

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 394 395**

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: **19.07.2010 E 10170032 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la solicitud europea: **25.01.2012 EP 2410586**

54 Título: **Método de producción de un conductor recubierto de HTS y conducto recubridor de HTS con pérdidas reducidas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.01.2013

73 Titular/es:

**BRUKER HTS GMBH (100.0%)
Ehrichstrasse 10
63450 Hanau, DE**

72 Inventor/es:

**SCHLENGA, KLAUS y
USOSKIN, ALEXANDER**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Nuria

ES 2 394 395 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

Método de producción de un conductor recubierto de HTS y conductor recubierto de HTS con pérdidas reducidas

5 La invención se refiere a un método de producción de un conductor recubierto de superconductor de alta temperatura (HTS), en el que una capa de material separador y una capa de HTS han sido depositadas sobre un sustrato.

Un método de ese tipo es conocido a partir del documento US 7.491.678 B2.

10 Los superconductores se utilizan para transportar corriente eléctrica a baja resistencia, y por ello con bajas pérdidas. Los superconductores requieren enfriamiento criogénico con el fin de asegurar el estado de superconducción. Los materiales superconductores de alta temperatura (HTS) tienen una temperatura crítica T_c relativamente alta en comparación con los superconductores convencionales, y por lo tanto son menos caros de enfriar. En particular, algunos materiales de HTS permiten el uso de nitrógeno líquido para su enfriamiento. Por otra parte, los materiales de HTS presentan en cambio altas densidades críticas de corriente a temperaturas bajas de 3 a 20 °K. Este comportamiento es importante para imanes de campo intenso, por ejemplo en NMR, donde los campos son tan altos que el comportamiento en corriente de los superconductores de baja temperatura (utilizados típicamente en esta área) resulta ser insuficiente.

20 Materiales de HTS conocidos son los cerámicos, y pueden ser (y típicamente lo son) preparados como películas delgadas sobre un sustrato para aplicaciones prácticas (de "tipo conductor recubierto"). En general, con el fin de conseguir una capacidad alta de transporte de corriente, las películas delgadas de HTS deben ser altamente texturadas, prácticamente monocristalinas, con una densidad de defectos tan pequeña como sea posible. Se conoce el hecho de usar capas de material separador entre un sustrato y una película delgada de HTS con el fin de proporcionar la estructura cristalina de la película delgada de HTS, o para mejorar la calidad del cristal de la película delgada de HTS.

25 Sin embargo, en el régimen de uso de materiales de HTS, los materiales de HTS actúan como superconductores de tipo II, lo que significa que el flujo magnético puede penetrar en una capa de HTS, típicamente a modo de "conductos de flujo" (en alemán, "Flussschlauche") aislados. La densidad y la posición de los conductos de flujo dependen del campo magnético presente (el cual puede ser un campo externo y/o un campo que se origina a partir de la corriente eléctrica que circula a través de la capa de HTS, un "auto campo"). Durante el uso del conductor recubierto de HTS, el campo magnético varía típicamente, y los conductos de flujo se redistribuyen de manera correspondiente. Esta redistribución o movimiento de los conductos de flujo provoca pérdidas eléctricas, y puede reducir la corriente crítica y el campo magnético crítico del conductor recubierto de HTS al que se extingue el material de HTS (es decir, se vuelve normalmente conductor).

30 Se sabe que los "centros de sujeción" pueden reducir las pérdidas e incrementar la corriente crítica y el campo magnético crítico en un superconductor de tipo II. Los centros de sujeción hacen que los conductos de flujo permanezcan en los centros de sujeción cuando el campo magnético varía.

35 El documento US 7.491.678 B2 propone depositar nano puntos aisladamente, hechos típicamente de Ag, Mg o Zn, sobre una superficie de sustrato plano, de material separador, y a continuación depositar una película de HTS sobre la parte superior de la superficie de sustrato de material separador equipada con los nano puntos. La película de HTS crece con los defectos columnares por encima de los nano puntos, y los defectos columnares actúan como centros de sujeción para el flujo magnético. Sin embargo, los nano puntos pueden introducir fácilmente más defectos en la película de HTS que los deseados, lo que reduce la corriente crítica y el campo magnético crítico de nuevo.

40 El documento US 7.642.222 B1 describe un sustrato de material de óxido cúbico equipado con una capa de material separador del tipo de la sal de roca que incluye excrecencias particuladas, dando como resultado una morfología superficial rugosa de la capa de material separador. La película de HTS se hace crecer sobre la parte superior, en la que las excrecencias particuladas sirven como centros de sujeción. En este método, la morfología superficial de la capa de material separador es difícil de controlar, y los defectos extendidos se introducen en la película de HTS, lo que limita el efecto positivo de los centros de sujeción de nuevo.

Además, el documento EP-1777324 divulga un conductor que comprende un sustrato y una capa intermedia que comprende una o dos capas entre el sustrato y la capa superconductor.

45 El documento EP-0488717 divulga un proceso en el que un sustrato es desbastado para mejorar la unión entre la capa de material separador y el sustrato.

Objeto de la invención

El objeto de la presente invención consiste en proporcionar un método simple para producir un conductor recubierto de HTS con pérdidas reducidas, y con corriente crítica y campo magnético crítico mejorados.

Breve descripción de la invención

Este objeto se ha conseguido, de acuerdo con la invención, por medio de un método para producir un conductor recubierto de superconductor de alta temperatura (HTS), en el que una capa de material separador y una capa de HTS se depositan sobre un sustrato, con las siguientes etapas:

- 5 a) tras depositar la capa de material separador, la superficie es desbastada localmente, dando como resultado una superficie rugosa,
- b) una capa intermedia compacta de material no superconductor, que se deposita sobre la parte superior de la superficie rugosa,
- c) y la capa de HTS se deposita sobre la parte superior de la capa intermedia.

10 De acuerdo con la invención, los centros de sujeción son introducidos mediante una preparación particular de la capa de material separador después de su deposición. La capa de material separador es básicamente plana tras la deposición, típicamente con una rugosidad superficial de menos de 1 nm. A continuación, de acuerdo con la invención, se lleva a cabo una etapa de desbastado. Este desbastado puede incluir retirar localmente material, o depositar localmente material (que no sea típicamente idéntico al material de la capa de material separador), y da
15 como resultado una superficie estructurada ("superficie rugosa"). El desbastado incrementa la rugosidad superficial significativamente (típicamente en un factor de al menos 2, con preferencia de al menos 10), en comparación con la capa de material separador según se haya depositado.

