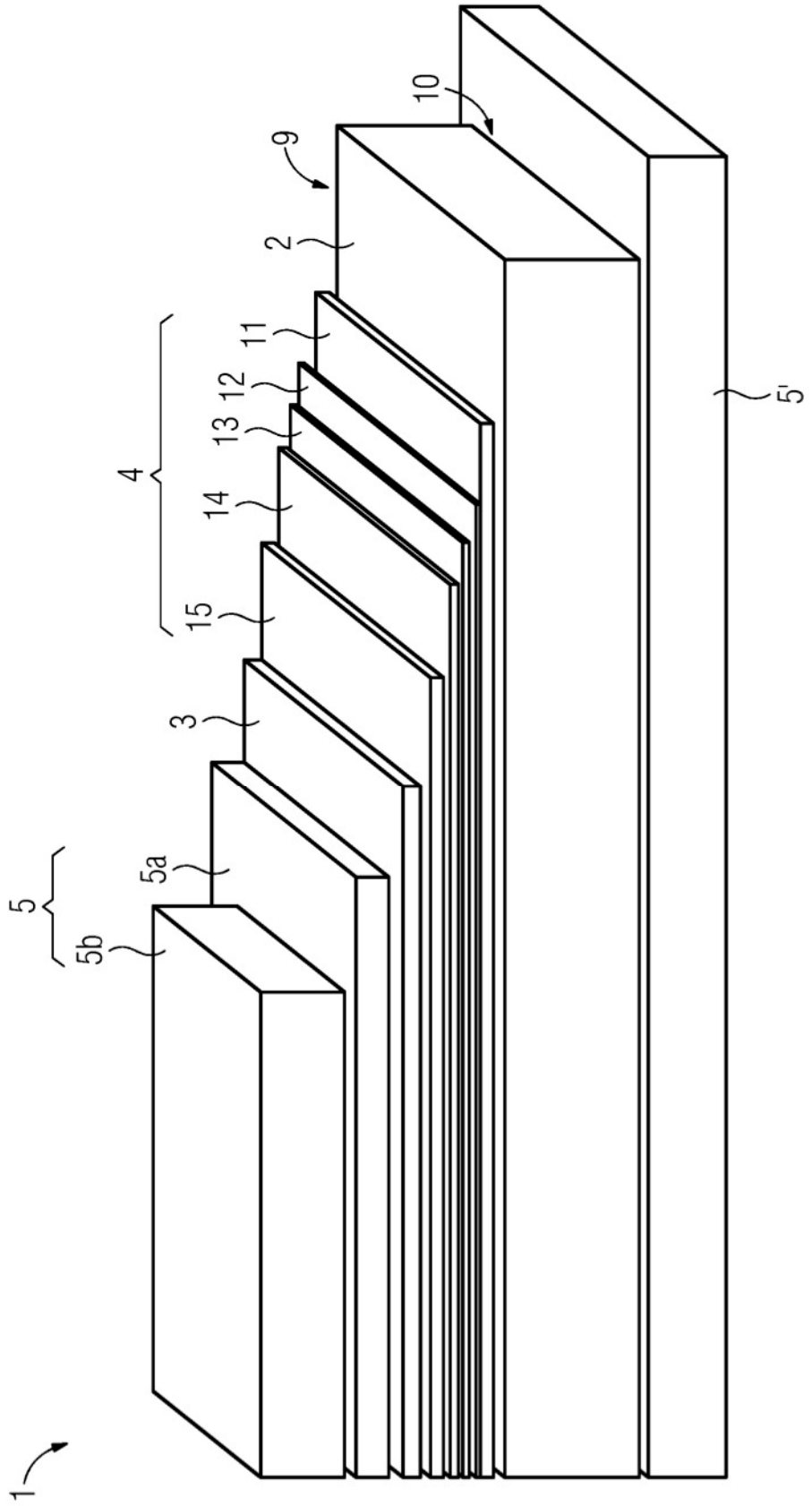
- 5 1. Conductor multifilamentario (1) con un sustrato (2) en forma de cinta y con al menos una capa superconductora (3), donde al menos una capa superconductora (3) está conformada en, al menos, una superficie del sustrato (2) en forma de cinta y se encuentra subdividida en filamentos (20, 20'), y donde el sustrato (2) en forma de cinta presenta una primera dirección (21) paralelamente con respecto a su extensión longitudinal y al menos un filamento (20, 20') presenta una segunda dirección (22) paralelamente con respecto a su extensión longitudinal, caracterizado porque la primera dirección (21) del sustrato (2) en forma de cinta conforma un ángulo con la segunda dirección (22) de, al menos, un filamento (20, 20'), caracterizado porque dicho ángulo se ubica entre 1 y 5 grados.
- 10 2. Conductor multifilamentario (1) según la reivindicación 1, caracterizado porque al menos un filamento (20, 20') se encuentra conformado completamente a lo largo de la segunda dirección (22), en especial sin un componente longitudinal de forma paralela con respecto a la primera dirección (21).
- 15 3. Conductor multifilamentario (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el sustrato (2) en forma de cinta presenta una primera superficie sobre un lado anterior (9) y una segunda superficie opuesta sobre un lado posterior (10), y tanto sobre la primera, así como también sobre la segunda superficie, se encuentra conformada una pluralidad de filamentos (20, 20'), donde en particular los filamentos (20) de la primera superficie presentan una segunda dirección (22) que no es igual a una tercera dirección (23), paralelamente con respecto a la dirección longitudinal de los filamentos (20') de la segunda superficie.
- 20 4. Conductor multifilamentario (1) según la reivindicación 3, caracterizado porque al menos un filamento (20) del lado anterior (9) se encuentra conectado de forma eléctricamente conductora con al menos un filamento (20') del lado posterior (10), en particular mediante al menos una capa (19) que está conformada sobre al menos una tercera superficie, sobre una o dos caras laterales del sustrato (2) en forma de cinta.
- 25 5. Conductor multifilamentario (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque entre al menos dos filamentos (20, 20') contiguos, sobre una superficie, se encuentra conformado al menos un puente eléctrico (23) a través del que se forma una conexión eléctrica de al menos dos filamentos contiguos (20, 20').
- 30 6. Conductor multifilamentario (1) según la reivindicación 5, caracterizado porque al menos un puente eléctrico (23) está dispuesto centrado en una de las superficies, en particular con una dirección longitudinal del puente (23), de forma paralela con respecto a una primera dirección (21) del sustrato (2) en forma de cinta.
