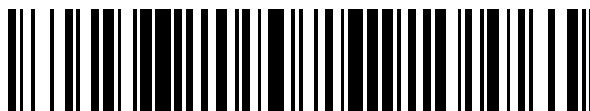


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 585 058**

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: **17.05.2013** **E 13725267 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.05.2016** **EP 2852987**

54 Título: **Método para producir sustratos para capas superconductoras**

30 Prioridad:

**21.05.2012 EP 12168636**

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

**03.10.2016**

73 Titular/es:

**DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET (100.0%)  
Anker Engelundsvej 1 Bygning 101 A  
2800 Lyngby, DK**

72 Inventor/es:

**WULFF, ANDERS CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 585 058 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 para producir sustratos para capas superconductoras

## 5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un método para producir sustratos, y en particular se refiere a sustratos adecuados para soportar un elemento superconductor alargado, y al correspondiente método para producir y usar tales sustratos.

10

## Antecedentes de la invención

Los sustratos superconductores se pueden considerar ventajosos dado que permiten conducir corriente sin pérdidas resistivas. Las estructuras superconductoras, tales como cintas superconductoras se usan de ese modo para diversas aplicaciones, tales como generadores y transformadores. Sin embargo, aunque poseen excelentes propiedades cuando portan corriente continua, pueden exhibir mayores pérdidas cuando se usan en aplicaciones de corriente alterna (CA).

15

Los medios para reducir pérdidas de CA que están disponibles en la actualidad pueden no adaptarse de forma sencilla al procesamiento de grandes longitudes de cinta superconductora.

20

En el documento de publicación de Patente US 7.593.758 B2 se presenta una cinta que tiene una capa de superconductor a alta temperatura que está segmentada. Tiras interruptoras, formadas en uno del sustrato de la cinta, una capa amortiguadora, y la capa superconductora crean discontinuidades paralelas en la capa superconductora que separan los elementos portadores de corriente de la capa superconductora en tiras o estructuras de tipo filamento. La segmentación de los elementos portadores de corriente tiene el efecto de reducir las pérdidas de CA. También se desvelan métodos para fabricar tal cinta superconductora y reducir las pérdidas de CA en tales cintas.

25

En el documento de publicación de Patente US 4.101.731 se presenta una estructura superconductora de múltiples filamentos compuesta, que incluye un filamento discreto pulverizado catódicamente, dirigido longitudinalmente, portador de sustrato alargado de un superconductor intermetálico de tipo A-15. En un procedimiento preferente, se forma una pluralidad de surcos generalmente longitudinales espaciados sobre la superficie de una estructura filamentosa alargada, preferentemente un hilo metálico. Las paredes de los surcos sobre la superficie del sustrato se conforman para socavar la superficie curvilínea del sustrato ubicado entre dos surcos adyacentes de modo que al menos algunas de las partes de la pared de los surcos queden sombreadas geoméricamente durante la etapa de pulverización catódica en la que se pulveriza catódicamente un superconductor sobre el sustrato. En particular, una película de un compuesto intermetálico superconductor adecuado que tiene estructura cristalina A-15, tal como Nb<sub>3</sub>Ge, se pulveriza catódicamente a continuación sobre el sustrato con surcos y se deposita en el fondo de los surcos y en las partes de la superficie del sustrato entre los surcos. Las partes de la pared sombreadas permanecen sustancialmente exentas de depósito de modo que los depósitos espaciados resultantes se prolongan en forma de líneas o bandas distintas a lo largo del sustrato para constituir de ese modo los filamentos superconductores. Si se desea, se puede consolidar una pluralidad de tales sustratos en una estructura compuesta adicional, agrupando los sustratos y haciendo pasar los mismos a través de un metal fundido. La estructura resultante se puede dimensionar a continuación para producir como un producto foral un material compuesto de los sustratos que portan los filamentos superconductores en una matriz circundante del metal.

