

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 225**

51 Int. Cl.:

H01L 39/06 (2006.01)

H01L 39/12 (2006.01)

H01F 6/06 (2006.01)

H05G 2/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.07.2010 E 10743028 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.01.2015 EP 2599134**

54 Título: **Sistema magnético superconductor de alta temperatura**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.04.2015

73 Titular/es:

BABCOCK NOELL GMBH (100.0%)
Alfred-Nobel-Strasse 20
97080 Würzburg, DE

72 Inventor/es:

BOFFO, CRISTIAN y
GERHARD, THOMAS

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 533 225 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

Sistema magnético superconductor de alta temperatura

La presente invención hace referencia a un sistema magnético superconductor de alta temperatura (HTS), preferentemente para un dispositivo de inserción para generar una radiación de sincrotrón de gran intensidad según las características de la primera reivindicación. No obstante, el dispositivo no se limita a esta utilización, sino que también puede ser empleado en otros casos de aplicación adecuados.

En las fuentes de luz de sincrotrón, los así llamados dispositivos de inserción, onduladores y wigglers, se usan para generar radiación muy brillante, la cual se utiliza para muchos experimentos de diversas clases. Estos dispositivos generan un campo magnético que alterna de forma periódica sobre el eje del haz, donde la longitud del período se encuentra definida de forma precisa. Mientras que los electrones atraviesan el campo, a través de esa configuración del campo, éstos son forzados a una trayectoria oscilante, emitiendo así radiación de sincrotrón (figura 1). En el caso especial de un ondulator, la longitud del período del campo magnético está adaptada a la longitud de onda de la radiación de sincrotrón. Esto conduce a una emisión estimulada que genera luz coherente en un ancho de banda muy estrecho. Debido a la oscilación transversal periódica de las partículas, la emisión espontánea resultante es principalmente coherente y con un ancho de línea espectral estrecho, tal como se describe en "Trends in the Development of insertion devices for a future synchrotron light source", de C. S. Hwang, C. H. Chang, NSRRC, Hsinchu, Taiwan, Proceedings IPAC 2010.

Los onduladores y los wigglers se construyen en base a imanes permanentes y electroimanes. En la solicitud DE 10 2007 010 414 A1 se describe un cuerpo de bobinado para un ondulator electromagnético, donde en este documento no se aborda la forma de fabricación de una disposición de bobinas magnéticas basada en HTS para generar el campo deseado. En ese caso, dos culatas se orientan una con respecto a otra de manera que las mismas se sitúan de forma simétrica con relación al eje del haz de electrones, generando el campo deseado. El uso de imanes permanentes para onduladores y wigglers se remonta incluso a los primeros prototipos. Ante todo en el caso de los electroimanes el flujo magnético es guiado a través de los polos, aplicando corriente a las bobinas contiguas en direcciones opuestas (figura 2). En comparación con los electroimanes, los onduladores de imanes permanentes constituyen la solución más difundida, pero están limitados en cuanto a su campo máximo.

Por el contrario, los dispositivos de inserción superconductores (SCU) alcanzan campos magnéticos más elevados, permitiendo así un flujo de electrones más elevado y/o energías de fotones más elevadas que los sistemas magnéticos permanentes, lo cual se considera deseable para futuros experimentos. Hasta el momento fueron contruidos varios dispositivos de inserción superconductores, pero sus bobinas se realizaban de forma estándar en base a superconductores de baja temperatura (LTS) de niobio - titanio (NbTi), ("Fabrication of the new superconducting undulator for the ANKA synchrotron light source", de C. Boffo, W. Walter, Babcock Noell GmbH, Würzburg, Alemania, T. Baumbach, S. Casalbuoni, A. Grau, M. Hagelstein, D. Seaz de Jauregui, Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Alemania, Proceedings IPAC 2010). Para alcanzar un flujo magnético aún más elevado y, con ello, un campo magnético más elevado, se sugiere la utilización de otros superconductores, como Nb₃Sn o HTS. Se realizaron ensayos con piezas de prueba o primeros prototipos reducidos, donde éstos se describen en "Insertion device activities for NSLS-II", de T. Tanabe, D.A. Harder, S. Hulbert, G. Rakowsky, J. Skaritka, National Synchrotron Light Source-II, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 582 (2007), páginas 31 - 33.