A continuación de este desbastado, se deposita una capa intermedia compacta sobre la parte superior de la superficie estructurada. De esta manera, se proporciona una superficie definida para la deposición de la capa de
20 HTS, de modo que la densidad de defectos y los centros de sujeción de la capa de HTS pueden ser bien controlados. En particular, tras la deposición de la capa intermedia, solamente se muestra en la capa de HTS un tipo de material, de modo que la deposición (en particular, deposición epitaxial) del material de HTS es extremadamente simple. Además, los flancos escarpados de la superficie rugosa son suavizados en alguna medida por la capa intermedia.

25 Debido a la superficie rugosa subyacente, la superficie de la capa intermedia es ondulada. La capa de HTS depositada sobre la parte superior de la capa intermedia crecerá orientada con respecto a la superficie local de la capa intermedia, lo que da como resultado una salida local de desorientación del plano (típicamente el eje c no es perpendicular al plano del sustrato) de la capa de HTS en áreas donde la capa intermedia no es paralela al plano del sustrato. Las interconexiones de los granos de HTS desorientados ("inclinados") y perfectamente orientados (en
30 el plano) proporcionan defectos, que aumentan el sujeción del flujo magnético.

La capa intermedia puede ser denominada "segunda" capa de material separador, puesto que la capa de HTS se deposita sobre esta capa intermedia, y la cual actúa así como moderador entre la capa de HTS y la estructura de debajo. La capa intermedia es típicamente de mismo material que la capa de material separador (típicamente de CeO₂, mencionado también como CeO).

35 De acuerdo con la invención, un material de HTS tiene una temperatura crítica T_c de 40 °K o más alta, con preferencia de 85 °K o más alta.

Variantes preferidas de la invención

40 En una variante altamente preferida del método de la invención, en la etapa a), una primera parte del área superficial se mantiene plana, y una segunda parte del área superficial se ha dotado de estructuras con rugosidad, en particular rebajes, tal como rayas, abolladuras o ranuras, y/o protuberancias, tal como crestas, islotes, paredes o nervios. En otras palabras, durante el desbastado, la primera parte se mantiene desafectada y la segunda parte es elaborada. Esto simplifica el procedimiento de desbastado superficial. Obsérvese que las estructuras con rugosidad pueden estar distribuidas aleatoriamente, o dispuestas de forma sistemática (dispuestas típicamente de forma periódica).

45 En un desarrollo adicional ventajoso de esta variante, la primera parte del área superficial que se mantiene plana es de al menos un 80%, con preferencia al menos un 95%, y la segunda parte del área superficial dotada de estructuras rugosas es menor del 20%, con preferencia menor del 5% del área superficial total de la capa de material separador. Esto minimiza los esfuerzos de procesamiento. La superficie plana de la capa de material separador tras la deposición proporciona, con la mediación de la capa intermedia, la base para la parte principal de la película de HTS, la cual puede ser mantenida baja en densidad de defectos.

50 También se prefiere un desarrollo adicional en el que las estructuras rugosas están separadas entre 5 nm y 200 nm por término medio. Típicamente, las estructuras rugosas tienen un diámetro efectivo o anchura (en paralelo al plano del sustrato) de alrededor de entre 1 nm a 50 nm, con preferencia entre 2 nm y 10 nm. La dimensión transversal media (perpendicular al plano del sustrato) de las estructuras rugosas, es típicamente de entre 2 nm y 50 nm, con preferencia entre 5 nm y 30 nm.

En una variante altamente preferida del método de la invención, en la etapa a), el desbastado de la superficie incluye eliminar localmente material de la capa de material separador de tal modo que en las áreas respectivas, el espesor de la capa se reduzca. Este procedimiento es simple y compatible con todos los materiales de la capa de material intermedio.

- 5 Un desarrollo adicional preferido de esta variante prevé que la retirada del material de la capa de material separador incluye el raspado mecánico y/o el decapado. En particular, el decapado selectivo por haz de iones o el decapado por haz láser. El raspado es particularmente simple y puede ser realizado en el transcurso de un procedimiento de pulimentación o de otro procedimiento de tratamiento mecánico de la capa de material separador. El decapado por haz láser evita la contaminación y puede incluir la interferencia de dos o incluso más haces láser (o partes de un haz láser) para el decapado, permitiendo la generación de estructuras de decapado periódicas.

- 10 En otra variante altamente preferida del método de la invención, en la etapa a), el desbastado de la superficie incluye colocar depósitos locales sobre la parte superior de la capa de material separador. En otras palabras, las estructuras rugosas se forman depositando localmente material sobre la superficie de la capa de material separador. Típicamente, los depósitos locales son de tipo aislado ("islotes"). La deposición de material puede ser integrada fácilmente en el proceso de producción de un conductor recubierto de HTS.

Con preferencia, en un desarrollo adicional, el material de los depósitos locales es diferente del material de la capa de material separador. Esto simplifica la formación de estructuras rugosas regulares, auto-ensambladas. Los depósitos locales pueden ser, por ejemplo, de material metálico, en particular de Pt, Mo o W, o de dieléctricos de alta temperatura tal como óxidos o nitruros de alta temperatura de fusión (Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Ti_xN , Si_3N_4 , Ta_2O_5 , etc.).

- 20 Otro desarrollo adicional prevé que el material de los depósitos locales sea diferente del material de la capa intermedia. Esto es ventajoso con respecto a los efectos causados por la minimización de la energía superficial, en particular cuando el material de la capa de material separador y el material de capa intermedia son idénticos. Obsérvese que en algunos casos, sin embargo, el material de la capa intermedia y el material de los depósitos locales pueden tener la misma estequiometría.

- 25 En un desarrollo adicional preferido, los depósitos locales se forman como resultado de una difusión, en particular una difusión superficial que tiene como consecuencia un crecimiento de islotes, durante o después de su proceso de deposición. En este caso, el auto ensamblaje puede ser aplicado al espacio y/o al tamaño de los depósitos locales. En particular, las estructuras rugosas periódicas pueden ser fácilmente formadas mediante auto-ensamblaje.

- 30 Alternativamente, en un desarrollo adicional, los depósitos locales se disponen por medio del depósito de partículas sobre la superficie de la capa de material separador directamente. En ese caso, el comportamiento en mojado no afectará a la formación de los depósitos locales, lo que mejora el control sobre el proceso de deposición.

- 35 También se prefiere una variante en la que el material de la capa intermedia y el material de la capa de HTS tienen básicamente la misma estequiometría. Entonces, el procedimiento de deposición para la capa intermedia y la capa de HTS pueden ser simplificados, usando en particular el mismo objetivo o fuente de material (cuando, por ejemplo, se aplica deposición láser pulsada). Obsérvese que los parámetros de deposición se modifican entre la deposición de la capa intermedia y la capa de HTS, con el fin de conseguir una fase/estructura no superconductora como capa intermedia (tal como una fase amorfa) y una fase/estructura superconductora como capa de HTS. Alternativamente, la capa intermedia y la capa de HTS son de estequiometría diferente (por ejemplo, de CeO como capa intermedia y de ReBCO como capa de HTS).