30

35

40

45

Se puede considerar un problema de los métodos de la técnica anterior que no se pueden adaptar al procesamiento continuo de grandes longitudes de tal cinta, eficaz, barata, que permita bajo consumo de material y/o proporcione un buen sustrato para una cinta superconductora. Sería ventajoso disponer de un método para fabricar un sustrato para una cinta superconductora que tenga pérdidas de CA reducidas, en el que el método se pueda adaptar al procesamiento continuo de grandes longitudes de tal cinta y cuyo método fuera eficaz, barato y/o fuera un método que proporcione un sustrato mejorado para una cinta superconductora en comparación con la técnica anterior.

50

## 55 Sumario de la invención

Es un objetivo adicional de la presente invención proporcionar una alternativa a la técnica anterior.

En particular, se puede considerar un objetivo de la presente invención proporcionar un método de fabricación de un sustrato para una cinta superconductora que tenga pérdidas de CA reducidas que se pueda adaptar al procesamiento continuo de grandes longitudes de tal cinta y cuyo método sea eficaz, barato y/o que proporcione un sustrato mejorado para una cinta superconductora que solucione los problemas de la técnica anterior mencionados anteriormente.

60

De ese modo, el objetivo descrito anteriormente y otros objetivos diversos se pueden obtener en un primer aspecto de la invención proporcionando un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento

65

superconductor alargado, tal como una cinta superconductora que tiene pérdidas de CA reducidas, comprendiendo el método, tal como comprendiendo las etapas de:

- proporcionar un elemento sólido estratificado, comprendiendo el elemento sólido estratificado
  - o una capa inferior, *tal como una aleación basada en níquel, Hastelloy o acero inoxidable, y*
  - o una capa superior, *tal como una capa endurecida por gas, una capa endurecida por deformación, una capa de óxido, una capa de nitruro, una película de Kapton®, una cera o laca,*

en el que la capa superior se coloca adyacente a la capa inferior y cubre al menos parcialmente la capa inferior,

- formar, tal como formar en un proceso de deformación, una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior formando de ese modo una pluralidad de áreas expuestas de la capa inferior, donde cada área expuesta se forma a lo largo de una tira interruptora,
- grabar las áreas expuestas de modo que formen volúmenes socavados entre la capa superior y la capa inferior, donde cada volumen socavado se forma a lo largo de una tira interruptora, en la que se emplea un agente de grabado para el que la tasa de grabado para la capa inferior es mayor que la tasa de grabado para la capa superior.

La invención es particularmente, pero no exclusivamente, ventajosa para obtener un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, método que permite emplear un gran número de materiales de capa inferior, es decir, el método permite elegir entre numerosos materiales diferentes para la capa inferior, dado que no existe la necesidad de tasas de grabado anisotópicas con el fin de conseguir los elementos socavados. Otra ventaja puede ser que el método permite elegir entre numerosos materiales diferentes para la capa superior. Por ejemplo, la capa superior puede ser una capa amortiguadora, tal como la capa amortiguadora revestida por inmersión, que puede ser ventajosa en que cuando se forman las tiras interruptoras, las partes remanentes de la capa superior pueden estar disponibles inmediatamente para la deposición de una capa superconductora. Además, el sustrato generado mediante el método permite separar de forma eficaz líneas espaciadas estrechamente de material superconductor.

