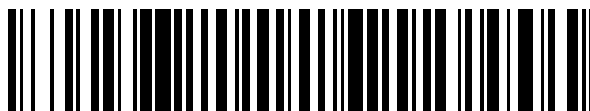


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 296**

51 Int. Cl.:

B63G 9/06 (2006.01)

H01F 6/06 (2006.01)

H01F 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.03.2009 E 09725012 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.11.2014 EP 2257953**

54 Título: **Dispositivo de interfaz y caja de empalmes para una bobina desmagnetizadora HTSC**

30 Prioridad:

28.03.2008 US 57836

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

06.02.2015

73 Titular/es:

**AMERICAN SUPERCONDUCTOR CORPORATION
(100.0%)
64 Jackson Road
Devens, MA 01432, US**

72 Inventor/es:

**KING, CHRISTOPHER, G. y
MAGUIRE, JAMES, F.**

74 Agente/Representante:

PONTI SALES, Adelaida

ES 2 528 296 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

Dispositivo de interfaz y caja de empalmes para una bobina desmagnetizadora HTSC.

5 ANTECEDENTES DE LA INVENCION

1. Campo de la invención

10 [0001] La presente invención se refiere a un dispositivo de interfaz eléctrica para una caja de empalmes de un sistema desmagnetizador.

2. Descripción de la técnica antecedente

15 [0002] Los conductores ligeros que pueden transmitir grandes cantidades de corriente eléctrica sin pérdida significativa tienen numerosas aplicaciones. Por ejemplo, en las aplicaciones de refinación electrolítica tales como los procesos de producción de aluminio, se requieren grandes cantidades de corriente. Otras aplicaciones que requieren conductores ligeros para corriente elevada son los barcos de guerra. Los barcos de guerra, formados típicamente por materiales ferromagnéticos y que, por lo tanto, tienen un campo magnético sustancial, están equipados con complejos sistemas desmagnetizadores que sirven para reducir el campo magnético del barco. Esto
20 permite que los barcos evadan los artefactos explosivos o los dispositivos sensibles al campo magnético tales como minas que son activadas por el gran campo magnético del barco.

25 [0003] En un sistema desmagnetizador, dentro del casco de los barcos está provisto un sistema de arrollamientos electromagnéticos ("bobinas desmagnetizadoras"). Por ejemplo, se instalan arrollamientos de múltiples espiras de hilo que rodean el casco del barco en cada una de tres direcciones ortogonales. Controlando la corriente eléctrica que circula a través de las bobinas desmagnetizadoras, puede controlarse e incluso "cancelarse" el campo magnético generado por el casco del barco. Esto, a su vez, reduce la posibilidad de detección del barco por artefactos explosivos o dispositivos sensibles al campo magnético.

30 [0004] Para adaptarse a los requisitos de corriente elevada en las aplicaciones ejemplares descritas anteriormente, los cables de hilo convencionales, incluyendo las bobinas desmagnetizadoras, está formados por hilos conductores de gran diámetro, fabricados típicamente de hilo de cobre o aluminio. Sin embargo, esto conduce a cables indeseablemente pesados, voluminosos e inflexibles.

35 [0005] Recientemente, se ha propuesto sustituir los cables convencionales de gran diámetro por conductores formados por materiales superconductores a alta temperatura (HTS). Tal como se usa en este documento, un material superconductor a alta temperatura (HTS) se refiere a un material que puede mantener el comportamiento superconductor a temperatura de 20 K y superiores (es decir, la temperatura crítica, $T_c \geq 20$ K). En el documento WO2008/011184 se desvelan haces de hilos HTS. Por consiguiente, los haces de hilos HTS ofrecen mayor
40 flexibilidad, peso reducido, y elevada capacidad de conducción de corriente, presentando así ventajas significativas con respecto a los cables convencionales.

45 [0006] Tanto para los cables convencionales como para los haces de hilos HTS, con el fin de obtener un gran arrollamiento de hilo usando uno o más cables/haces de múltiples conductores, los conductores individuales dentro de los cables o haces de múltiples conductores deben unirse en serie. Es decir, se forma un arrollamiento electromagnético a partir de un cable o haz de múltiples conductores uniendo un primer extremo de un conductor al segundo extremo de otro conductor, para cada conductor hasta que se obtiene un único arrollamiento de múltiples espiras. Tanto para los cables convencionales como para los haces de hilos HTS, esto se logra soldando manualmente cada conexión, un procedimiento que requiere mucho tiempo y es muy laborioso. Tal soldadura es
50 propensa a errores, incluyendo malas uniones soldadas y conexiones incorrectas, debido a las dificultades relacionadas con la realización de este trabajo dentro del casco de un barco. Por otra parte, tales errores son difíciles de localizar y reparar.

RESUMEN

55

[0007] Se proporciona un aparato para unir en serie conductores individuales de un haz de hilos superconductores de múltiples conductores para formar al menos un arrollamiento de múltiples espiras según la presente reivindicación 1, que comprende: un dispositivo de interfaz eléctrica que une en serie conductores de haz de superconductores a alta temperatura (HTS) individuales de un haz de hilos para formar al menos un arrollamiento
60 superconductor de múltiples espiras, comprendiendo el dispositivo de interfaz: un extremo de entrada, un extremo de salida. El aparato está caracterizado porque comprende además: un sustrato, y una pluralidad de conductores de interfaz HTS incrustados en el sustrato de manera que al menos algunos de los conductores de interfaz se extienden desde el extremo de entrada hasta el extremo de salida. Las realizaciones preferidas se desvelan en las reivindicaciones dependientes.

65

[0008] Los modos para llevar a cabo la presente invención se explican más adelante por referencia a una

realización de la presente invención mostrada en los dibujos adjuntos. El objeto anteriormente mencionado, otros objetos, características y ventajas de la presente invención resultarán evidentes a partir de la descripción detallada de la realización de la invención presentada más adelante conjuntamente con los dibujos adjuntos.

5 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0009]

- La fig. 1 es un diagrama esquemático de un sistema desmagnetizador.
 La fig. 2 es un diagrama esquemático de una caja de empalmes.
 10 La fig. 3 es una vista de la sección transversal de la superestructura de tríada de hilos planos HTS.
 La fig. 4 es una vista de la sección transversal de un haz de hilos HTS dentro de un criostato de haz.
 La fig. 5 es un diagrama esquemático de una caja de conexión.
 La fig. 6 es una vista en perspectiva de un sustrato.
 La fig. 7 es una vista en perspectiva parcial de otra realización de un sustrato.
 15 La fig. 8 es una vista en perspectiva parcial de otra realización más de un sustrato.
 La fig. 9 es una vista en perspectiva de sustratos dispuestos en la caja de conexión.
 La fig. 10 es una vista en corte a lo largo de la línea 10-10 de la fig. 9.
 La fig. 11 es una vista en perspectiva de sustratos dispuestos en la caja de conexión.
 La fig. 12 es una vista en corte a lo largo de la línea 12-12 de la fig. 11.
 20 La fig. 13 es una vista de la configuración de conductores de interfaz dentro del sustrato.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 **[0010]** Haciendo referencia a la fig. 1, se proporciona un sistema desmagnetizador 10, el cual incluye uno o más haces de hilos HTS 2 encerrados en un criostato de haz flexible alargado 4 (sólo se muestra una parte del criostato 4). Los extremos opuestos de los haces de hilos HTS 2 son recibidos dentro de una caja de empalmes 14, la cual sirve para consolidar los diversos sistemas necesarios para lograr la desmagnetización. Una unidad de refrigeración 6 proporciona un refrigerante gaseoso o líquido adecuado 12 (por ejemplo, gas helio enfriado o nitrógeno líquido) a un interior de una caja de conexión 16 provista dentro de la caja de empalmes 14, así como al criostato de haz 4 por medio de la caja de conexión 16. Una bomba 8 hace circular el refrigerante 12 desde la unidad de refrigeración 6, a través de la caja de conexión 16 y a través del criostato de haz 4 para mantener los conductores de hilo HTS individuales 3 dentro de los haces de hilos HTS 2 a una temperatura a la cual es posible la superconducción. Además, se suministra alimentación desde una fuente de alimentación 18 al haz de hilos HTS 2 por medio de la caja de conexión 16.