Por lo general, las bobinas se enrollan de modo que se suspenden unas junto a otras desde un conductor continuo, sólo con pocas interrupciones. Las interrupciones se evitan, ya que en éstas con frecuencia se produce calor, lo cual implica cargas térmicas adicionales para el sistema. Esto implica una gran inversión para el proceso de bobinado, puesto que además las bobinas deben ser enrolladas respectivamente en distintas direcciones para generar el campo magnético alterno. En principio, estas bobinas LTS, las cuales son protegidas por lo tanto también en particular hacia el exterior a través de un escudo térmico, deben ser enfriadas a temperaturas criogénicas, alrededor de 4 K, generalmente con crioenfriadores. Éstas forman la así llamada "masa fría", junto con todo lo que posee la temperatura más baja en el criostato. Los crioenfriadores son máquinas frigoríficas con circuito de refrigeración cerrado, a través de las cuales es posible alcanzar temperaturas criogénicas y a través de las cuales es posible evitar un enfriamiento mediante un baño con helio líquido, lo cual simplifica en alto grado la utilización del imán. Los sistemas comerciales poseen una capacidad de refrigeración de hasta 1,5 W a una temperatura de 4,5 K. La capacidad de refrigeración depende en gran medida de la temperatura de servicio de la aplicación a ser refrigerada. Cuanto más elevada es la temperatura de servicio, más elevada es entonces la capacidad de refrigeración disponible.

Un problema que hace referencia a la solución para dispositivos de inserción superconductores es el manejo de la entrada de calor generada a través del movimiento ondulatorio del haz de electrones en el caso de temperaturas criogénicas. La cantidad total de calor de un haz de una fuente de sincrotrón de la tercera generación puede ascender a más de 10 W, según "Heat load issues of superconducting undulator operated at TPS storage ring", de J. C. Jan, C. S. Hwang y P. H. Lin, NSRRC, Hsinchu, Taiwan" Proceedings EPAC 2008" y "Measurements of the beam

heat load in the cold bore superconductive undulator installed at ANKA", de S. Casalbuoni, A. Grau, M. Hagelstein, R. Rossmannith, Centro de Investigación de Karlsruhe, Alemania, F. Zimmermann, CERN, Geneva, Switzerland, B. Kostka, E. Mashkina, E. Steffens, Universidad de Erlangen, Alemania, A. Bernhard, D. Wollmann, T. Baumbach; Universidad de Karlsruhe, Alemania, Proceedings PAC 2007.

5 Actualmente, el sistema de refrigeración del imán que, para funcionar, debe ser mantenido siempre a una temperatura inferior a 4,2 K, es separado generalmente del sistema de refrigeración del canal de paso del haz para minimizar la cantidad de crioenfriadores. Esta solución posibilita mantener el canal de paso del haz a una temperatura más elevada en comparación con el imán, de manera que los crioenfriadores disponen aún de capacidad de refrigeración suficiente para compensar la entrada de calor del haz. Si bien se ha comprobado que
10 ésta es una solución factible, las dificultades técnicas y la seguridad del sistema magnético podrían mejorarse mucho si el imán pudiera operarse a la misma temperatura que el canal de paso del haz.

Por tanto, es objeto de la presente invención desarrollar un sistema magnético para un dispositivo de inserción, en el cual no sea necesario un bobinado costoso y pueda prescindirse de una refrigeración costosa, donde no se presenten problemas de seguridad debido a la ausencia de una refrigeración.

15 Este objeto se alcanzará a través de un sistema magnético superconductor de alta temperatura (HTS) para un dispositivo de inserción según las características de la primera reivindicación.