- 40 Particularmente ventajosa es una variante en la que la etapa a) se lleva a cabo de tal modo que la superficie rugosa tenga una periodicidad de una o dos dimensiones. En otras palabras, en la etapa a), las estructuras rugosas se proporcionan con una periodicidad de una o dos dimensiones. La periodicidad de la superficie rugosa da como resultado una disposición periódica de los conductos de flujo durante la operación, permitiendo un uso altamente eficiente del área del conductor recubierto de HTS cuando se distribuyen los conductos de flujo, y conduciendo de ese modo a corrientes críticas y campos magnéticos críticos particularmente altos. Obsérvese que cuando se aplican/depositan etapas de desbastado adicionales, capas intermedias adicionales y capas de HTS adicionales, se puede establecer también una periodicidad con respecto a la dirección hacia fuera del plano (perpendicular al plano del sustrato), pudiendo incluso conseguir una periodicidad en 3D.

- 50 Una variante preferida del método de la invención prevé que la etapa a) se lleve a cabo de tal modo que la rugosidad superficial de la superficie rugosa esté comprendida entre 1 nm y 500 nm, con preferencia entre 2 nm y 30 nm. Típicamente, dicha rugosidad es de 2 nm o más grande, y en la mayor parte de los casos es de 5 nm o más grande. Estas gamas de rugosidad superficial proporcionan buenos resultados para la mayor parte de los materiales de capa de material separador y de los materiales de HTS.

Particularmente preferida es una variante en la que:

- 55 d) tras el depósito de la capa de HTS, la superficie es desbastada, dando como resultado una superficie rugosa adicional,

- e) una capa adicional intermedia compacta, no superconductora, se deposita sobre la parte superior de la superficie rugosa adicional,
- f) y una capa de HTS adicional se deposita sobre la parte superior de la capa intermedia adicional, en particular en la que las etapas d) a f) se repiten al menos una vez. En esta variante, se deposita uno o una pluralidad de conjuntos de una capa intermedia adicional y una capa de HTS adicional, con el fin de conseguir un espesor de material de HTS global más alto en el conductor recubierto. Puesto que el efecto de una superficie rugosa se desvanece con el espesor creciente de la capa de HTS, el desbastado superficial se repite aquí. Con preferencia, las estructuras rugosas y las estructuras rugosas adicionales son periódicas perpendiculares al plano del sustrato, de tal modo que los centros de sujeción de los diferentes conjuntos coincidan para los conductos de flujo que discurren perpendiculares al plano del sustrato. El desbastado de la etapa d) puede hacerse de forma análoga al de la etapa a). La capa intermedia adicional y la capa de HTS adicional pueden ser depositadas de forma análoga a la capa intermedia y a la capa de HTS de las etapas b) y c). Obsérvese que un conjunto de capa intermedia adicional y de capa de HTS adicional tiene típicamente un espesor común de entre 5 nm y 200 nm, con preferencia es de aproximadamente 50 nm.

También, dentro del alcance de la invención se encuentra comprendido un conductor recubierto de HTS, en particular producido por medio de un método de la invención según se ha descrito anteriormente, que comprende:

- un sustrato,
- una capa de material separador depositada sobre la parte superior del sustrato, en particular de CeO, que presente una superficie rugosa,
- una capa intermedia compacta, no superconductora, en particular de CeO, depositada sobre la parte superior de la superficie rugosa,
- una capa de HTS, en particular de tipo ReBCO, depositada sobre la parte superior de la capa intermedia. El conductor recubierto de HTS de la invención puede alcanzar densidades de corriente crítica y campos magnéticos críticos mejorados, y pérdidas reducidas. Obsérvese que los sustratos pueden ser, por ejemplo de acero inoxidable (en particular, acero inoxidable de tipo cinta), aleación de Fe-Ni-Mo, una aleación de NiW tal como RABITS, un dieléctrico tal como zafiro o SrTiO₃, y muchas más. La capa de HTS es típicamente de material de ReBCO,

siendo Re: un elemento de las tierras raras (con preferencia ytrio) o una combinación de elementos de tierras raras.

- Una realización ventajosa de conductor recubierto de HTS de la invención prevé que el conductor recubierto de HTS puede comprender además:
- una capa intermedia adicional compacta, no superconductora, en particular de CeO, depositada sobre la parte superior de la capa de HTS, que presente una superficie rugosa adicional, y
 - una capa de HTS adicional, en particular de tipo ReBCO, depositada sobre la parte superior de la capa intermedia adicional,

en particular, a la que sigue uno o más conjuntos adicionales de capas intermedias adicionales y de capas de HTS adicionales. En cada conjunto, se pueden introducir centros de sujeción de una forma controlada. Se puede conseguir una capacidad incrementada de transporte de corriente.

- En otra realización preferida, la superficie rugosa y/o una o una pluralidad de superficies rugosas comprenden rebajes o protuberancias, en particular protuberancias por depósitos locales. Obsérvese que los depósitos locales pueden ser de materiales diferentes en comparación con el material de la capa de material separador y/o con el material de la capa intermedia adicional.

- Dentro del alcance de la presente invención se encuentra además el uso del conductor recubierto de HTS de la invención según se ha descrito anteriormente, en el que una corriente eléctrica es transportada a través de la capa de HTS y/o de una o de una pluralidad de capas de HTS adicionales en estado de superconducción, y en la que las líneas de flujo magnético están sujetas a estructuras de desbastado de la superficie rugosa y/o a una pluralidad de superficies rugosas adicionales. El desbastado da como resultado una menor distribución de los conductos de flujo magnético, y con ello menos pérdidas y una corriente crítica mejorada (incrementada) en altos campos magnéticos (3T-30T) y un campo magnético crítico mejorado (incrementado) en sí mismo.

- Se pueden extraer otras ventajas a partir de la descripción y de los dibujos que se incluyen. Las características mencionadas en lo que antecede y en lo que sigue, pueden ser usadas de acuerdo con la invención ya sea individualmente o ya sea colectivamente en cualquier combinación. Las realizaciones mencionadas no deben ser entendidas como enumeración exhaustiva sino que, en cambio, tienen carácter ejemplar para la descripción de la invención.

Dibujos

La invención se muestra en los dibujos.