- 35 7. Conductor multifilamentario (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque el conductor multifilamentario (1) presenta una pila de capas constituidas por material soporte (16, 17) en forma de cinta, al menos una capa de amortiguación (4), al menos una capa superconductora (3), en particular una capa superconductora de alta temperatura (HTS) y/o al menos una capa de estabilización (5).
- 40 8. Conductor multifilamentario (1) según la reivindicación 7, caracterizado porque el material soporte (16,17) se compone de un metal, en especial de acero y/o al menos una capa de amortiguación (4) comprende al menos un material del grupo constituido por Al (11), óxido de itrio (12), IBAD MgO (13), Homo-epi MgO (14), LMO (15), o combinaciones y/o pilas de capas de esos materiales, y/o al menos una capa superconductora (3) se compone de YBCO y/o al menos un puente (23) se compone de YBCO de, al menos, una capa HTS, y/o al menos una capa de estabilización (5) se compone de cobre o de plata o comprende una pila de capas con al menos una capa de cobre (5b) y/o al menos una capa de plata (5a), y/o al menos un puente (23) se compone del material de, al menos, una capa de estabilización (5) o comprende dicho material.
- 45 9. Conductor multifilamentario (1) según la reivindicación 7 u 8, caracterizado porque el material soporte (16, 17) presenta un grosor dentro del rango de 50 a 100  $\mu\text{m}$  y una anchura dentro del rango de 10 mm, y/o al menos una capa de amortiguación (4) presenta un grosor dentro del rango de 100 nm y/o al menos una capa superconductora (3) presenta un grosor dentro del rango de 1  $\mu\text{m}$ , y/o al menos un filamento (20, 20') presenta una anchura dentro del rango de 0,5 mm, y/o al menos una capa de estabilización (5) presenta un grosor dentro del rango de 3  $\mu\text{m}$ .
- 50 10. Conductor multifilamentario (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque los filamentos (20, 20') están en una transposición, en especial con una longitud de transposición dentro del rango de 20 cm.
11. Método para producir un conductor multifilamentario (1) según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado porque dos materiales soporte (16, 17) en forma de cinta son llevados a una conexión mecánica el uno con el otro a través de lados opuestos, en particular de forma coincidente, donde respectivamente sobre un lado de un material soporte (16, 17) en forma de cinta, el cual se encuentra situado de forma opuesta con respecto al lado de la conexión mecánica (18), se aplica una capa superconductora (3) y sobre la capa superconductora (3) se aplica una capa de estabilización (5), donde la capa de estabilización (5) de un primer material soporte (16) en forma