En las reivindicaciones dependientes se indican diseños ventajosos de la invención.

La solución acorde a la invención prevé un cuerpo de bobinado que puede estar diseñado en forma cilíndrica, rectangular, cuadrangular, como bloque, compuesto por placas, o que puede estar realizado de otras formas. Sobre
20 la superficie lateral del cuerpo de bobinado se encuentran dispuestos polos con bobinados situados entre los mismos, donde los bobinados representan una cinta conductora HTS.

El problema antes mencionado se soluciona en principio reemplazando el cable superconductor de baja temperatura (LTS), tal como se utiliza en el sistema magnético estándar para los dispositivos de inserción superconductores, por una cinta conductora HTS. La cinta conductora HTS ya es superconductora a la temperatura del nitrógeno líquido
25 (77 K) y en el caso de un funcionamiento a temperaturas más bajas los parámetros de potencia del conductor pueden incrementarse de forma significativa.

Sin embargo, debido a su geometría y a otras propiedades mecánicas, el conductor no puede enrollarse de cualquier modo, de manera que para esta clase de conductores los procedimientos de bobinado y la disposición se encuentran limitados en comparación con el material LTS. A pesar de esto, primeros imanes se producen y utilizan
30 en base a conductores HTS, como por ejemplo en Sextupol an der National Synchrotron Lightsource Source en los Estados Unidos ("Insertion Devices R&D for NSLS-II", T. Tanabe, D.A. Harder, G. Rakowsky, T. Shaftan y J. Skaritka, National Synchrotron Light Source-II, Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, USA, Proceedings PAC 2007). Este imán se encarga de la focalización del haz de partículas en un acelerador. Éste genera un campo magnético que también se invierte periódicamente en cuanto a la dirección, pero a diferencia de un ondulator no lo hace de forma plana sino devanada, de manera que resulta la forma de una estrella. Para lograr esto, en una culata cerrada en sí misma que forma una especie de círculo sobre la superficie lateral orientada hacia el interior se colocan polos, los cuales no se sitúan de forma coaxial con respecto a la culata. De forma opuesta a esto, los polos del cuerpo de bobinado de la presente invención se encuentran dispuestos coaxialmente sobre la misma. Del mismo modo, para un imán de este tipo por lo general el polo se utiliza como cuerpo de bobinado y las bobinas se enrollan
40 alrededor de éste. Las bobinas se enrollan como los así llamados " Double-Pancakes", de manera que ambos contactos eléctricos se sitúan sobre el radio externo de la bobina. Del modo antes mencionado, en contraposición con respecto a ello, para un ondulator se necesita un campo magnético plano, como se representa en las figuras 1 y 2, lo cual presupone un cuerpo de bobinado recto y plano. En la presente invención las bobinas corresponden a este concepto y se encuentran enrolladas de forma coaxial, donde el contacto eléctrico tiene lugar respectivamente en el
45 radio interno y externo de la bobina.

En la solución hallada, varias, preferentemente de forma respectiva, dos cintas conductoras HTS se encuentran conectadas una con otra, de manera que en las bobinas conectadas se genera un flujo de corriente en direcciones opuestas (figura 2), (figura 4) para establecer la configuración deseada del campo magnético.

La utilización intencional de tantas piezas de conexión, la cual genera una entrada de calor en el sistema, se diferencia conceptual y esencialmente de los conceptos de dispositivos de inserción basados en LTS utilizados hasta el momento. Las cargas térmicas adicionales producidas de este modo sólo pueden por ello ser toleradas, puesto que un conductor HTS con un margen de seguridad mayor puede ser operado considerando la temperatura crítica.

Se considera ventajoso enrollar la cinta conductora HTS al mismo tiempo con una cinta aislante dispuesta por debajo, de forma paralela sobre la superficie lateral del cuerpo de bobinado. De manera preferente la cinta conductora presenta una sección transversal rectangular o de forma similar.