La Figura 1 muestra una vista esquemática en sección transversal de una primera realización de un conductor recubierto de HTS de la invención, con ranuras como estructuras de rugosidad;

- 5 La Figura 2 muestra una vista esquemática en sección transversal de una segunda realización de un conductor recubierto de HTS de la invención, con depósitos locales como estructuras de rugosidad;

Las Figuras 3a, 3b muestran vistas esquemáticas en sección transversal de capas de HTS de la Figura 1, en diferentes fases de crecimiento de la capa;

- 10 La Figura 4 es una vista esquemática en sección transversal de una tercera realización de un conductor recubierto de HTS de la invención, que comprende dos conjuntos de capa intermedia y capa de HTS;

La Figura 5 es una vista esquemática en sección transversal de una cuarta realización de un conductor recubierto de HTS de la invención, que comprende cuatro conjuntos de capa intermedia y capa de HTS;

Las Figuras 6a - 6e muestran una ilustración esquemática del método de la invención para producir un conductor recubierto de HTS, comparable a la realización de la Figura 1;

- 15 La Figura 7 muestra una vista esquemática en perspectiva de la fase de producción de la Figura 6c.

La **Figura 1** ilustra mediante una vista esquemática en sección transversal, un conductor 12 recubierto de HTS según la invención. Se debe apreciar que todas las figuras no están a escala, y en particular muestran detalles exagerados en la dirección perpendicular al plano del sustrato.

- 20 El conductor 12 recubierto de HTS comprende un sustrato 1 básicamente plano, por ejemplo una cinta de acero. Sobre la parte superior del sustrato 1, se ha depositado una capa 2, básicamente plana, de material separador, por ejemplo de CeO. La capa 2 de material separador tiene típicamente un espesor de entre 300 nm y 1000 nm. La superficie 13 de la capa 2 de material separador ha sido desbastada, en este caso retirando localmente material de la capa de material separador, dando como resultado estructuras 7 con rugosidad a modo de ranuras en las que el espesor (perpendicular al plano del sustrato) de la capa 2 de material separador se reduce. Entre las estructuras 7 de rugosidad, existen áreas 6 de superficie plana sin mecanizar. En el ejemplo que se muestra, las estructuras 7 de rugosidad son periódicas a lo largo del plano del sustrato (obsérvese que se prefiere la periodicidad, aunque no sea necesaria, de acuerdo con la invención).
- 25

- La superficie 13 rugosa está cubierta con una capa 3 intermedia compacta de espesor básicamente uniforme. La superficie 14 de la capa 3 intermedia imita, por lo tanto, a la superficie 13 rugosa, incluyendo estructuras 9 rugosas reproducidas y áreas 8 planas reproducidas. Obsérvese que las estructuras 9 rugosas reproducidas están algo suavizadas en comparación con las estructuras 7 rugosas, no obstante. La capa 3 intermedia es típicamente del mismo material que la capa 2 de material separador, en este caso de CeO, y en particular no es superconductora (a la temperatura operativa del conductor 12 recubierto de HTS). La capa 3 intermedia tiene típicamente un espesor de alrededor de 3 nm y 15 nm.
- 30

- 35 Sobre la parte superior de la capa 3 intermedia, se ha depositado una capa 4 de HTS, en este caso de material de YBCO. El crecimiento de la capa 4 de HTS por encima de las estructuras 9 rugosas reproducidas introduce una falta de orientación en comparación con el crecimiento por encima de las áreas 8 planas reproducidas, dando como resultado la provisión de centros de sujeción en la capa 4 de HTS. La capa 4 de HTS tiene típicamente un espesor de entre 500 nm y 10 μ m. La capa 4 de HTS transporta la corriente eléctrica en estado de superconducción a la temperatura operativa del conductor 12 recubierto de HTS, la cual está típicamente a alrededor de 77 °K pero que en aplicaciones de campos magnéticos altos (de 10 a 30 T) puede ser rebajada hasta 4,2 °K e incluso más baja con el fin de conseguir densidades de corriente crítica de 2000 A/mm² e incluso más altas.
- 40

- La superficie 10 superior de la capa 4 de HTS ha conservado algo de ondulación, pero en una cantidad mucho menor si se compara con la superficie 13 rugosa. Sobre la parte superior de la capa 4 de HTS, ha sido depositada una capa 5 de derivación de un metal o una aleación de un metal buen conductor (tal como Ag). En esta superficie 11, la ondulación es más reducida.
- 45

La **Figura 2** muestra una segunda realización de un conductor 12 recubierto de HTS según la invención. Por motivos de simplificación, solamente se explican en detalle las diferencias en comparación con la Figura 1.

- 50 Sobre el sustrato 21 básicamente plano, se ha depositado una capa 22 de material separador básicamente plana. Con el fin de obtener una superficie 13 rugosa, se han dispuesto estructuras 27 rugosas de un tipo de depósito local (en este caso, semejantes a islotes o crestas) sobre la superficie de la capa de material separador. El material de los depósitos 27a locales es Pt, por ejemplo depositado por medio de una técnica de deposición de cúmulos por vacío, utilizando una celda de evaporación de Knudsen. Entre los depósitos 27a locales, se conservan áreas 26 superficiales planas.

Sobre la superficie 19 rugosa (incluyendo los depósitos 27a locales), ha sido depositada una capa 23 intermedia compacta. Su superficie 14 imita a la superficie 13 rugosa, presentando estructuras 29 de rugosidad reproducida a modo de cresta y áreas 28 planas reproducidas. Obsérvese que la relación de aspecto de las estructuras 29 de rugosidad reproducida es algo menor en comparación con las estructuras 27 rugosas.

- 5 Sobre la parte superior de la capa 23 intermedia compacta, ha sido depositada una capa 24 de HTS. Sobre la parte superior de esta última, ha sido depositada una capa 5 de derivación. Obsérvese que las ondulaciones de las superficies 10 y 11 de la capa 24 de HTS y de la capa 5 de derivación, son más pequeñas en comparación con la superficie 14 de la capa 23 intermedia, debido a la mayor distancia desde la superficie 13 rugosa.

- 10 Las **Figuras 3a** y **3b** ilustran las fases de crecimiento de la capa de HTS (en este caso, se supone que es de tipo ReBCO) sobre la capa intermedia ondulada, compacta, en torno a una estructura rugosa de tipo ranura (véase la Figura 1), de acuerdo con la invención. Por motivos de simplificación, solamente se ha mostrado la capa de HTS. La superficie del sustrato es paralela al plano horizontal.