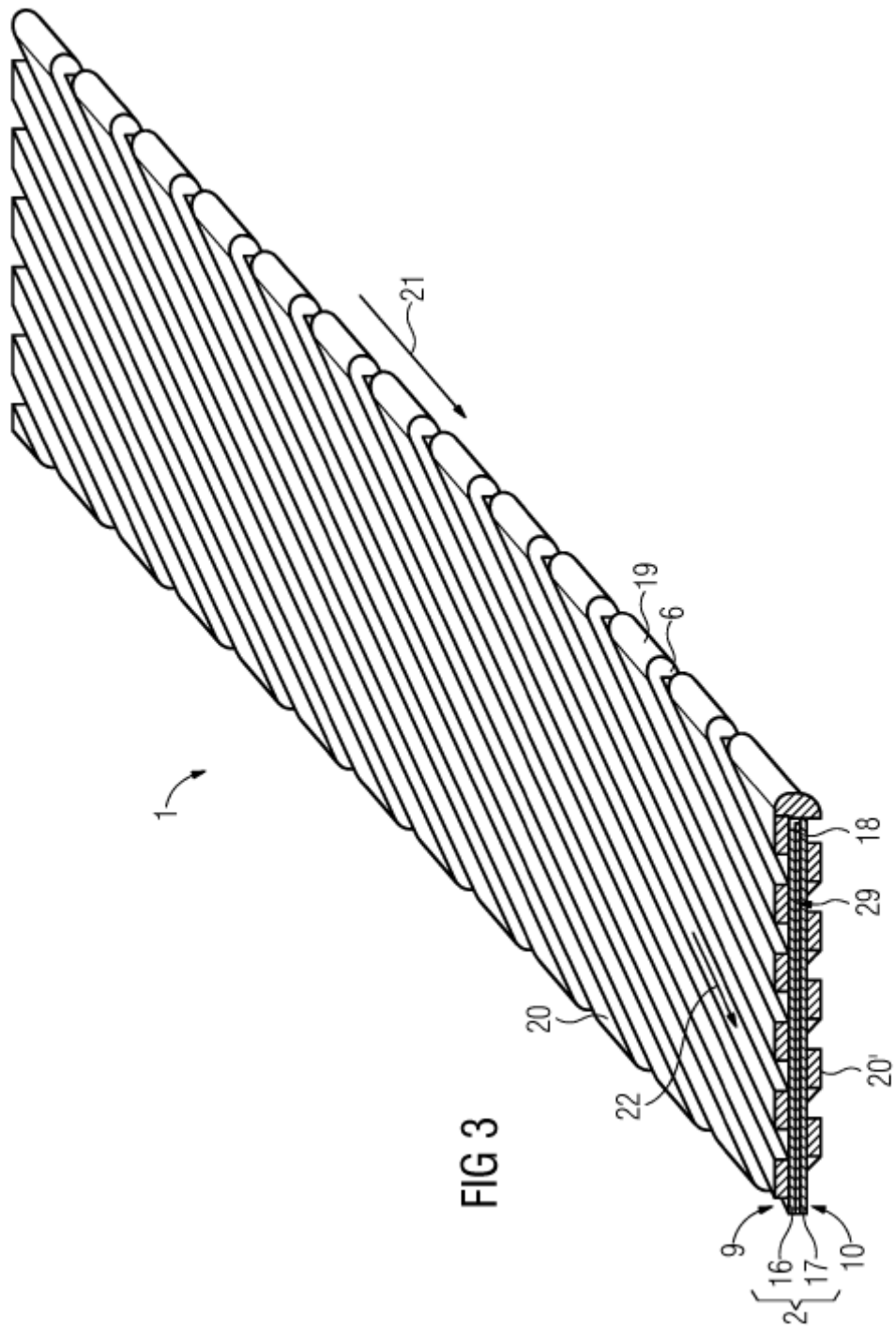
de cinta se encuentra aplicado de forma superpuesta con la capa de estabilización (5') de un segundo material soporte (17) en forma de cinta en los bordes (19) de los dos materiales soporte (16, 17) en forma de cinta, de manera que tiene lugar una conexión eléctrica de las capas de estabilización (5, 5') mediante los bordes (19), y las capas superconductoras (3) y las capas de estabilización (5, 5') se subdividen en filamentos (20, 20').