5 La solución propuesta presupone dos cuestiones: un nuevo esquema de bobinado para generar la configuración necesaria del campo magnético utilizando una cinta conductora HTS para el sistema magnético, como onduladores, wigglers y dispositivos de inserción de una longitud relevante para la aplicación.

Se considera ventajoso además diseñar el cuerpo de bobinado de forma cilíndrica y disponer polos coaxiales sobre la superficie lateral. Entre los polos anulares debe disponerse una cavidad para la pieza de conexión.

10 También se considera ventajoso disponer una pieza de conexión superior sobre el cuerpo de bobinado que se encuentra enrollado por completo.

A continuación, la invención y el estado del arte se explican con más detalle mediante un ejemplo de ejecución y seis figuras. Las figuras muestran:

Figura 1: principio básico de un ondulator con polo sur y norte magnéticos, con electrones y fotones emitidos;

Figura 2: principio de funcionamiento de un dispositivo de inserción con bobinas magnéticas;

15 Figura 3: representación esquemática de un dispositivo de inserción superconductor con crioenfriador para el canal de paso del haz y el imán;

Figura 4: representación esquemática de los asientos de bobinado sobre la culata del cuerpo de bobinado de la figura 5, con simetría rotacional;

20 Figura 5: vista de un cuerpo de bobinado y del comienzo de un bobinado con dos conductores en una pieza de conexión;

Figura 6: vista de un cuerpo de bobinado que se encuentra enrollado por completo, sobre el cual se colocaron las piezas de conexión superiores.

Las figuras 1 y 2 muestran el principio básico según el cual funcionan los onduladores conocidos por el estado del arte. La figura 3 muestra un dispositivo de inserción superconductor que corresponde al estado del arte.

25 La figura 1 muestra el principio básico de un ondulator con un electrón 1 sobre el eje de radiación 2, donde por encima y por debajo del eje de radiación 2 se encuentran dispuestos polos norte y polos sur 4 del campo magnético. El dispositivo, mostrado como una vista en corte, genera un campo magnético que alterna de forma periódica sobre el eje de radiación 2, donde la longitud del período se encuentra definida de forma precisa. Mientras que los electrones 1 atraviesan el campo, a través de esa configuración del campo, éstos son forzados a una trayectoria oscilante 3, emitiendo así radiación de sincrotrón 5 del electrón 1.

30 La figura 2 muestra la vista en corte de dos cuerpos de bobinado 6 de un sistema magnético con el principio de funcionamiento de un dispositivo de inserción con bobinas magnéticas 9, 11 a las que se aplica corriente en dirección opuesta, cuyo flujo magnético 10, 12 se intensifica en los polos. Los cuerpos de bobinado 6 con bobinas magnéticas 9, 11 se encuentran dispuestos situados de forma opuesta, donde el eje de radiación 2 es conducido entre los cuerpos de bobinado 6 con polos. El flujo magnético 10, 12 generado por las bobinas magnéticas 9,11 genera un campo magnético para el cual se ha marcado el vector respectivamente mayor del campo magnético 7 entre los cuerpos de bobinado 6.

40 La figura 3 muestra la representación esquemática de un dispositivo de inserción superconductor con el crioenfriador 8 en el canal de paso del haz 14, a través del cual es guiado el eje de radiación 2. En la figura pueden observarse igualmente el criostato 15, el imán del ondulator 17, compuesto por la culata superior y la culata inferior, así como la masa fría 18. Las desventajas y el modo de funcionamiento de ese dispositivo ya fueron descritos.

45 La figura 4, en una representación esquemática, muestra el corte parcial A-A del cuerpo de bobinado 6 de la figura 5 con elevaciones, donde paquetes de bobinado HTS 13 se encuentran dispuestos unos sobre otros en asientos 23, 24, compuestos por cinta aislante HTS 23 y hoja aislante 24. Estos asientos representan las bobinas magnéticas que generan los campos con una aplicación de corriente diferente, en donde la dirección 19 del flujo de corriente fue marcado a través de las bobinas. La pieza de conexión 16, 20 se encuentra dispuesta en la parte superior e inferior, entre las bobinas, de manera que puede tener lugar un flujo de corriente.