35 **[0011]** En el sistema desmagnetizador 10 como el mostrado, la unidad de refrigeración 6 y la bomba 8 se muestra alojadas por separado de la caja de empalmes 14. Sin embargo, el sistema 10 no está limitado a esta configuración. Por ejemplo, en un diseño más compacto, la unidad de refrigeración 6 y la bomba 8 pueden estar integradas dentro de la caja de empalmes 14.

40 **[0012]** La caja de empalmes 14, mostrada esquemáticamente en la fig. 2, es un criostato e incluye un alojamiento exterior 15 y un alojamiento interior que corresponde a la caja de conexión 16. La caja de conexión (alojamiento interior) 16 es de tamaño sustancialmente menor que el alojamiento exterior 15 de manera que está provisto un espacio intermedio relativamente grande 24 entre el alojamiento exterior 15 y la caja de conexión 16. El espacio intermedio 24 está desocupado de manera que existe un vacío en el espacio intermedio 24. Además, puede proporcionarse una capa de aislamiento (no mostrada) sobre una superficie interior 25 del alojamiento exterior 15, o sobre una superficie exterior 27 del alojamiento interior 16. Se proporciona un suministro de refrigerante 12 al espacio interior 26 del alojamiento interior 16 mediante la unidad de refrigeración 6.

50 **[0013]** Haciendo referencia de nuevo a la fig. 1, la caja de empalmes 14 está configurada para recibir un primer y un segundo extremos opuestos 11, 19 de uno o más haces de hilos HTS 2 (sólo se muestra un haz de hilos). El haz de hilos HTS 2 está formado por múltiples hilos HTS 3. En esta realización particular, el hilo HTS 3 es un hilo "plano", es decir, el hilo HTS 3 está formado para que tenga una sección transversal generalmente rectangular en la cual la anchura del hilo es grande en relación con la profundidad del hilo, aunque los hilos HTS 3 no están limitados a esta forma o proporción. El tamaño del área de la sección transversal del hilo plano HTS 3 está relacionado con la capacidad de conducción de corriente del hilo de manera que un aumento del área de la sección transversal aumenta la capacidad de conducción de corriente del hilo. El área de la sección transversal particular del hilo HTS 3 viene determinada por los requisitos específicos de la aplicación particular. Además, el tipo particular de hilo HTS 3 empleado también viene determinado por los requisitos específicos de la aplicación particular. Ejemplos de tipos de superconductores a alta temperatura que pueden emplearse en el haz de hilos HTS 2 incluyen, pero no están limitados a, superconductores de óxido de cobre tales como óxido de bismuto, estroncio, calcio y cobre (BSCCO), óxido de itrio, bario y cobre (YBCO), y diboruro de magnesio (MgB₂).

65 **[0014]** En algunas realizaciones, los hilos planos individuales 3 pueden ser provistos de un revestimiento 5 de un material compatible antes del apilamiento. El material de revestimiento 5 puede ser un conductor, un semiconductor, o un aislante. Por ejemplo, el material de revestimiento 5 puede ser una película de poliimida Kapton® (marca

registrada de E. I. du Pont de Nemours and Company).

- 5 **[0015]** En algunas realizaciones, varios hilos planos HTS 3 están dispuestos en una configuración apilada 7, aunque el concepto inventivo descrito en este documento no está limitado a una configuración apilada. Tal como se aprecia en la fig. 3 los hilos planos HTS individuales 3 pueden apilarse de manera que los hilos planos HTS adyacentes 3 puedan estar ligeramente desplazados en la dirección de la anchura. En este caso, la pila resultante 7 tiene una forma de la sección transversal que es un paralelogramo tal como un romboide. La pila 7 se mantiene en la configuración deseada por algún medio apropiado, tal como envolviendo la pila 7 con polímero, papel, tira de hoja metálica o similares (no mostrado).
- 10 **[0016]** En la realización ilustrada, cada pila 7 está formada por ocho hilos planos HTS 3. Sin embargo, el concepto inventivo descrito en este documento no está limitado a este número, y cada pila 7 puede estar constituida por cualquier número de hilos planos HTS 3. Además, pueden ensamblarse entre sí varias pilas 7 para formar una superestructura de pilas 9. En la realización ilustrada, se ensamblan tres pilas 7 de hilos planos HTS 3 para formar una superestructura de triada 9 que tiene una sección transversal de forma sustancialmente hexagonal. Sin embargo, puede ensamblarse cualquier número de pilas 7 en cualquier disposición deseada para formar una superestructura de pilas 9. El número de pilas 7 empleadas y la configuración particular de las pilas 7 viene determinado por los requisitos específicos de la aplicación particular.
- 15 **[0017]** La superestructura de pilas 9 se mantiene en la configuración deseada por algún medio apropiado. En algunas realizaciones, la superestructura de pilas 9 se mantiene en la configuración deseada proporcionando a la superestructura de pilas 9 una sobreenvoltura 21 formada por cinta de polímero o una espiral de polímero preformada tal como una envoltura de politetrafluoroetileno (TEFLON). Tal como se usa en este documento, el término haz de hilos HTS 2 se refiere a una superestructura de pilas 9 rodeada por una sobreenvoltura helicoidal 21.
- 20 **[0018]** Cada haz de hilos HTS 2 es alargado, y puede tener una longitud comprendida entre unos pocos metros y cientos de metros. Cada haz de hilos HTS 2 incluye un primer y un segundo extremos de haz de hilos opuestos 11, 19. El primer y el segundo extremos de haz de hilos 11, 19 son recibidos dentro de la caja de empalmes 14 de manera que cada uno del primer y el segundo extremos de haz de hilos 11, 19 se extienden dentro del espacio interior 26 de la caja de conexión 16.
- 25 **[0019]** En los lugares exteriores de la caja de empalmes 14, el haz de hilos HTS 2 está dispuesto dentro del criostato de haz flexible 4 (fig. 4). El criostato de haz 4 es un conjunto de alojamientos tubulares de acero inoxidable alargados, dispuestos coaxialmente 62, 64. El haz de hilos HTS 2 está dispuesto dentro de un espacio interior 61 del alojamiento interior 62, y está sostenido dentro del espacio interior 61 por uno o más miembros de soporte 60. Está provisto un espacio intermedio 66 entre el alojamiento interior 62 y el alojamiento exterior 64. El espacio intermedio 66 está desocupado de manera que existe un vacío en el espacio intermedio 66. La longitud del criostato de haz 4 corresponde generalmente a la longitud del haz de hilos HTS 2, y por lo tanto puede estar comprendida entre unos pocos metros y cientos de metros. El criostato de haz 4 está unido a la caja de empalmes 14 de manera que el espacio interior 61 del alojamiento interior 62 está abierto a, y está en comunicación fluida con, el espacio interior 26 de la caja de conexión 16. Están provistos conectores 67 en extremos opuestos respectivos 63, 65 del criostato de haz 4 que permiten que el refrigerante 12 sea inyectado a presión dentro del espacio interior abierto 61. El refrigerante 12, que fluye entre los extremos opuestos respectivos 63, 65 del criostato de haz 4, sirve para mantener los hilos HTS 3 a una temperatura que permite que los hilos HTS 3, y por lo tanto el haz de hilos HTS 2, exhiban la propiedad de superconductividad. Con el fin de impedir que el refrigerante 12 se desvíe entre la entrada y la salida del criostato de haz 4, puede colocarse un estrangulador de flujo 13 en el haz de hilos HTS 2. En algunas realizaciones, los conectores 67 están configurados para fijar los extremos 63, 65 del criostato de haz 4 al alojamiento exterior 15. En otras realizaciones (no mostradas) los conectores 67 pueden fijar los extremos 63, 65 del criostato de haz 4 a la caja de conexión 16.
- 30 **[0020]** Un dispositivo de interfaz eléctrica 30 está dispuesto en el espacio interior 26 de la caja de conexión 16 (fig. 5). El espacio interior 26 de la caja de conexión 16 (fig. 5). El espacio interior 26 recibe el refrigerante 12 procedente de la unidad de refrigeración 6, y así se mantiene a una temperatura suficientemente baja como para permitir la superconductividad dentro del mismo. El dispositivo de interfaz 30 es una sola entidad que está configurada para recibir cada extremo de cada hilo HTS 3 y conectar de manera superconductora los hilos HTS individuales 3 en serie, por medio de lo cual uno o más tramos del haz de hilos HTS de múltiples conductores 2 se convierten en un solo arrollamiento desmagnetizador de múltiples espiras. En esta disposición, cada espira del arrollamiento de múltiples espiras está constituida por un hilo HTS 3.
- 35 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.
- 40 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.
- 45 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.
- 50 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.
- 55 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.
- 60 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.
- 65 **[0021]** En algunas realizaciones, el dispositivo de interfaz incluye un sustrato 32 en el cual están provistos varios conductores de interfaz 42 (fig. 6). El sustrato 32 puede estar formado por un material aislante convencional del tipo usado en las placas de circuitos impresos. Por ejemplo, el sustrato 32 puede estar formado por una resina de epoxi, tal como FR-4. El sustrato no está limitado a este material, y puede estar formado por otro material aislante que tenga propiedades que se adapten a soportar conductores eléctricos en un uso a largo plazo a, o por debajo de, la temperatura crítica T_c a la que se encuentra el espacio interior 26.