Se puede considerar que la parte esencial de la invención es proporcionar un método que en unas pocas etapas relativamente sencillas permite proporcionar un sustrato que se puede convertir en una estructura superconductora, tal como una cinta superconductora, que tiene pérdidas de CA reducidas. La percepción básica subyacente de la invención se puede describir como la percepción de que los volúmenes socavados (tales como volúmenes socavados en la estructura, tal como un elemento sólido estratificado) pueden ser útiles para capas separadoras de material que se colocan en la parte superior de la estructura que comprende los volúmenes socavados, y que los volúmenes socavados se pueden formar por grabado en un elemento sólido estratificado donde se ha introducido una anisotropía mediante la estructura estratificada (que también se puede denominar "estructura sándwich"), donde las capas difieren en las tasas de grabado unas con respecto a las otras, y donde se pueden formar tiras interruptoras en un proceso de deformación, un proceso de rayado, un proceso de molienda o un proceso de pulido o un proceso similar que permita retirar o desplazar la capa superior a lo largo de una línea y exponer de ese modo áreas de la capa inferior a lo largo de una tira. De ese modo, se pueden emplear en combinación etapas relativamente sencillas, por ejemplo endurecimiento (proporcionando de ese modo una capa superior en un elemento sólido estratificado), deformación (formando de ese modo tiras interruptoras) y grabado (formando de ese modo los elementos socavados), de modo que se pueda conseguir una solución al problema técnico de proporcionar un método que en unas pocas etapas relativamente sencillas permita proporcionar una estructura que se pueda convertir en una estructura superconductora. En otro conjunto de etapas relativamente, se puede formar una capa de óxido/nitruro como la capa superior, se pueden formar a continuación tiras interruptoras en esta capa de óxido/nitruro y se pueden formar elementos socavados mediante grabado. El elemento superconductor o la estructura superconductora se puede realizar, por ejemplo, por deposición de una capa de material superconductor en la parte superior del elemento sólido estratificado en la que se han formado elementos socavados a lo largo de tiras interruptoras. Los elementos socavados sirven para separar físicamente el material superconductor en cada lado de cada tira interruptora y el material superconductor en la tiras interruptoras, formando de ese modo de forma eficaz una capa superconductora estriada.

El método es además aplicable, tal como adecuado, para la fabricación a gran escala, dado que es un procedimiento relativamente sencillo, por ejemplo, para endurecer una superficie y preformar, por ejemplo, una deformación en la superficie endurecida, o un rayado en la superficie endurecida o una parte retirada por molienda en una parte de la superficie endurecida, incluso a gran escala. Esto está en contraposición, por ejemplo, con perfilar y grabar usando técnicas litográficas que no son aplicables para la fabricación a gran escala tal como una fotorresistencia que se tiene que revestir, exponer por ejemplo a luz UV y a continuación revelar para producir tiras protectoras que no se graban en un tratamiento de grabado posterior. Además, el material retirado no es reutilizable.

De ese modo, la fabricación a gran escala es posible con realizaciones de la invención y, además, es posible mientras se minimizan los costes de material.

Además, se pueden considerar las realizaciones de la invención como rentables, lo que está en contraposición, por ejemplo, con la eliminación mediante láser que no se considera rentable. También se puede considerar como una ventaja con respecto a la eliminación mediante láser que las realizaciones de la presente invención podrían no adolecer de redeposición del material eliminado.

5 Se ha de entender que las etapas no están dispuestas necesariamente en el orden en el que se van a llevar a cabo. Por ejemplo, en una realización la etapa de formar la pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior, se puede llevar a cabo antes de la etapa de proporcionar un elemento estratificado que comprende la capa inferior y la capa superior. Por ejemplo, se puede proporcionar una capa superior estriada, por ejemplo, por medio de una pluralidad  
10 de tiras de película de Kapton® que se colocan adyacentes a la capa inferior y cubren al menos parcialmente la capa inferior, de un modo tal que las áreas entre las tiras de película de Kapton® forman tiras interruptoras que llevan consigo las áreas expuestas. Sin embargo, en otra realización, la etapa de proporcionar el elemento sólido estratificado se puede llevar a cabo (por ejemplo, por oxidación o endurecimiento con gas de una parte superior de una capa superior primaria de un elemento sólido primario) antes de formar la pluralidad de tiras interruptoras en la  
15 capa superior.

En la presente solicitud, se entiende que "película de Kapton®" se refiere al producto bien conocido de DuPont™ que es una película de poli(4,4'-oxidifenileno-piromelitimida).