5 La figura 5 muestra el cuerpo de bobinado 6 para la solución acorde a la invención en una vista con varios polos 22 continuos con la línea de corte A-A. Entre los polos 22 continuos puede observarse la pieza de conexión 20 al inicio del bobinado en una cavidad en el polo 21, donde la pieza de conexión 20 conecta dos cintas conductoras HTS 23 formando un par, bajo el cual se encuentra un par de hojas aislantes 24. Entre los respectivos pares 23, 24 se encuentra dispuesto un polo 21 con cavidad.

El nuevo esquema de bobinado mostrado y descrito en la figura 4 permite enrollar todas las bobinas en la misma dirección, tal como se muestra en la figura 5.

10 La estructura alterna del campo magnético, típica para un ondulator o un bobinado, se origina a través de la conexión correcta de las bobinas entre sí, para controlar de este modo el flujo de corriente de manera que se produzca un flujo de corriente en direcciones opuestas, tal como se representa en la figura 4.

15 De acuerdo con el nuevo esquema de bobinado (véase la figura 5) la cinta conductora HTS 23 brillante es enrollada paralelamente sobre el cuerpo de bobinado 6, al mismo tiempo con una cinta aislante 24. Antes del enrollado, dos cintas conductoras 23 se sueldan sobre una placa HTS 20 para conectarlas así de forma eléctrica. La placa es adherida sobre el núcleo bobinado 6 para poder así constituir presión durante el proceso de bobinado. Los dos conductores 23 son bobinados al mismo tiempo de forma paralela uno con respecto a otro y con las hojas aislantes 24. Cuando el proceso de bobinado de las dos bobinas ha finalizado la cinta conductora es fijada y cortada para enrollar dos nuevas bobinas. Las elevaciones de los polos 21 del cuerpo de bobinado 6 poseen cavidades en donde debe colocarse una de las piezas de conexión inferiores 20, y presentan elevaciones de los polos 22 en donde los segmentos de bobinado 25 deben conectarse eléctricamente unos con otros mediante una pieza de conexión que se sitúa en la parte superior.

20 La figura 6 muestra cómo las dos bobinas se conectan con las dos bobinas precedentes para generar el flujo eléctrico, tal como se muestra en la figura 4. Este procedimiento simplifica en gran medida el proceso de bobinado y, a través de la disposición modular, pueden además cambiarse pares de bobinas por separado. El esquema puede aplicarse en cualquier configuración posible de un sistema magnético HTS de un dispositivo de inserción y, por tanto, es adecuado también para ser aplicado en los así llamados láser de electrones libres y en otras fuente de luz que se basan en aceleradores de partículas.

Lista de los símbolos de referencia utilizados

- 1 electrón
- 2 eje de radiación
- 30 3 trayectoria del electrón en el campo magnético
- 4 polos norte y sur del campo magnético
- 5 luz emitida del electrón
- 6 cuerpo de bobinado con polos
- 7 vector mayor del campo magnético
- 35 8 criofriador en el canal de paso del haz e imán
- 9 bobina magnética (polo norte) - flujo de corriente en el plano
- 10 flujo magnético generado por la bobina magnética (norte)
- 11 bobina magnética (polo sur) - flujo de corriente desde el plano
- 12 flujo magnético generado por la bobina magnética (sur)
- 40 13 paquete de bobinado HTS con asientos individuales
- 14 canal de paso del haz
- 15 criostato

ES 2 533 225 T3

- 16 pieza de conexión superior sobre el polo continuo
- 17 imán del ondulator (culata superior e inferior)
- 18 masa fría
- 19 dirección del flujo de corriente a través de las bobinas
- 5 20 pieza de conexión en el inicio del bobinado (abajo)
- 21 polo con cavidad para la pieza de conexión
- 22 polo continuo
- 23 par de cintas conductoras HTS
- 24 par de hojas aislantes
- 10 25 bobina magnética HTS