- 5 12. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque la aplicación de capas se efectúa a través de electrólisis, soldadura, evaporación en vacío, pulverización catódica y/o descomposición térmica de compuestos de metal en la fase de vapor, y/o la subdivisión de las capas superconductoras (3) y la subdivisión de las capas de estabilización (5, 5') en filamentos (20, 20') se efectúa a través de tratamiento con láser y/o corrosión, en especial corrosión química, de surcos (6) que respectivamente atraviesan una capa.
- 10 13. Método según la reivindicación 12, caracterizado porque los surcos (6) están conformados en un ángulo de entre 1 y 5 grados entre la primera dirección (21) del sustrato (2) en forma de cinta y la segunda dirección (22) de, al menos, un filamento (20, 20'), y los filamentos (20, 20') están conectados eléctricamente en los dos materiales soporte (16, 17) en forma de cinta mediante los bordes (19), de manera que se forman rutas de corriente en forma de espiral.
- 15 14. Método según la reivindicación 11, caracterizado porque la aplicación de capas se efectúa a través de estampado a presión, contracolado, soldadura, evaporación en vacío, pulverización catódica y/o descomposición térmica de compuestos de metal en la fase de vapor, donde una estructura del filamento (20, 20') se conforma de forma directa.
- 20 15. Método según una de las reivindicaciones 11 a 14, caracterizado porque los dos materiales soporte (16, 17) en forma de cinta se encuentran separados uno del otro a través de un estrato intermedio (29) resistente al calor, aislante y/o a través de un hueco de aire, en particular a través de la soldadura (25) de dos materiales soporte (16, 17) en forma de cinta, a través del plegado de una banda soporte en forma de cinta en dos bandas (16, 17) situadas una sobre la otra, o a través del laminado de un tubo (24), en particular antes de un paso de laminación de texturizado de los materiales soporte (16, 17) en forma de cinta.