- 15 En cualquier fase temprana de crecimiento, véase la **Figura 3a**, las estructuras rugosas causan defectos profundos, pero relativamente estrechos, en la capa de HTS. En el ejemplo representado, el defecto comprende dos granos 42 inclinados (en comparación con los ejes c indicados mediante las flechas 41) y algunas secciones 43, 44 con defecto como "puntas punzantes" de los granos (cristalitos) con orientación de eje c con desviación, en comparación con el plano del sustrato que discurre normal verticalmente (no representado). La mayoría de los granos 40 están orientados en el plano con el plano del sustrato (es decir, con el eje c perpendicular al plano del sustrato; obsérvese que en el plano, los granos 40 pueden tener diferentes posiciones de rotación con relación al eje c).

- 20 En una fase posterior de crecimiento, véase la **Figura 3b**, los defectos se suavizan, es decir, se hacen menos profundos, aunque más anchos. Los granos 52 inclinados tienen una desorientación menor de los ejes c en comparación con los granos 50 orientados en el plano con el plano del sustrato. Las secciones 53, 54 de defecto separan los granos 50, 52 inclinados y no inclinados. Centradamente en el defecto, pueden existir granos con orientación en el plano. Cuando el defecto se ha suavizado demasiado, no es más efectiva en cuanto a sujeción del flujo, y el desbastado debe ser repetido (véase lo que sigue).

Se debe observar que para otro sistema de material, el eje c puede ser reemplazado por otro eje de cristal específico del material de la capa HTS.

La **Figura 4** muestra una tercera realización de un conductor 12 recubierto de HTS según la invención. Solamente se van a discutir las diferencias importantes con la Figura 2, por motivos de simplicidad.

- 30 El sustrato 21, la capa 22 de material separador, las estructuras 27 con rugosidad y la capa 23 intermedia, corresponden a la realización mostrada en la Figura 2. Sin embargo, la capa 65 de HTS, que se deposita sobre la capa 23 intermedia, ha sido desbastada, dando como resultado una superficie 15 rugosa adicional. La rugosidad de la superficie 15 rugosa adicional ha sido realizada depositando material sobre la parte superior de la capa 65 de HTS, es decir se han proporcionado estructuras 66 con rugosidad adicionales, formadas en este caso mediante depósitos 66a locales adicionales sobre la superficie de la capa 65 de HTS. Se debe apreciar que la superficie de la capa 65 de HTS está algo ondulada de alguna manera, debido a la superficie 13 rugosa (véanse las áreas 73 ligeramente curvadas entre las estructuras 66 con rugosidad), pero no suficientemente onduladas para garantizar el sujeción del flujo por encima de las mismas, por lo que se repitió el desbastado.

- 40 Una capa 67 intermedia adicional compacta de espesor básicamente uniforme, ha sido depositada sobre la parte superior de la superficie 15 rugosa adicional (que incluye los depósitos 66a locales adicionales). La superficie 16 de la capa 67 intermedia adicional imita la superficie 15 rugosa adicional, dando como resultado estructuras 75 con rugosidad adicionales reproducidas y áreas 74 planas adicionales reproducidas (las ondulaciones de las áreas 73 ligeramente curvas son típicamente suavizadas por fuera de la superficie 16).

- 45 Sobre la parte superior de la superficie 16 de la capa 67 intermedia adicional, ha sido depositada una capa 68 de HTS adicional. Su superficie 76 ha conservado algo de ondulación. Sobre la parte superior de la capa 68 de HTS adicional, se ha depositado una capa 5 de derivación.

- 50 Se debe apreciar que, si se desea, la superficie 76 de la capa 68 de HTS adicional puede ser desbastada, y que una capa intermedia adicional y una capa de HTS adicional pueden ser depositadas sobre la parte superior, y así sucesivamente. De esta manera, la capacidad de transporte de corriente del conductor 12 recubierto de HTS puede ser incrementada.

- 55 Esto ha sido ilustrado en la cuarta realización de un conductor 12 recubierto de HTS según la invención en la **Figura 5**. En este caso, tres conjuntos 81, 82, 83 de capas 67 intermedias adicionales y de capas 68 de HTS adicionales han sido depositadas sobre la parte superior de una capa 65 de HTS (más baja), la cual a su vez fue depositada sobre una capa 23 intermedia y una capa 22 de material separador. La capa 23 intermedia y las capas 67 intermedias han sido depositadas, cada una de ellas, sobre una superficie rugosa o sobre una superficie rugosa adicional, respectivamente, de acuerdo con la invención.

Las **Figuras 6a-6e** ilustran esquemáticamente el método de la invención de producción de un conductor 12 recubierto de HTS.

- 5 Sobre un sustrato 1 básicamente plano, véase la **Figura 6a**, se ha depositado una capa 2 de material separador (o una pluralidad de capas de material separador), véase la **Figura 6b**. La superficie 2a resultante, la cual es básicamente plana, se somete a un procedimiento de desbastado. En el ejemplo ilustrado, véase la **Figura 6c**, se ha retirado localmente algo de material de la capa de material separador, de modo que se han obtenido como resultado estructuras 7 con rugosidad del tipo de abolladuras y áreas 6 planas. Sobre la parte superior de esta superficie 13 rugosa, se ha depositado una capa 3 intermedia, véase la **Figura 6d**. Su superficie 14 imita la superficie 13 rugosa. Sobre la parte superior de la capa 3 intermedia, se ha depositado una capa 4 de HTS, véase la **Figura 6e**. Por encima de las estructuras 7 con rugosidad, la capa 4 de HTS presenta áreas 4a defectuosas, que introducen sujeción del flujo en operación del conductor 12 recubierto de HTS, es decir, cuando circula una corriente eléctrica a través de la capa 4 de HTS superconductora. Se debe apreciar que las etapas de deposición de la capa intermedia con rugosidad y de deposición de la capa de HTS, pueden ser realizadas a continuación de acuerdo con la invención.
- 15 La **Figura 7** muestra una vista en perspectiva de la fase de producción de la Figura 6c de un conductor recubierto de HTS. En el caso de la superficie 13 rugosa, alrededor de un 90% pertenece al área 6 plana (sin mecanizar), y alrededor de un 10% pertenece a estructuras 7 con rugosidad (en este caso, abolladuras). Obsérvese que las estructuras 7 con rugosidad están dispuestas con una periodicidad en dos dimensiones en el plano del sustrato. La distancia A media de las estructuras 7 con rugosidad respecto a sus respectivas próximas contiguas es de alrededor de 25 nm, y el diámetro medio D de las estructuras 7 con rugosidad en paralelo con el plano del sustrato es de alrededor de 5 nm en este caso.
- 20