REIVINDICACIONES

- 5 1. Sistema magnético superconductor de alta temperatura (HTS), preferentemente para un dispositivo de inserción para generar una radiación de sincrotrón de gran intensidad, compuesto por el cuerpo de bobinado (6), sobre cuya superficie lateral se encuentran dispuestos polos con bobinados situados entre los mismos, caracterizado porque
- polos intensificadores del campo (21, 22) se encuentran dispuestos coaxialmente sobre el cuerpo de bobinado (6),
 - entre los polos (22), al menos un par de cintas conductoras HTS (23) se encuentra enrollado en una dirección sobre el cuerpo de bobinado (6) formando un paquete de bobinado HTS (13), entre el cual se encuentra dispuesto otro polo (21), y
- 10 - paquetes de bobinado HTS (13) contiguos o
- secciones están conectados eléctricamente entre sí, de manera que el flujo de corriente se desarrolla respectivamente en direcciones opuestas.
- 15 2. Sistema magnético HTS según la reivindicación 1, caracterizado porque al menos dos pares de cintas conductoras HTS (23) se encuentran conectados unos con otros mediante una pieza de conexión (20, 16) y están enrollados.
3. Sistema magnético HTS según la reivindicación 2, caracterizado porque los pares de cintas conductoras HTS (23) se encuentran enrollados de forma paralela sobre la superficie lateral del cuerpo de bobinado (6) con una cinta aislante (24) que se encuentra dispuesta por debajo.
- 20 4. Sistema magnético HTS según las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado porque el cuerpo de bobinado (6) presenta una forma cilíndrica.
5. Sistema magnético HTS según las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque entre los polos coaxiales (22) se encuentra dispuesta una cavidad para la pieza de conexión (20).
6. Sistema magnético HTS según las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque sobre el cuerpo de bobinado (6) enrollado por completo se encuentra dispuesta una pieza de conexión superior (16).