20 En otra realización más, las etapas están dispuestas en el orden en el que se van a llevar a cabo.

Por "un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado" se entiende un elemento sólido sobre el que se puede colocar un material superconductor, tal como depositar, de modo que el sustrato y el elemento superconductor puedan formar conjuntamente un elemento superconductor alargado. Por elemento  
25 superconductor alargado se entiende un elemento superconductor que puede conducir corriente a distancia en una dirección, donde la distancia es mayor, tal como considerablemente mayor, tal como 2, 5, 10, 100, 1.000, 10.000 o 100.000 veces mayor que la anchura del conductor en una dirección ortogonal a la dirección en la que se conduce la corriente.

30 En una realización particular, el sustrato es una "cinta", es decir, un elemento que tiene un espesor (longitud a lo largo de una primera dimensión) que es considerablemente menor, tal como 10, 100 o 1000 veces menor, que su anchura (longitud a lo largo de una segunda dimensión) y donde la anchura es considerablemente menor, tal como 10, 100 o 1000 veces menor, que su longitud (longitud a lo largo de una tercera dimensión).

35 Proporcionar un elemento sólido estratificado, se puede entender como uno cualquiera de: obtener un elemento sólido estratificado (prefabricado) y fabricar un elemento sólido estratificado. Fabricar un elemento sólido puede comprender, en realizaciones particulares, colocar una capa superior (de material) en la parte superior de una capa inferior (de material), o cambiar las propiedades de una parte superior del material, de modo que se consiga de forma eficaz una capa superior y una capa inferior (de un material que era previamente un material homogéneo). La  
40 etapa de colocar una capa superior de material en la parte superior de la capa inferior, se puede realizar colocando una película, tal como una película de Kapton®, una cera o una laca en la parte superior de la capa inferior. En diferentes realizaciones, se pueden formar tiras interruptoras en la capa superior antes y/o después de que se coloque sobre la capa inferior.

45 Por "una capa inferior" y una "capa superior" se entiende capas que se colocan adyacentes entre sí en una orientación paralela y que se desplazan una con respecto a la otra a lo largo de una dirección que es ortogonal al plano de cada una de las capas.

50 Se entiende que cuando la capa superior se desplaza adyacente a la capa inferior y cubre al menos parcialmente la capa inferior, entonces la capa superior puede proteger a la capa inferior de modo que un agente de grabado colocado sobre la capa superior pueda no acceder a la capa inferior, tal como al menos no acceder a las partes de la capa inferior que están cubiertas por la capa superior.

55 Por "tira interruptora" se entiende una línea de falta de material de la capa superior que separa el material de la capa superior en material de la capa superior a ambos lados de la tira interruptora. Una tira interruptora se puede considerar como una separación en un material de otro modo coherente. Si un material coherente, tal como una capa de material coherente, está atravesado por una tira interruptora, la continuidad del material coherente se interrumpe de ese modo en dos (capas de) materiales separados.

60 Por "áreas expuestas de la capa inferior" se entiende que las partes del material inferior, es decir, la capa inferior, que podrían haber estado cubiertas previamente por la capa superior, pueden estar expuestas, de modo que las áreas expuestas pueden ser susceptibles al grabado sin retirar partes adicionales de la capa superior.

65 Por "grabado de las áreas expuestas" se entiende que las áreas expuestas del material inferior se graban con un agente de grabado. El agente de grabado puede estar, en realizaciones particulares, en uno cualquiera de los

siguientes estados de la materia: plasma, líquido y gas. En una realización particular, se emplea grabado iónico reactivo (RIE).