Lista de números de referencia

- 1, 21 sustrato
- 2, 22 capa de material separador
- 25 2a superficie de la capa de material separador
- 3, 23 capa intermedia
- 4, 24, 65capa de HTS
- 4a área defectuosa
- 5 capa de derivación
- 30 6, 26 área plana
- 7, 27 estructura rugosa
- 8, 28 área plana reproducida
- 9, 29 estructura con rugosidad reproducida
- 10 superficie de la capa de HTS
- 35 11 superficie de la capa de derivación
- 12 conductor recubierto de HTS
- 13 superficie rugosa
- 14 superficie de la capa intermedia
- 15 superficie rugosa adicional
- 40 16 superficie de la capa intermedia adicional
- 27a depósito local
- 40, 50 grano en el plano con el plano del sustrato
- 41 flecha que indica la dirección del eje c
- 42, 52 grano inclinado

- 43, 44 sección de un defecto
- 53, 54 sección de un defecto
- 66 estructura con rugosidad adicional
- 66a depósitos locales adicionales
- 5 67 capa intermedia adicional
- 68 capa de HTS adicional
- 73 superficie rugosa adicional
- 74 área plana adicional reproducida
- 75 estructura con rugosidad adicional reproducida
- 10 76 superficie de la capa de HTS adicional
- 81, 82, 83 conjunto de capa intermedia adicional y de capa de HTS adicional
- A distancia media
- D diámetro medio

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para producir un conductor (12) recubierto de superconductor de alta temperatura (HTS), en el que una capa (2; 22) de material separador y una capa (4; 24; 65) de HTS son depositadas sobre un sustrato (1; 21), con las siguientes etapas:
- 5 a) tras el depósito de la capa (2; 22) de material separador, la superficie (2a) es localmente desbastada, dando como resultado una superficie (13) rugosa,
- b) una capa (3; 23) intermedia compacta, no superconductora, es depositada sobre la parte superior de la superficie (13) rugosa, y
- c) La capa (4; 24; 65) de HTS se deposita sobre la parte superior de la capa (3; 23) intermedia.
- 10 2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado porque** en la etapa a), una primera parte del área superficial se mantiene plana, y una segunda parte del área superficial ha sido dotada de estructuras (7; 27) con rugosidad, en particular con rebajes tales como rayas, abolladuras o ranuras, y/o con protuberancias tales como crestas, islotes, paredes o nervios.
- 15 3.- Método de acuerdo con la reivindicación 2, **caracterizado porque** la primera parte del área superficial que se mantiene plana es de al menos un 80%, con preferencia al menos un 95%, y la segunda parte del área superficial dotada de estructuras (7; 27) con rugosidad es menor de un 20%, con preferencia menor de un 5% del área superficial total de la capa (2; 22) de material separador.
- 4.- Método de acuerdo con la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado porque** las estructuras (7; 27) con rugosidad están separadas por una distancia de entre 5 y 200 nm por término medio.
- 20 5.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en la etapa a), el desbastado de la superficie (2a) incluye retirar localmente material de la capa de material separador de tal modo que en las áreas respectivas, el espesor de la capa (2; 22) de material separador se reduce.
- 6.- Método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado porque** la retirada del material de la capa de material separador incluye el raspado y/o el decapado mecánico, en particular el decapado selectivo por haz de iones o el decapado por haz láser.
- 25 7.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en la etapa a), el desbastado de la superficie (2a) incluye realizar depósitos (27a) locales sobre la parte superior de la capa (2; 22) de material separador.
- 8.- Método de acuerdo con la reivindicación 7, **caracterizado porque** el material de los depósitos (27a) locales es diferente del material de la capa (2; 22) de material separador.
- 30 9.- Método de acuerdo con la reivindicación 7 u 8, **caracterizado porque** el material de los depósitos (27a) locales es diferente del material de la capa (3; 23) intermedia.
- 10.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado porque** los depósitos (27a) locales se forman como resultado de una difusión, en particular una difusión superficial que tiene como consecuencia el crecimiento de islotes, durante o después de su proceso de deposición.
- 35 11.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 7 a 9, **caracterizado porque** los depósitos (27a) locales se realizan por medio del depósito de partículas sobre la superficie (2a) de la capa (2; 22) de material separador directamente.
- 12.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el material de la capa intermedia y el material de la capa de HTS tienen básicamente la misma estequiometría.
- 40 13.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la etapa a) se lleva a cabo de tal modo que la superficie (13) rugosa tenga una periodicidad de una o dos dimensiones.
- 14.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la etapa a) se lleva a cabo de tal modo que la rugosidad superficial de la superficie (13) rugosa está comprendida entre 1 nm y 500 nm, con preferencia entre 2 nm y 30 nm.
- 45 15.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**,
- d) tras el depósito de la capa (4; 24; 65) de HTS, la superficie es desbastada, dando como resultado una superficie (15) rugosa adicional,

- e) se deposita una capa (67) intermedia adicional compacta, no superconductor, sobre la parte superior de la superficie (15) rugosa adicional, y
- f) se deposita una capa (68) de HTS adicional sobre la parte superior de la capa (67) intermedia adicional,
- en particular en la que las etapas d) a f) son repetidas al menos una vez.
- 5 16.- Un conductor (12) recubierto de HTS, producido en particular mediante un método conforme a una de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
- un sustrato (1; 21),
 - una capa (2; 22) de material separador depositada sobre la parte superior del sustrato (1; 21), en particular de CeO, que presenta una superficie (13) rugosa,
- 10 - una capa (3; 23) intermedia compacta, no superconductor, en particular de CeO, depositada sobre la parte superior de la superficie (13) rugosa,
- una capa (4; 24; 65) de HTS, en particular de tipo ReBCO, depositada sobre la parte superior de la capa (3; 23) intermedia.
- 15 17.- Conductor (12) recubierto de HTS de acuerdo con la reivindicación 16, **caracterizado porque** el conductor (12) recubierto de HTS comprende además,
- una capa (67) intermedia adicional compacta, no superconductor, en particular de CeO, depositada sobre la parte superior de la capa (4; 24; 65) de HTS que presenta una superficie (15) rugosa adicional, y
 - una capa (68) de HTS adicional, en particular de tipo ReBCO, depositada sobre la parte superior de la capa (67) intermedia adicional,
- 20 en particular en la que sigue uno o más conjuntos (82, 83) adicionales de capas (67) intermedias adicionales y capas (68) de HTS adicionales.
- 18.- Conductor (12) recubierto de HTS de acuerdo con la reivindicación 16 ó 17, **caracterizado porque** la superficie (13) rugosa y/o una o una pluralidad de superficies (15) rugosas adicionales comprenden rebajes y/o protuberancias, en particular protuberancias de depósitos (27a; 66a) locales.
- 25 19.- Uso de un conductor (12) recubierto de HTS de acuerdo con una de las reivindicaciones 16 a 18, en el que una corriente eléctrica es transportada a través de la capa (4; 24; 65) de HTS y/o de una o de una pluralidad de capas (68) de HTS adicionales en estado de superconducción, y en el que líneas de flujo magnético están sujetas a estructuras (7; 27; 66) con rugosidad de la superficie (13) rugosa y/o de una o de una pluralidad de superficies (15) rugosas adicionales.