[0022] El sustrato 32 tiene una superficie superior 34, y una superficie inferior opuesta 36. En este documento, las referencias direccionales tales como "superior" e "inferior" se usan para proporcionar una descripción relacional con referencia a una orientación mostrada en las figuras, y no pretenden ser absolutas o limitativas. Sobre la superficie inferior 36 está formada una capa termoconductora 46, y sirve para conducir el calor lejos de los conductores de interfaz 42 dispuestos dentro del sustrato 32. En algunas realizaciones, la capa termoconductora 46 está formada por cobre.

[0023] El sustrato 32 incluye además zonas de fuente de alimentación 48, 49 que permiten la conexión de dos de los conductores de interfaz 42 dentro del dispositivo de interfaz 30 a la fuente de alimentación 18. Tal como se analiza más adelante, cuando los hilos HTS individuales 3 están conectados a los conductores de interfaz respectivos 42, se suministra alimentación al haz de hilos HTS 2 desde la fuente de alimentación 18 por medio de las zonas de fuente de alimentación 48, 49. Las zonas de fuente de alimentación 48, 49 pueden recibir alimentación procedente de la fuente de alimentación 18 por medio de conductores de hilo de cobre convencionales 18a, 18b, los cuales pueden estar conectados a las zonas 48, 49 mediante soldadura u otros medios convencionales. Las zonas de fuente de alimentación 48, 49, al igual que los restantes conductores de interfaz 42, están formados por materiales superconductores, y por lo tanto las zonas 48, 49 están configuradas para proporcionar una zona de transferencia de corriente larga ya que la transferencia de corriente debe producirse a lo largo de una longitud que es proporcional a la diferencia de área de la sección transversal del conductor de fuente de alimentación 18a, 18b y el conductor de interfaz HTS 42.

[0024] En algunas realizaciones, está dispuesto un solo sustrato 32 dentro de la caja de conexión 16. El sustrato 32 puede estar formado para que sea en forma de placa, tal como se muestra en la fig. 6. En otras realizaciones, el sustrato puede estar formado para que proporcione una superficie curvada. Tal superficie curvada puede ser en forma de C, circular, o en forma espiral vista en sección transversal.

[0025] En otras realizaciones, está dispuesto más de un sustrato 32 dentro de la caja de conexión 16 (figs. 9-12), y la conexión eléctrica en serie entre los conductores de interfaz respectivos 42 de los diferentes sustratos 32, 32', 32''...se logra usando puentes de conexión 50 que se extienden entre los conductores de interfaz respectivos 42 (figs. 10, 12).

[0026] En algunas realizaciones, cuando se emplea más de un sustrato 32, las láminas de sustrato 32, 32', 32''...están dispuestas dentro de la caja de conexión 16 en una disposición paralela separada (fig. 9, 10). En otras realizaciones, las láminas de sustrato 32 están dispuestas sustancialmente borde contra borde para formar un polígono vistas en sección (fig. 11, 12).

[0027] Los conductores de interfaz 42 están provistos del sustrato 32, y están formados por material superconductor. El tipo particular de material superconductor empleado para formar los conductores de interfaz 42 viene determinado por los requisitos específicos de la aplicación particular. Ejemplos de tipos de superconductores a alta temperatura que pueden usarse para formar los conductores de interfaz 42 incluyen, pero no están limitados a, superconductores de óxido de cobre tales como óxido de bismuto, estroncio, calcio y cobre (BSCCO), óxido de itrio, bario y cobre (YBCO), y diboruro de magnesio (MgB_2). En algunas realizaciones, los conductores de interfaz 42 estarán formados por el mismo material superconductor que se usa para formar los hilos HTS 3.

[0028] Como se aprecia en la fig. 6, los conductores de interfaz 42 están dispuestos en el sustrato 32 para que se extiendan desde un primer extremo 38 hasta un segundo extremo 40 del sustrato 32. En algunas realizaciones, los conductores de interfaz 42 se depositan sobre la superficie superior 34. En otras realizaciones, los conductores de interfaz 42 se laminan dentro del sustrato, e incluyen zonas de conexión expuestas alargadas (puntos de conexión) 44 que corresponden a cada extremo de cada conductor de interfaz 42.

[0029] Los conductores de interfaz 42 están dispuestos para que se extiendan en paralelo dentro del sustrato 32. Al igual que los hilos planos HTS 3, los conductores de interfaz 42 están formados para que tengan una sección transversal generalmente rectangular en la cual la anchura del conductor de interfaz w_1 es grande en relación con la profundidad del conductor. Los conductores de interfaz 42 están orientados dentro del sustrato 32 de manera que la anchura del conductor sea generalmente paralela a la superficie superior 34 del sustrato 32.

[0030] En algunas realizaciones, la anchura del conductor de interfaz w_1 es sustancialmente igual que la anchura w_2 del hilo HTS 3. En otras realizaciones, con el fin de proporcionar más capacidad de conducción de corriente, el conductor de interfaz 42 puede estar formado de dos conductores de interfaz apilados verticalmente 42a, 42b (fig. 7). Mediante esta disposición, la capacidad de conducción de corriente del conductor de interfaz es mayor que la del hilo HTS 3. Por ejemplo, apilando dos conductores de interfaz 42a, 42b, la capacidad de conducción de corriente del conductor de interfaz 42 es aproximadamente el doble que la capacidad de conducción de corriente del hilo HTS 3. Alternativamente, para lograr una capacidad de conducción de corriente incrementada puede emplearse una disposición en la cual el conductor de interfaz 42 esté provisto en una anchura w_1 que sea mucho mayor que, por ejemplo, dos veces la anchura w_2 del hilo HTS 3 (fig. 8).