Por lo que respecta a las direcciones, se entiende que cuando se hace referencia a "arriba" en un eje arriba-abajo que se define que está en una dirección ortogonal al plano de la interfase entre la capa superior e inferior, "arriba" está en la dirección desde la capa inferior a la capa superior, y viceversa para la dirección "abajo". Se entiende que el eje arriba-abajo es paralelo al eje y que se indica en las figuras, y que "arriba" está en la dirección positiva del eje y. Esta definición de dirección también se aplica cuando se usan los términos "superior" e "inferior" que se dan en su significado general.

Por "volúmenes socavados" se entiende volúmenes grabados en la capa inferior, volúmenes que pueden estar por debajo de las partes remanentes de la capa inferior y/o la capa superior. De ese modo, un volumen socavado puede estar sombreado por las partes salientes de la capa superior y/o la capa inferior. De ese modo, cuando se deposita un material en el sándwich que comprende la capa superior y la capa inferior (o la capa inferior, tal como solo la capa inferior, tal como después de la retirada de la capa superior), usando un proceso de visibilidad directa para la deposición de material en una dirección que sigue el eje arriba-abajo desde una posición superior al sándwich que comprende la capa superior y la capa inferior (o la capa inferior), y se han formado partes socavadas en la capa inferior, entonces el material no se deposita en las partes de la capa superior y la capa inferior (o la capa inferior) que bordea los volúmenes socavados.

Por un "agente de grabado para el que la tasa de grabado para la capa inferior es mayor que la tasa de grabado para la capa superior" se entiende un agente de grabado que graba más material del volumen socavado (es decir, graba más unidades de longitud por unidad de tiempo) en el material de la capa inferior que en el material de la capa superior.

Por "Hastelloy" se entiende una aleación en la que el ingrediente predominante de aleación es níquel y en la que se añaden otros ingredientes de aleación, tal como la aleación que comprende porcentajes variables de uno o más de, tal como la totalidad de, los elementos: molibdeno, cromo, cobalto, hierro, cobre, manganeso, titanio, circonio, aluminio, carbono, y tungsteno. En una realización particular, Hastelloy es una aleación que comprende los elementos Ni, Cr, Fe, Mo, Co, W, C. En una realización más particular, la aleación también comprende Ni, Cr, Fe, Mo, Co, W, C y uno o más de los elementos Mn, Si, Cu, Ti, Zr, Al y B. En una realización más particular, se entiende que la aleación comprende aproximadamente un 47 % en peso de Ni, un 22 % en peso de Cr, un 18 % en peso de Fe, un 9 % en peso de Mo, un 1,5 % en peso de Co, un 0,6 % en peso de W, un 0,10 % en peso de C, menos de un 1 % en peso de Mn, menos de un 1 % en peso de Si y menos de un 0,008 % en peso de B. Hastelloy se puede denominar en la técnica "superaleación" o "aleación de alto rendimiento".

El "acero inoxidable" se conoce generalmente en la técnica. En realizaciones particulares, se proporciona acero inoxidable con níquel y/o cromo, tal como proporcionar un acero inoxidable que es resistente a la corrosión y/o la oxidación, mecánicamente estable y no magnético a la temperatura de operación de la capa superconductora.

La invención puede incluir, en realizaciones particulares, tener una o más capas intermedias de material insertadas entre la capa superior e inferior, tal como tener una o más capas intermedias que separan la capa superior e inferior, tal como las una o más capas intermedias que funcionan como barrera para uno cualquiera de calor, corriente y difusión de átomos, iones y/o moléculas entre la capa superior e inferior. Una ventaja de tener una o más capas intermedias puede ser que las propiedades mecánicas mejoran, tal como hacer el elemento sólido estratificado más fuerte o más rígido. De ese modo, se entiende que la expresión "adyacente a" no implica necesariamente que la capa superior y la capa inferior estén en contacto físico directo. Sin embargo, en una realización específica, la capa superior y la capa inferior están en contacto físico directo.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, en el que los volúmenes socavados están por debajo de las partes remanentes de la capa inferior, tal como estar sombreados los volúmenes socavados por partes salientes de la capa inferior. De ese modo, se puede entender que los volúmenes socavados están colocados de modo que una parte de la capa inferior está por debajo de los volúmenes socavados y otra parte de la capa inferior está por encima del volumen socavado. Una posible ventaja de esta realización puede ser que los volúmenes socavados aún puedan estar presentes incluso si se retira la capa superior. Una posible ventaja de esto puede ser que la capa superior puede no ser considerada beneficiosa para el procesamiento adicional y/o para las propiedades de un elemento superconductor alargado final.