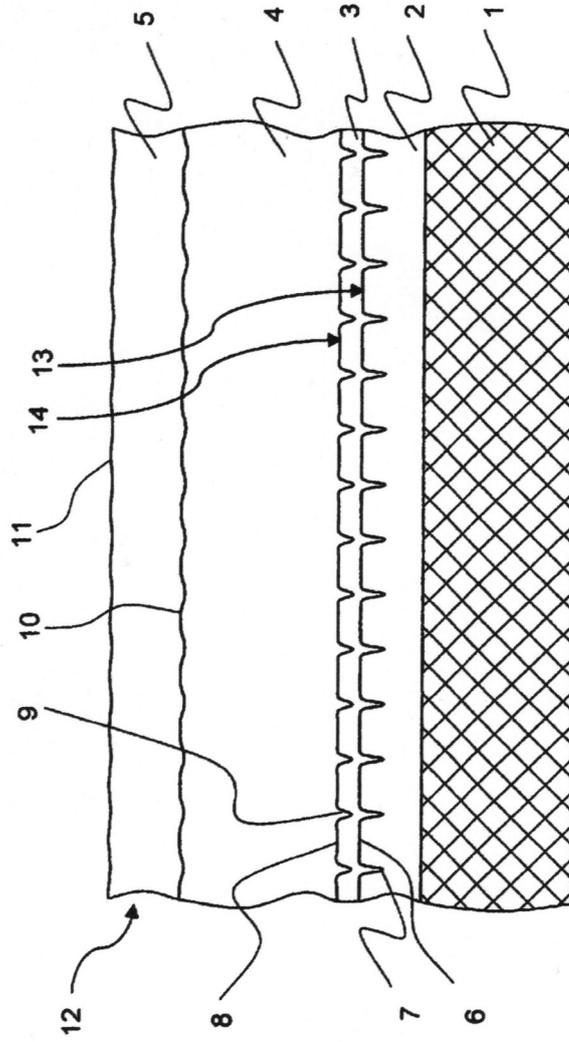


Fig. 1

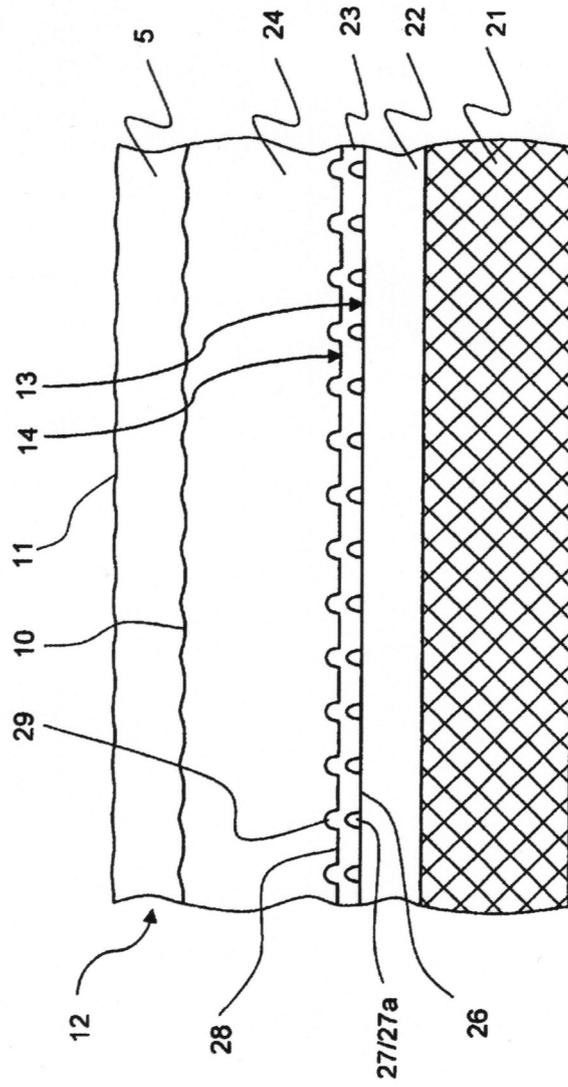


Fig. 2

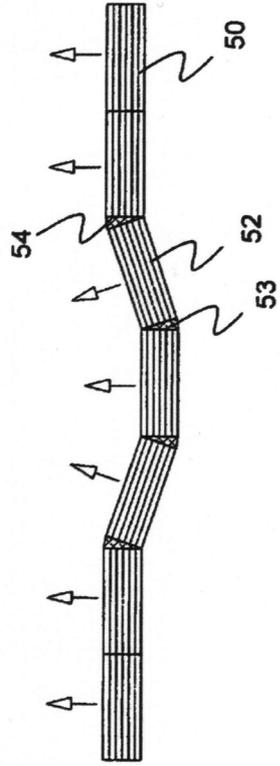


Fig. 3b

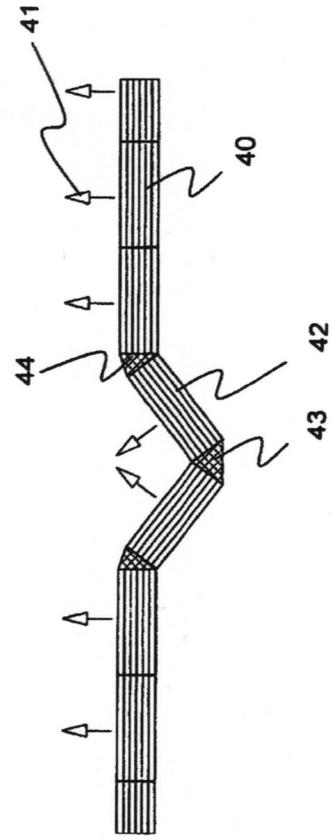


Fig. 3a

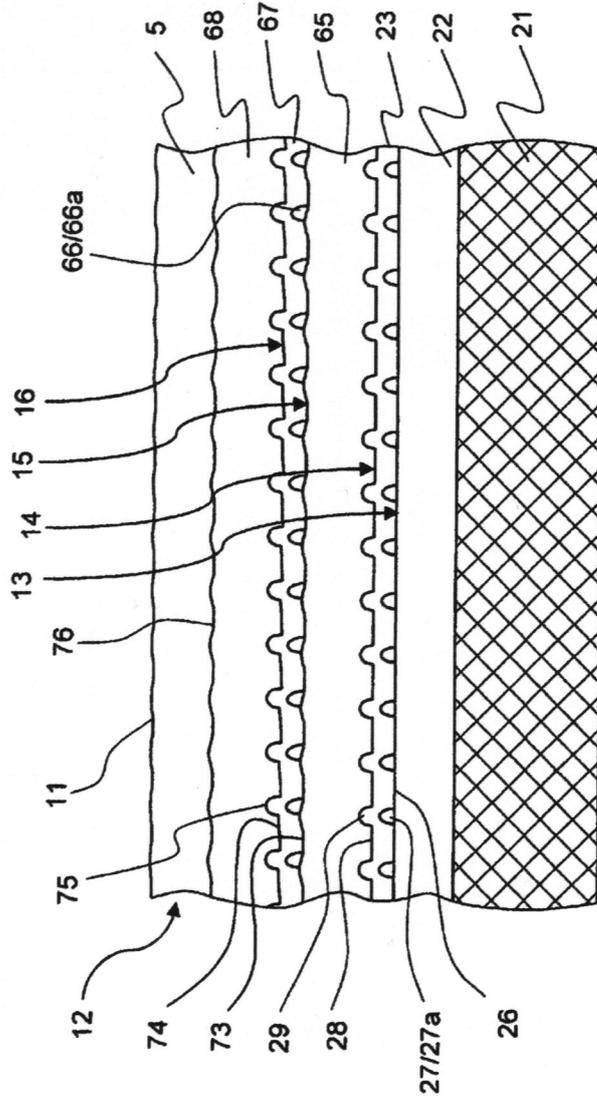


Fig. 4

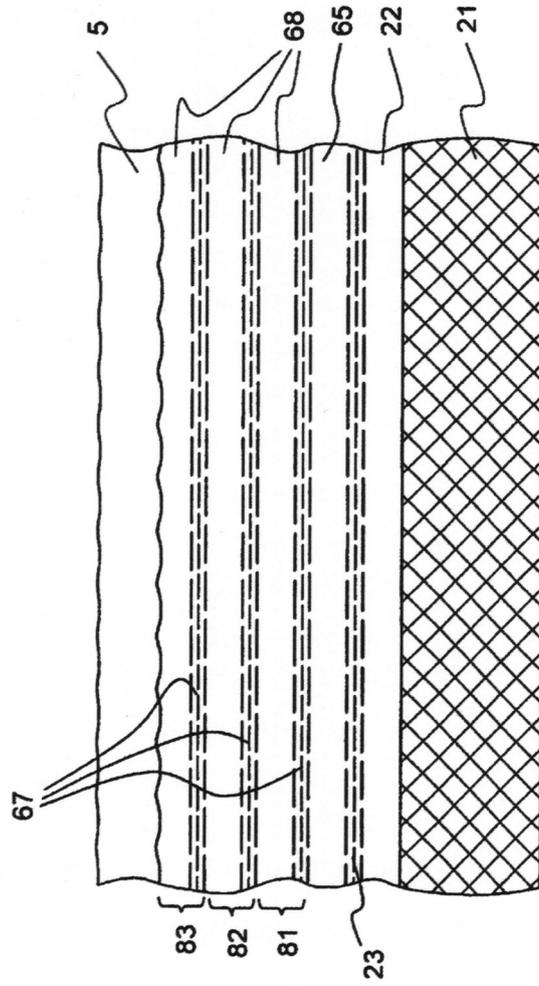


Fig. 5