[0031] Por otra parte, los conductores de interfaz 42 están dispuestos dentro del sustrato 32 de un modo que une

los extremos respectivos 11, 19 del haz de hilos HTS 2 de manera que los hilos HTS individuales 3 están conectados en serie. Una disposición ejemplar de los conductores de interfaz 42, incluyendo las zonas de fuente de alimentación 48, 49, se muestra esquemáticamente en la fig. 13, en la cual los conductores de interfaz 42 se enumeran de C1 a C13.

5

[0032] Los hilos HTS 3 de uno o más haces de hilos HTS 2 pueden ser recibidos por el dispositivo de interfaz 30. En este ejemplo, los extremos opuestos respectivos de cada hilo HTS 3 están representados alfabéticamente, por lo cual ambos extremos de un primer hilo HTS 3 están marcados como "A", ambos extremos de otro hilo HTS 3 están marcados como "B", etcétera, hasta que cada hilo HTS 3 esté representado de manera única. En este ejemplo, uno o más haces de hilos HTS 2 proporcionan doce hilos HTS 3, representados como A, B, C, D, E, F, G, G, I, J, K y L.

[0033] En el ejemplo ilustrado de la fig. 13, un primer extremo del hilo HTS A está conectado al conductor de interfaz C1 en el primer extremo 38 del sustrato 32. En este caso, el conductor de interfaz C1 corresponde a una zona de fuente de alimentación 48, que corresponde, por ejemplo, a un polo positivo de la fuente de alimentación 18. Igualmente, un primer extremo del hilo HTS B está conectado al conductor de interfaz C2 en el primer extremo 38 del sustrato 32, un primer extremo del hilo HTS C está conectado al conductor de interfaz C3 en el primer extremo 38 del sustrato 32, y así sucesivamente.

[0034] También en el ejemplo ilustrado, un segundo extremo del hilo HTS A está conectado al conductor de interfaz C2 en el segundo extremo 40 del sustrato 32. Por lo tanto, el lugar de conexión del segundo extremo del hilo HTS 3 está desplazado en un conductor de interfaz 42 respecto al lugar de conexión de su primer extremo. Igualmente, un segundo extremo del hilo HTS B está conectado al conductor de interfaz C3 en el segundo extremo 40 del sustrato 32, un segundo extremo del hilo HTS C está conectado al conductor de interfaz C4 en el segundo extremo 40 del sustrato 32 y así sucesivamente, continuando de esta manera hasta que el último hilo HTS L está conectado al conductor de interfaz C13. En este caso, el conductor de interfaz C13 corresponde a una zona de fuente de alimentación 49, que corresponde, por ejemplo, a un polo negativo de la fuente de alimentación 18. Mediante esta disposición, el dispositivo de interfaz 30 está configurado para recibir un primer y un segundo extremos opuestos 11, 19 del haz de hilos HTS 2, y para conectar los hilos HTS 3 desde el primer extremo 11 hasta los hilos HTS respectivos 3 del segundo extremo 19 para formar al menos un arrollamiento superconductor de múltiples espiras.

[0035] En el ejemplo ilustrado de la fig. 13, uno o más haces de hilos HTS 2 proporcionan doce hilos HTS 3, y el dispositivo de interfaz 30 tiene trece conductores de interfaz 42. Se comprende que el dispositivo de interfaz 30 no está limitado en cuanto al número de hilos HTS que pueden ser recibidos. En particular, el dispositivo de interfaz 30 no está limitado a tener trece conductores de interfaz 42, sino que puede estar provisto de más o menos cantidad de conductores de interfaz 42 según requiera la aplicación específica. Por ejemplo, entra perfectamente dentro de la técnica proporcionar uno o más sustratos 32 que tengan conductores de interfaz 42 según sea necesario para adaptarse al número de hilos HTS 3 empleados en una aplicación particular.

[0036] Para una configuración de la caja de empalmes 14 en la cual uno o más haces de hilos HTS 2 están conectados a un solo sustrato 32, y los haces de hilos HTS 2 comprenden n hilos HTS, entonces, con el fin de formar un arrollamiento electromagnético que emplee todos los n hilos HTS 3 del haz de hilos HTS 2, el dispositivo de interfaz 30 debe estar provisto de al menos $n+1$ conductores de interfaz 42 incrustados en el sustrato 32 de manera que al menos $n-1$ conductores de interfaz se extiendan desde el primer extremo 38 hasta el segundo extremo 40. El primer extremo 38 del dispositivo de interfaz 30 está conectado al primer extremo 11 del haz de hilos HTS 2 de manera que el conductor de interfaz n_i -ésimo está unido al conductor del haz de hilos n_i -ésimo, y el segundo extremo del dispositivo de interfaz 40 está conectado al segundo extremo 19 del haz de hilos HTS 2 de manera que el conductor de interfaz n_i -ésimo está unido al conductor del haz de hilos (n_i+1) -ésimo. En esta configuración, un extremo del primer conductor de interfaz (n_1) está configurado para aceptar la entrada de alimentación, y un extremo del conductor de interfaz $(n+1)^{st}$ está configurado para proporcionar la salida de alimentación.

[0037] En el ejemplo ilustrado de la fig. 13, el primer extremo del hilo HTS n -ésimo 3 está conectado a un primer extremo del conductor de interfaz n -ésimo, y el segundo extremo del hilo HTS n -ésimo 3 está conectado al segundo extremo del conductor de interfaz $(n+1)$ -ésimo. Sin embargo, el dispositivo de interfaz 30 no está limitado a esta secuencia de conexiones particular. Alguien con experiencia ordinaria en la materia es capaz de determinar otras secuencias de conexiones en las cuales se obtiene un arrollamiento de múltiples espiras.

[0038] Tal como se describió anteriormente, el refrigerante 12 se dirige a la caja de conexión 16 para mantener el dispositivo de interfaz 30 y los hilos HTS 3 del interior del criostato de haz 4 a una temperatura que permite que los hilos HTS 3 y los conductores de interfaz 42 exhiban la propiedad de superconductividad. En algunas realizaciones, la caja de conexión 16 puede estar configurada para enfocar el flujo de refrigerante 12 directamente al dispositivo de interfaz 30. Esto puede lograrse proporcionando una estructura apropiada tal como una boquilla (no mostrada) o un deflector 17 (fig. 5) en la entrada del refrigerante 12 a la caja de conexión 16, o en un lugar intermedio entre la entrada y el dispositivo de interfaz 30.