En una realización particular, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la etapa de

- formar una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior formando de ese modo una pluralidad de áreas expuestas de la capa inferior, donde cada área expuesta se forma a lo largo de una tira interruptora,

comprende un proceso de deformación. En una realización particular, el proceso de deformación comprende deformar, tal como comprimir, una parte de la capa inferior por debajo de las posiciones de las tiras interruptoras, de

modo que rebaje partes de la capa superior por debajo de la posición original del plano de la capa superior, de modo que se expongan áreas de la capa inferior.

5 Por "un proceso de deformación" se entiende un proceso en el que el material se deforma tal como mediante un proceso donde el material, tal como el material de la capa superior y/o la capa inferior, se deforma. Un proceso de deformación se puede entender como un proceso que implica fuerzas de contacto.

10 En realizaciones alternativas, el proceso de deformación se puede reemplazar por uno cualquiera de un proceso de corte, un proceso de rayado, un proceso de molienda y un proceso de pulido.

15 Por un "proceso de rayado" se entiende que una parte de la capa superior y posiblemente una parte de la capa superior se retira por rayado, tal como retirado por raspado.

15 Por "un proceso de molienda" se entiende que una parte de la capa superior y posiblemente una parte de la capa inferior se retira mediante un proceso de molienda o pulido, tal como retirado por raspado repetido de partes menores del material que se retira. Se entiende que un "proceso de pulido" es similar a un "proceso de molienda" en el presente contexto.

20 Por un "proceso de corte" se entiende un proceso en el que se desplaza material, tal como desplazado en lugar de retirado. Esto se puede conseguir usando una herramienta relativamente afilada.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la etapa de proporcionar el elemento sólido estratificado comprende

25 - proporcionar un elemento sólido primario, teniendo el elemento sólido primario una capa superior primaria que es sustancialmente uniforme,  
- formar la capa superior del elemento sólido estratificado mediante uno cualquiera de:

30 i. endurecer una parte superior de la capa superior primaria, tal como endurecer en un proceso de endurecimiento por gas,  
ii. dopar una parte superior de la capa superior primaria,  
iii. preparar una capa de óxido o una capa de nitruro en una parte superior de la capa superior primaria.

35 Se entiende que la capa superior primaria del elemento sólido primario se puede cambiar de ese modo por la capa superior (correspondiente a la parte superior de la capa superior primaria), y la capa inferior (correspondiente a la al menos una parte de la parte de la capa superior primaria que no es la capa superior primaria, tal como correspondiente a la parte de la capa superior primaria que no es la parte superior de la capa superior primaria).

40 Un proceso de endurecimiento por gas a modo de ejemplo podría comprender las etapas de calentar el sustrato a una temperatura elevada, tal como al menos 500 grados Celsius, tal como al menos 800 grados Celsius, tal como al menos 1000 grados Celsius, en un horno, y llenar el horno con un gas controlado (tal como nitrógeno, carbono, boro u oxígeno, que se pueden proporcionar con al menos un 99,9 % de pureza), de modo que se produzca el espesor deseado de la capa endurecida. El espesor de la capa endurecida se puede controlar variando la cantidad de tiempo que el gas controlado está en el horno, la temperatura en el horno y/o la composición del gas controlado. Un dopante para dopar podría ser nitrógeno, carbono, oxígeno. Una posible ventaja de emplear endurecimiento por gas podría ser que permite proporcionar un endurecimiento un uniforme.