Fig. 1

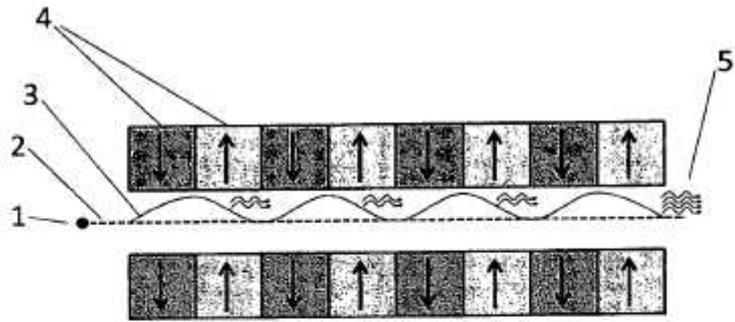


Fig. 2

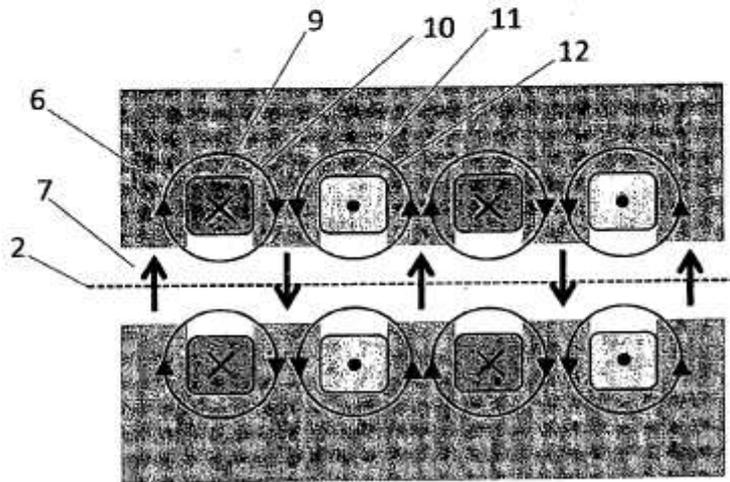


Fig. 3

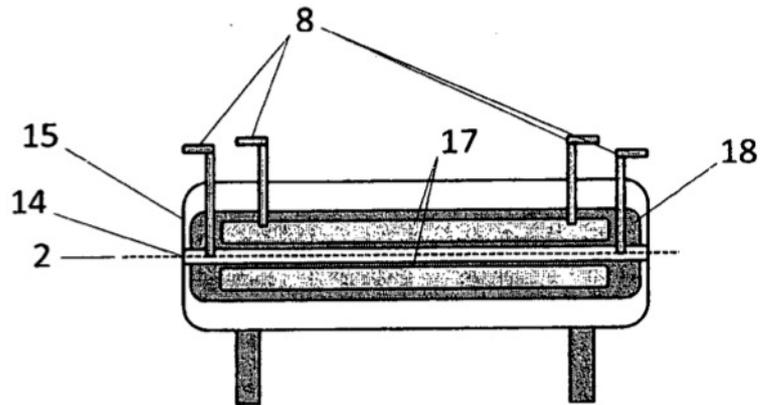


Fig. 4

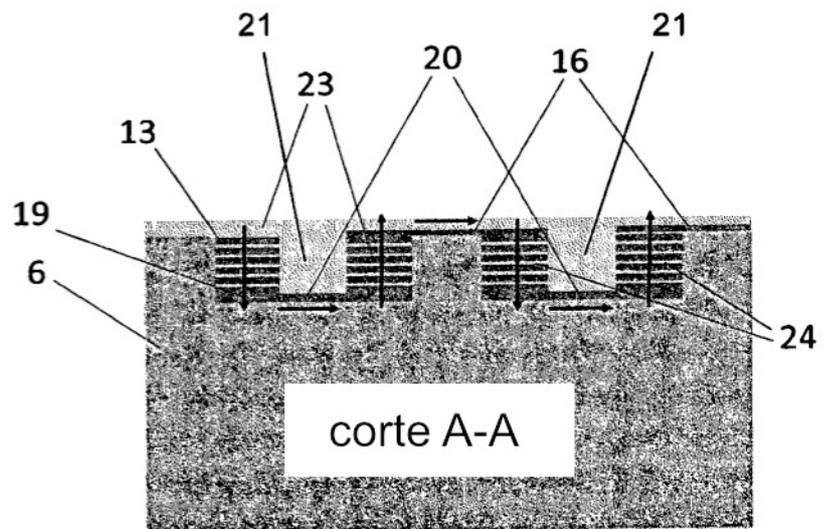


Fig. 5

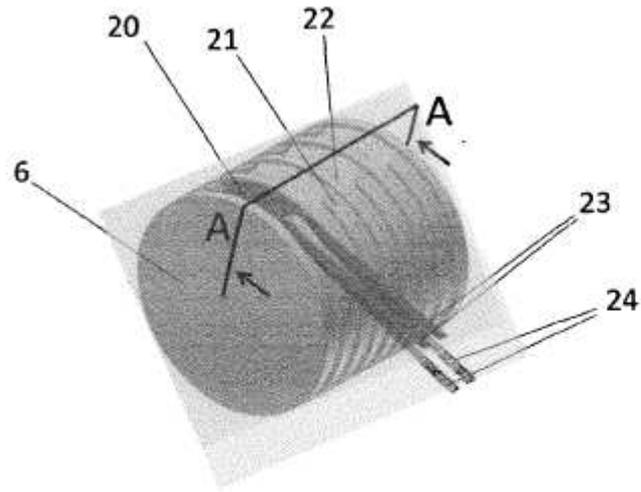


Fig. 6