[0039] Anteriormente se describe con algún detalle una realización ilustrativa seleccionada de la invención. Debería comprenderse que en este documento se han descrito sólo las estructuras consideradas necesarias para clarificar la presente invención. Se supone que otras estructuras convencionales, y aquellos componentes secundarios y auxiliares del sistema, resultan conocidos y comprendidos por los expertos en la materia. Por otra parte, aunque anteriormente se ha descrito un ejemplo práctico de la presente invención, la presente invención no está limitada al ejemplo práctico descrito anteriormente, sino que pueden llevarse a cabo diversas alteraciones de diseño sin apartarse de la presente invención tal como se expone en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato para unir en serie conductores individuales de un haz de hilos superconductores de múltiples conductores (2) para formar al menos un arrollamiento de múltiples espiras, que comprende:
- 5 un dispositivo de interfaz eléctrica (30) que une en serie conductores de haz de superconductores a alta temperatura (HTS) individuales (3) de un haz de hilos para formar al menos un arrollamiento superconductor de múltiples espiras, comprendiendo el dispositivo de interfaz: un extremo de entrada, un extremo de salida; el aparato **caracterizado porque** comprende además: un sustrato (32), y una pluralidad de conductores de interfaz HTS (42) incrustados en el sustrato (32) de manera que al menos algunos de los conductores de interfaz se extienden desde el extremo de entrada hasta el extremo de salida.
- 10
2. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además:
- 15 al menos un haz de hilos superconductores a alta temperatura (HTS) (2), incluyendo cada haz de hilos HTS múltiples conductores de haz HTS (3), teniendo cada conductor de haz un primer y un segundo extremos de conductor de haz opuestos (11), (19), un alojamiento (16), un dispositivo de interfaz eléctrica (30) dispuesto en el alojamiento, configurado el dispositivo de interfaz para recibir cada extremo de cada conductor de haz de cada haz de hilos HTS,
- 20 en el que el dispositivo de interfaz está configurado para conectar eléctricamente el primer extremo respectivo de los conductores de haz a segundos extremos respectivos de otros conductores de haz para formar al menos un arrollamiento de múltiples espiras.
- 25 3. El aparato de la reivindicación 2, en el que el dispositivo de interfaz (30) está configurado para proporcionar una conexión eléctrica superconductor de los primeros extremos respectivos (11) de los conductores de haz a los segundos extremos respectivos (19) de otros conductores de haz para formar al menos un arrollamiento superconductor de múltiples espiras.
- 30 4. El aparato de la reivindicación 2, en el que el alojamiento (16) define un criostato.
5. El aparato de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de interfaz eléctrica (30) comprende: un sustrato (32), y una pluralidad de conductores de interfaz (42) formados por un material superconductor, dispuestos los conductores de interfaz en el sustrato.
- 35 6. El aparato de la reivindicación 5,
- en el que el sustrato (32) está formado dentro de una lámina (32, 32', 32'') que tiene un primer lado, y un segundo lado opuesto al primer lado,
- 40 en el que la pluralidad de conductores de interfaz (42) se extiende dentro del sustrato (30) de manera que al menos una parte de las zonas de conexión (44) que corresponden a cada extremo de cada conductor de interfaz están expuestas en el primer lado del sustrato; y
- 45 en el que una capa (46) de material termoconductor está provista en el segundo lado del sustrato (32).
7. El aparato de la reivindicación 2, en el que el al menos un haz de hilos (2) comprende un haz de hilos que tiene n conductores, y el dispositivo de interfaz eléctrica (30) comprende:
- 50 un extremo de entrada, un extremo de salida, un sustrato (32); y $n+1$ conductores de interfaz (42) incrustados en el sustrato (32) de manera que al menos $n-1$ conductores de interfaz se extienden desde el extremo de entrada hasta el extremo de salida,
- 55 en el que uno del extremo de entrada y el extremo de salida del dispositivo de interfaz está conectado al primer extremo (11) del haz de hilos de manera que el conductor de interfaz n_i -ésimo está unido al conductor de haz de hilos n_i -ésimo, y el otro del extremo de entrada y el extremo de salida del dispositivo de interfaz (30) está conectado al segundo extremo (19) del haz de hilos de manera que el conductor de interfaz n_i -ésimo está unido al conductor de haz de hilos (n_i+1) -ésimo.
- 60 8. El aparato de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de interfaz eléctrica (30) comprende: una pluralidad de sustratos (32, 32', 32''), incluyendo cada sustrato una pluralidad de conductores de interfaz
- 65

(42) formados por un material superconductor, dispuestos los conductores de interfaz en el sustrato respectivo.

9. El aparato de la reivindicación 1, en el que
5 uno del extremo de entrada y el extremo de salida del dispositivo de interfaz (30) está conectado al primer extremo (11) del haz de hilos de manera que un conductor de interfaz n-ésimo está unido a un conductor de haz n-ésimo, y el otro del extremo de entrada y el extremo de salida del dispositivo de interfaz eléctrica está conectado al segundo
10 extremo (19) del haz de hilos de manera que el conductor de interfaz HTS n-ésimo está unido al conductor de haz (n+1)-ésimo.
10. El aparato de la reivindicación 1,
15 en el que el sustrato (32) está formado dentro de una lámina que tiene un primer lado, y un segundo lado opuesto al primer lado, y en el que la pluralidad de conductores de interfaz HTS (42) se extiende dentro del sustrato de manera que al menos una parte de las zonas de conexión (44) que corresponden a cada extremo de cada conductor de interfaz HTS están
20 expuestas en el primer lado del sustrato.
11. El aparato de la reivindicación 1, que comprende además una capa (46) de material termoconductor provista en un lado del sustrato (32).
- 25 12. El aparato de la reivindicación 1, en el que un conductor de interfaz HTS individual (42) tiene una primera capacidad de conducción de corriente, en el que un conductor de haz HTS individual (3) tiene una segunda capacidad de conducción de corriente, y en el que dicha primera capacidad de conducción de corriente es mayor que dicha segunda capacidad de conducción de
30 corriente.
13. El aparato de la reivindicación 1, en el que el dispositivo de interfaz eléctrica (30) comprende una pluralidad de sustratos.
- 35 14. El aparato de la reivindicación 1, en el que un primer extremo (11) de un conductor de interfaz HTS está configurado para conectar a un conductor de entrada de una power supply, y un segundo extremo (19) del un conductor de interfaz HTS corresponde al extremo de entrada del dispositivo de interfaz, y
40 un primer extremo de otro conductor de interfaz HTS está configurado para conectar a un conductor de salida de una power supply, y un segundo extremo del otro conductor de interfaz HTS corresponde al extremo de salida del dispositivo de interfaz.