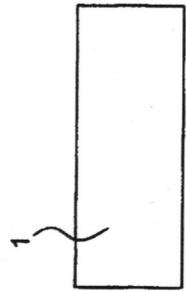


Fig. 6a

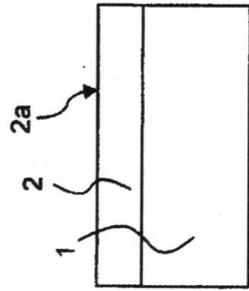


Fig. 6b

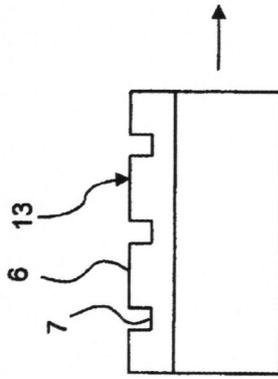


Fig. 6c

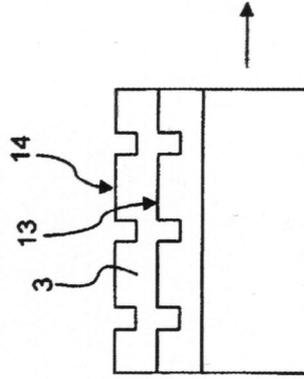


Fig. 6d

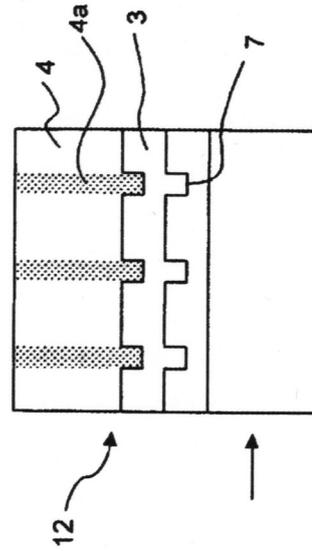


Fig. 6e

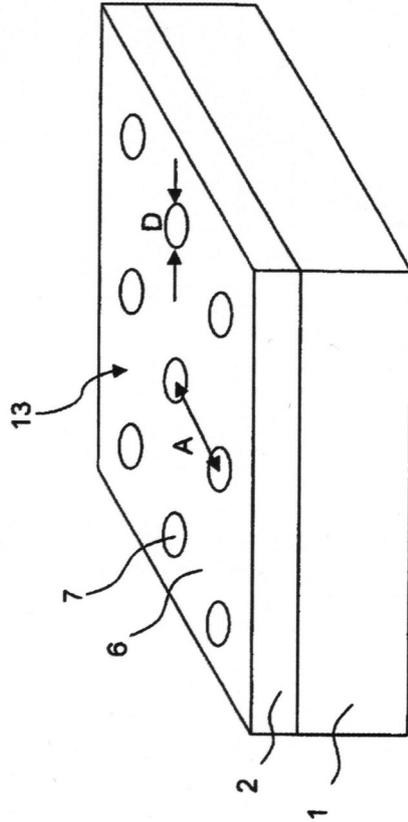


Fig. 7