**FIG 2**  
Estado de la técnica





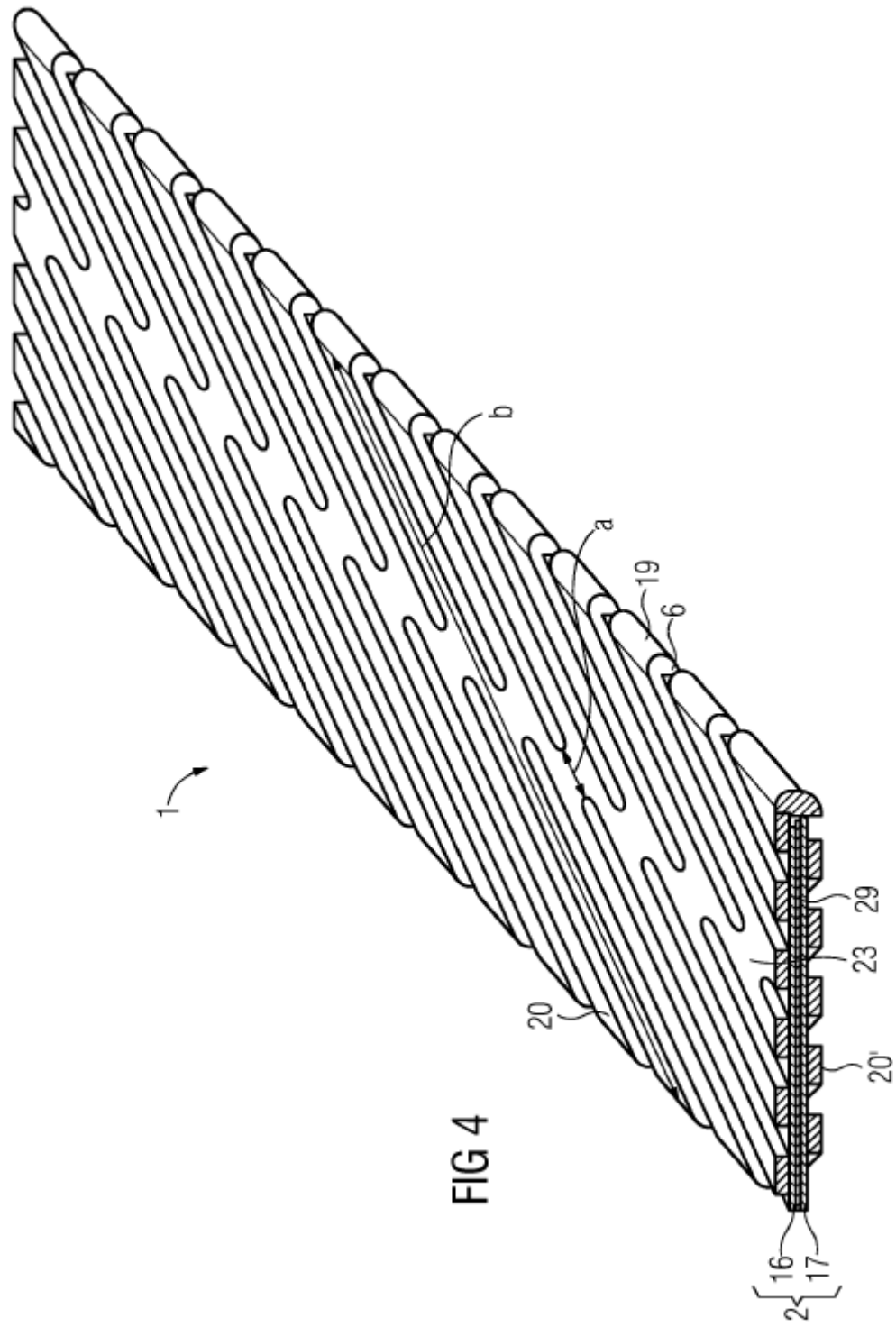


FIG 5

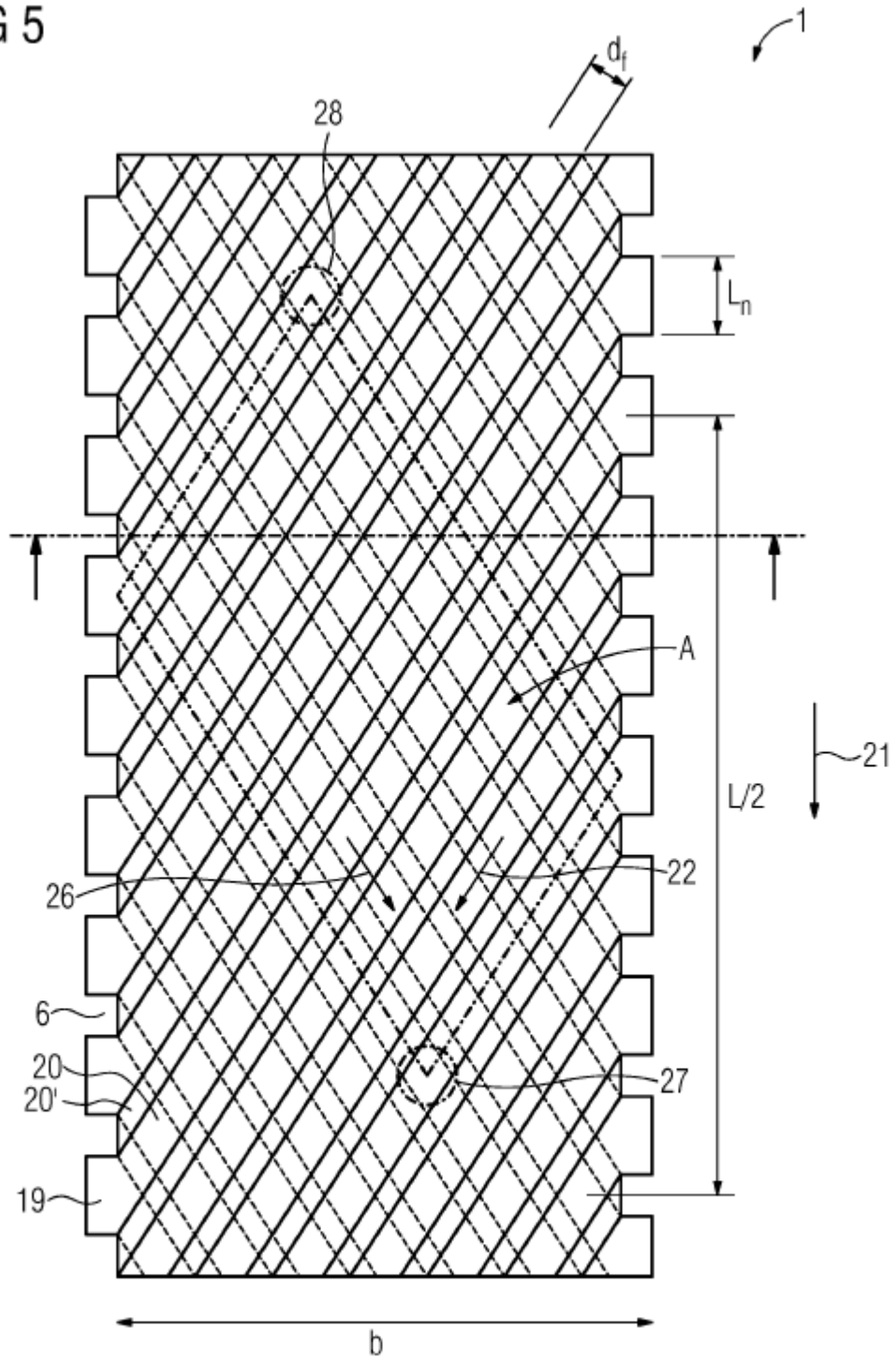