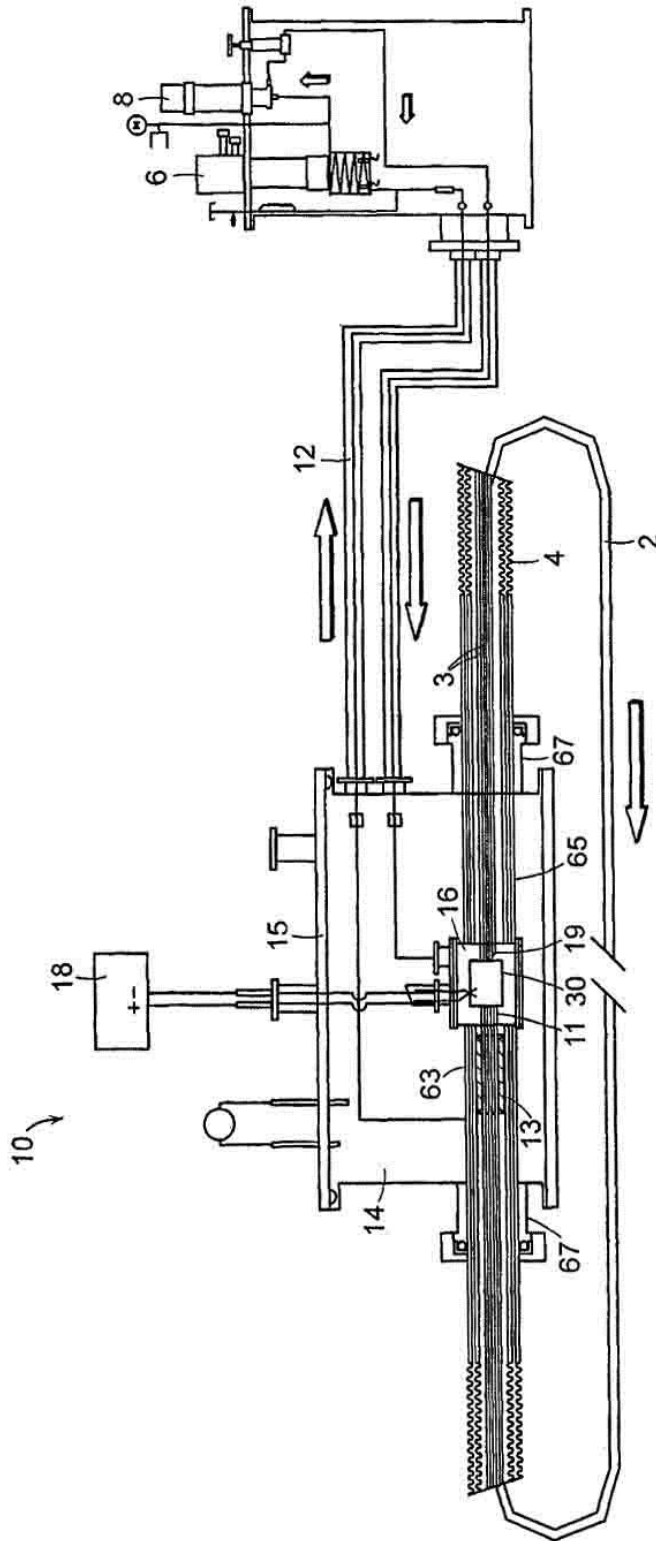


FIG. 1

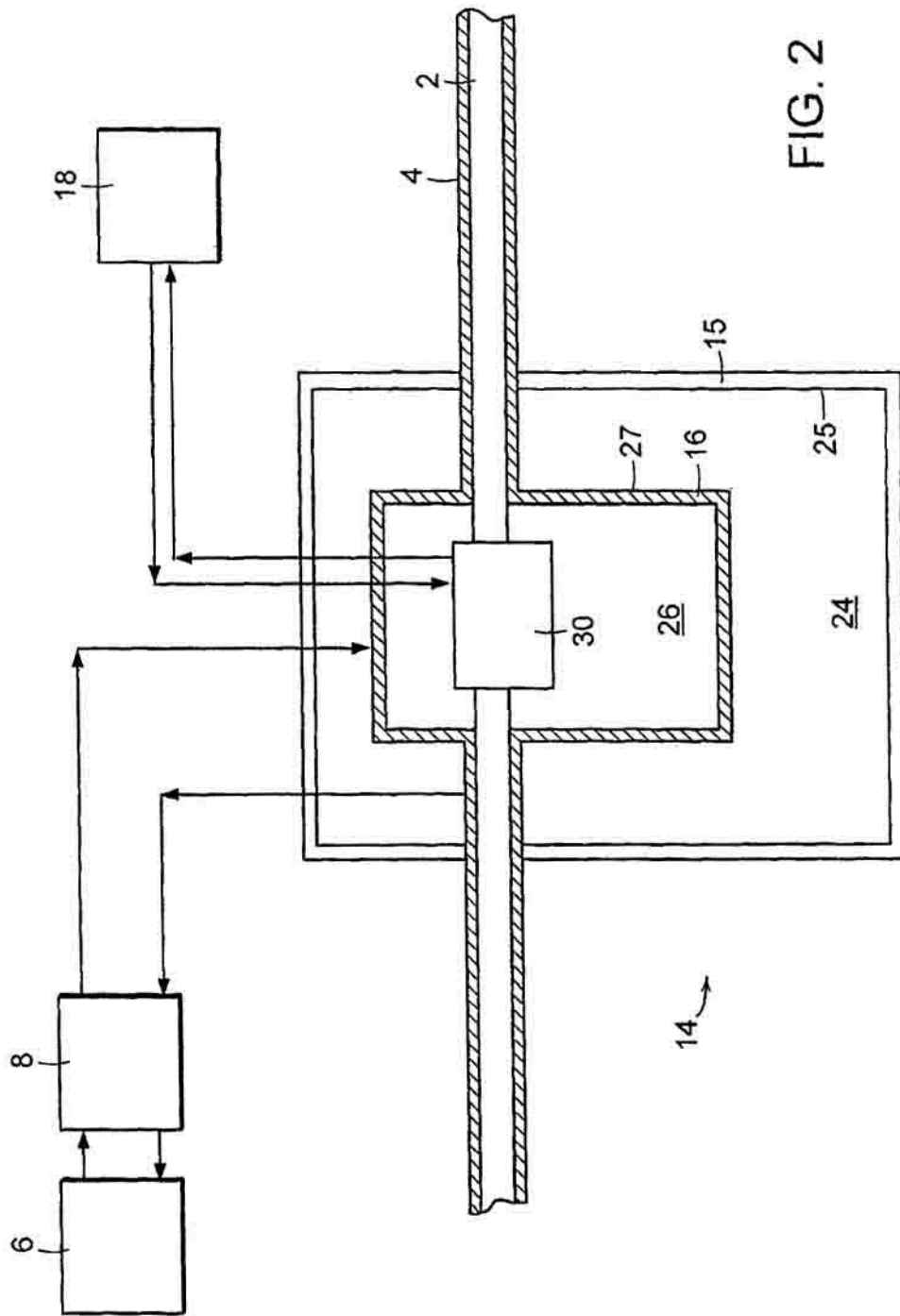


FIG. 2

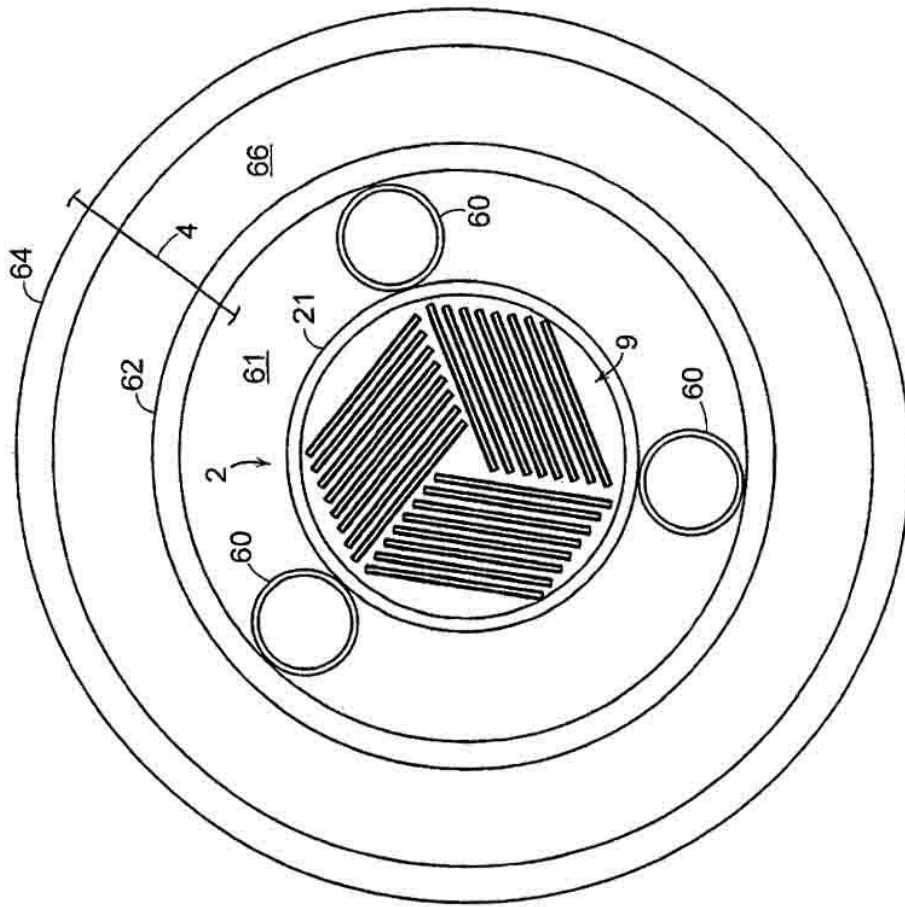


FIG. 4

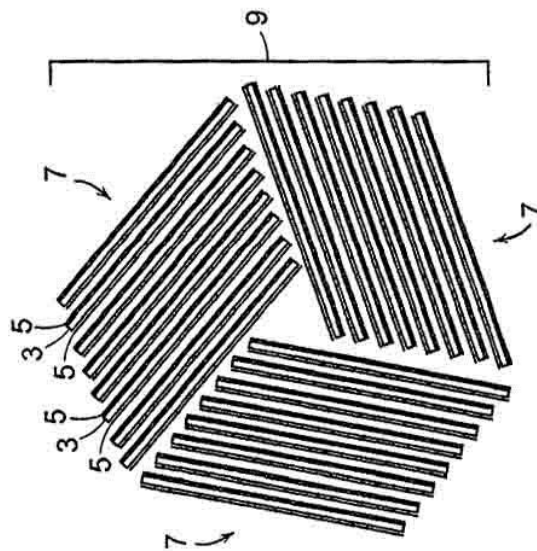


FIG. 3

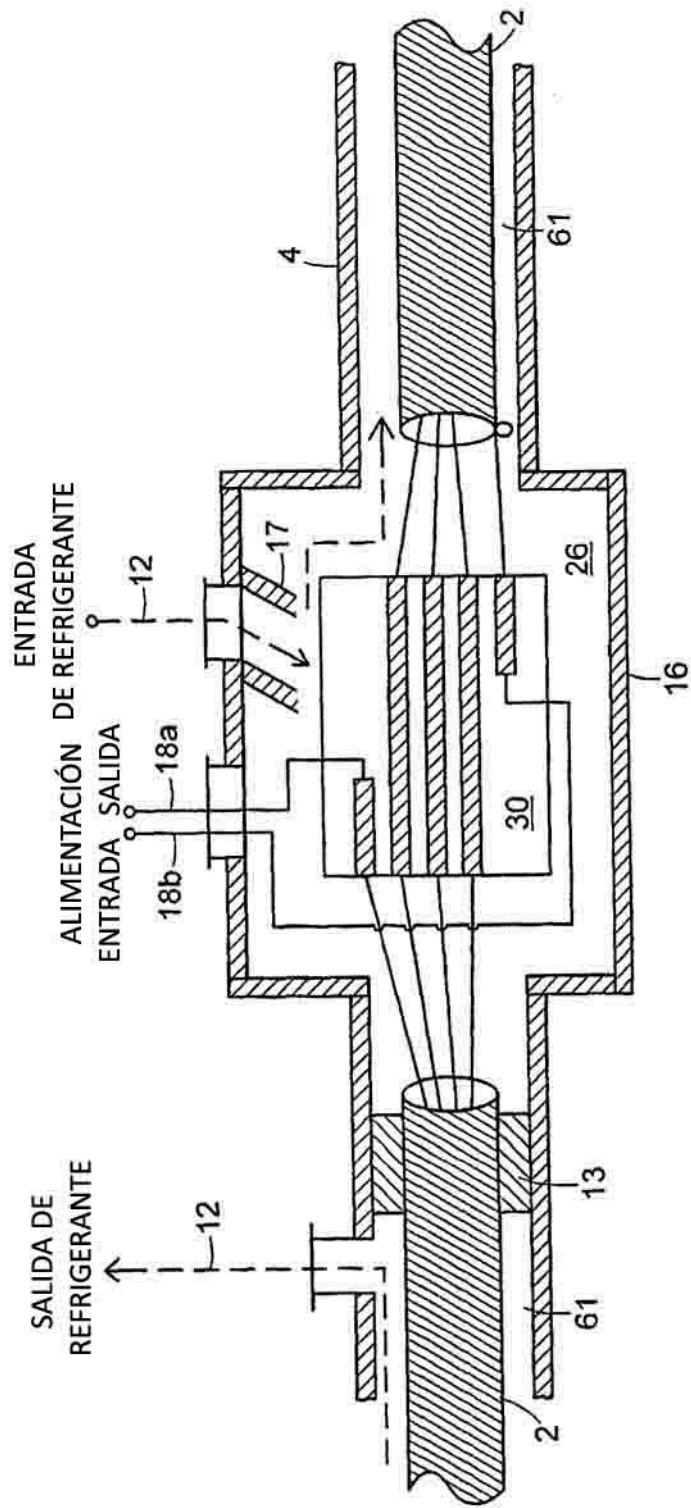


FIG. 5

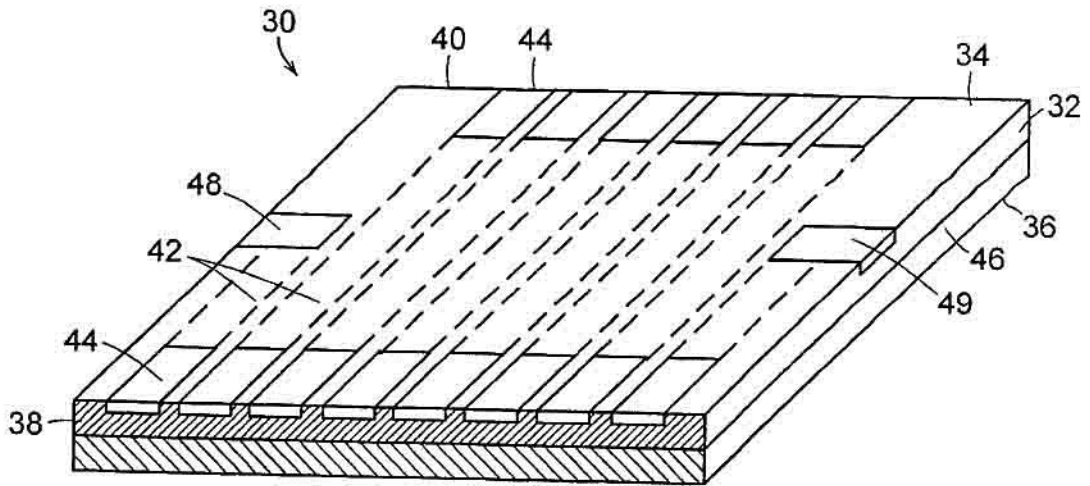


FIG. 6

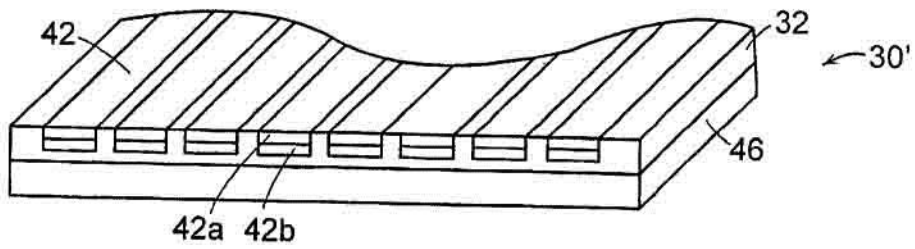


FIG. 7

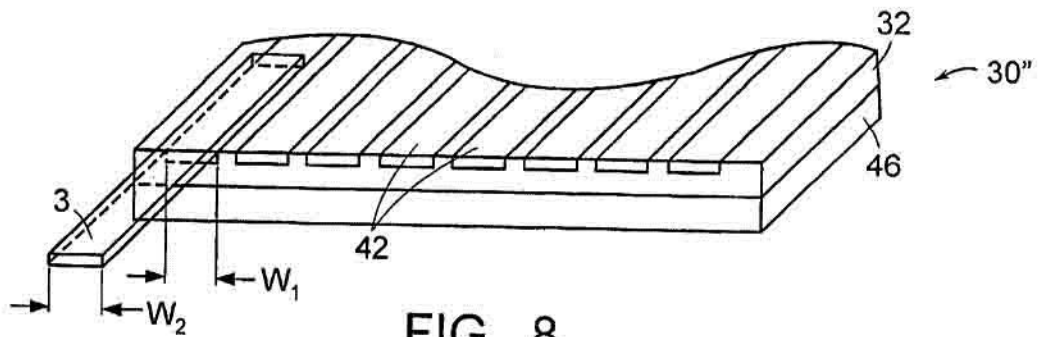


FIG. 8

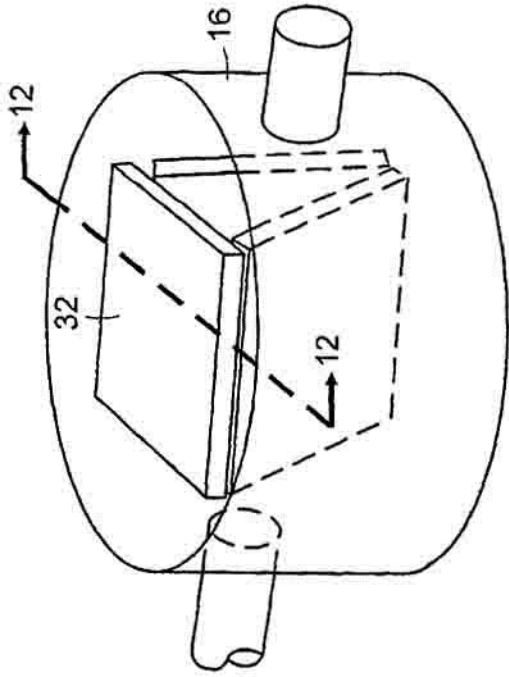