FIG 6a

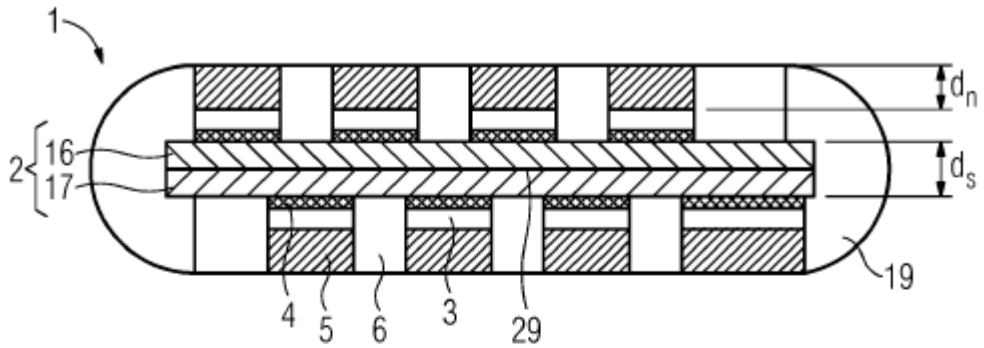


FIG 6b

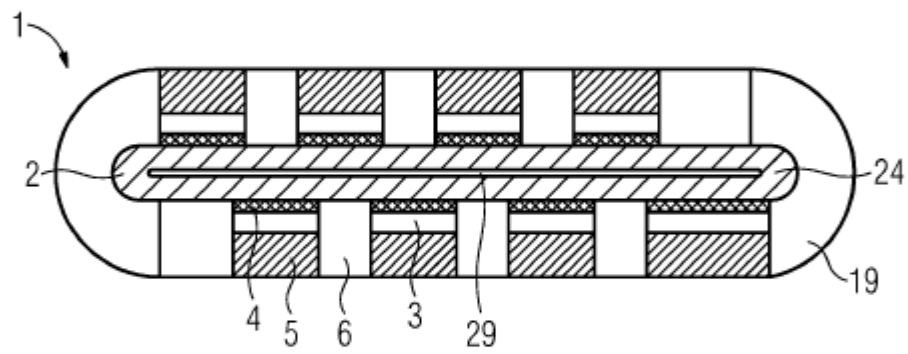


FIG 6c