FIG. 9

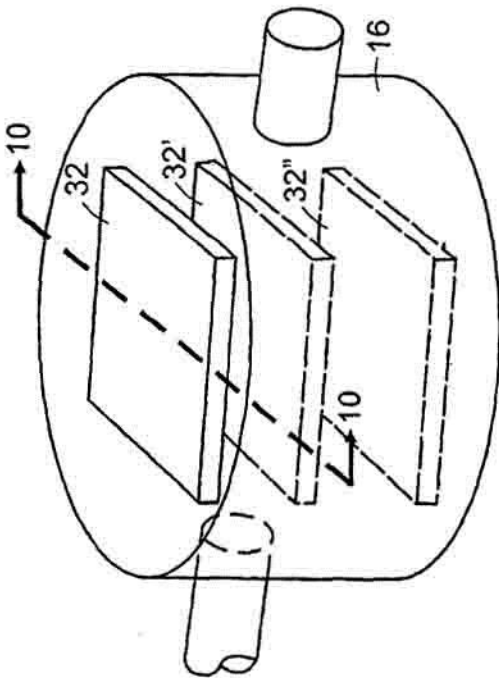


FIG. 10

FIG. 11

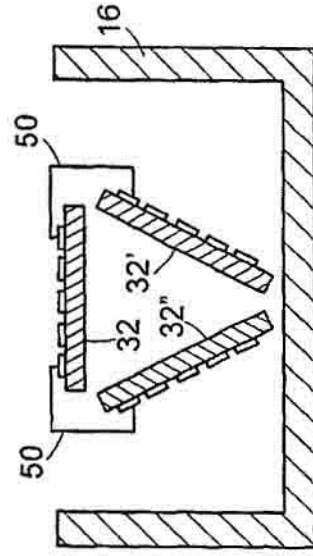
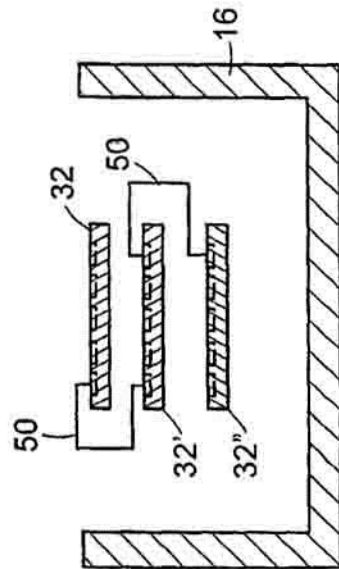


FIG. 12



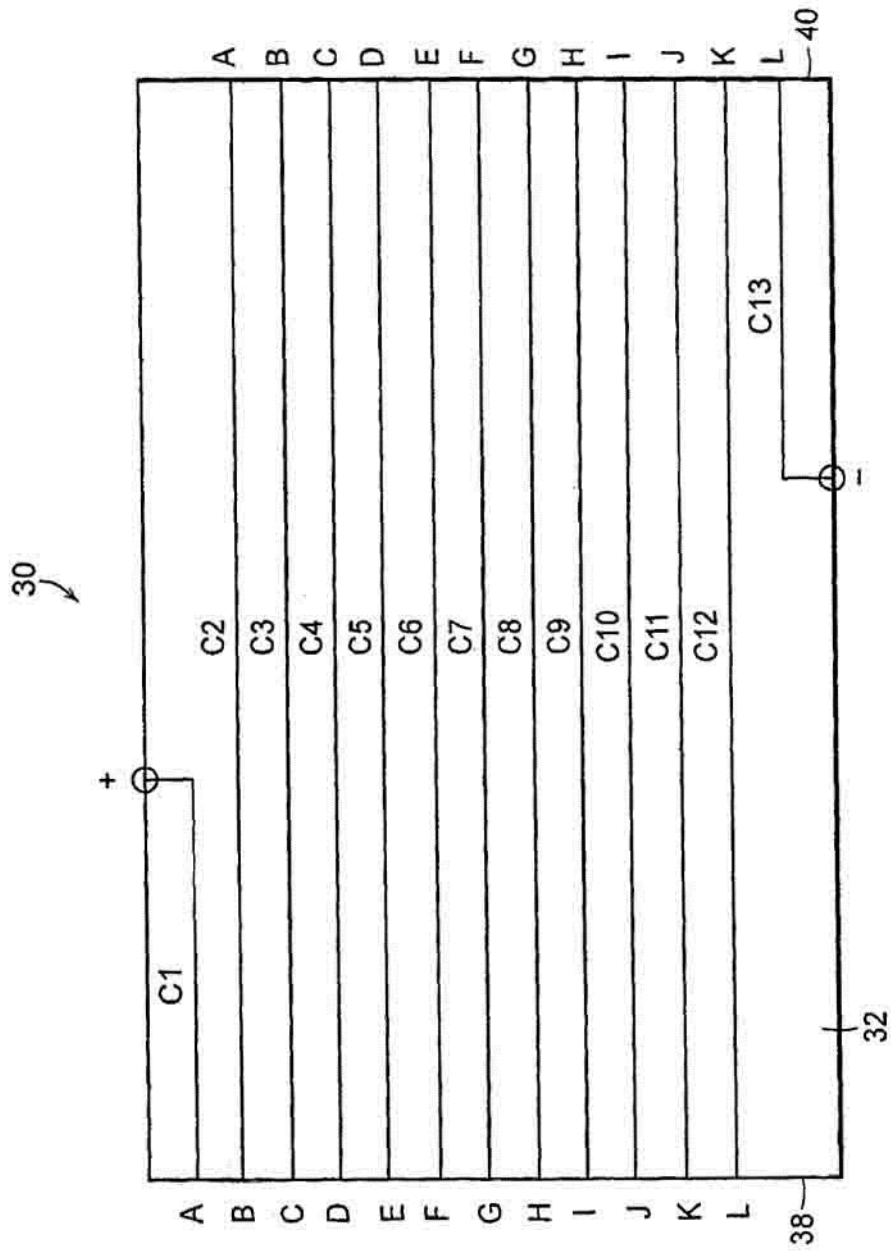


FIG. 13