50 Un proceso a modo de ejemplo para formar una capa de óxido o una capa de nitruro podría comprender las etapas de calentar el sustrato a una temperatura elevada, tal como al menos 500 grados Celsius, tal como al menos 800 grados Celsius, tal como al menos 1000 grados Celsius, en un horno, y llenar el horno con un gas controlado (tal como nitrógeno u oxígeno, que se pueden proporcionar con al menos un 99,9 % de pureza), de modo que produzca el espesor deseado de la capa de nitruro/óxido. El espesor de la capa endurecida se puede controlar variando la cantidad de tiempo que el gas controlado está en el horno, la temperatura en el horno y/o la composición del gas controlado.

55 La presente invención también incluye que se pueda formar una capa superior empleando procesos de métodos basados en difusión de sólidos, plasma y baño de sales.

60 En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la etapa de formar en un proceso de deformación una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior comprende presionar una parte de la capa superior en la capa inferior, tal como en una etapa de laminado, tal como en una etapa de laminado en frío, tal como cuando se transfiere el sustrato de cinta desde una bobina a otra, tal como en un proceso de estiramiento.

65 Por "presionar" se entiende una etapa de presionado que se entiende que es un etapa en la que el material se desplaza usando una fuerza de contacto compresiva aplicada a través de otro elemento, tal como un rodillo. Una

ventaja de emplear una etapa de presionado puede ser que permite la deformación del material, tal como la formación de una pluralidad de tiras interruptoras de forma simple, barata, y/o eficaz. En una realización particular, no se retira ningún material. Esto puede ser posible debido a que el material se desplaza, tal como comprimido. Otra posible ventaja de emplear una etapa de presionado puede ser que puede dar como resultado un endurecimiento, tal como un endurecimiento por deformación, que puede aumentar el límite elástico y/o la dureza globales del sustrato, tal como la dureza de la capa inferior.

Por un "proceso de estiramiento" se entiende un proceso en el que al menos la capa superior y una parte de la capa inferior se deforman en una deformación plástica, tal como en una deformación irreversible, tal como por estiramiento a través de un troquel de modo que cambie la forma del perfil. Por "perfil" se entiende la forma de la capa superior y una parte de la capa inferior en un plano, tal como una sección transversal, que es ortogonal a la dirección de estiramiento.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que el espesor de la capa superior del elemento sólido estratificado está dentro de 1 nm-100 micrómetros, tal como dentro de 10-1000 nm, tal como dentro de 0,1 nm-10 mm, tal como dentro de 1 nm-1 mm, tal como dentro de 1 nm-0,1 mm, tal como dentro de 1-10000 nm, tal como dentro de 1-1000 nm, tal como dentro de 1-100 nm, tal como dentro de 10 nm-1 mm, tal como dentro de 10 nm-0,1 mm, tal como dentro de 10 nm-10000 nm, tal como dentro de 10-1000 nm, tal como dentro de 100 nm-1 mm, tal como dentro de 100 nm-0,1 mm, tal como dentro de 100 nm-10000 nm, tal como dentro de 100-1000 nm, tal como menos de 10 nm, tal como menos de 100 nm, tal como menos de 1000 nm, tal como menos de 10000 nm, tal como menos de 0,1 mm, tal como menos de 1,0 mm, tal como menos de 10 mm. Una ventaja de tener un espesor relativamente delgado puede ser que reduce el tiempo para proporcionar la capa superior, tal como el tiempo de crecimiento o deposición del material de la capa superior. Una ventaja de que la capa superior no sea demasiado delgada puede ser que una capa demasiado delgada puede no ser lo suficientemente robusta.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la distancia entre tiras interruptoras dentro de la pluralidad de tiras interruptoras está dentro de 1 micrómetro-1 milímetro, tal como dentro de 10-100 micrómetros, tal como dentro de 0,1 nm-10 mm, tal como dentro de 1 nm -1000 micrómetros, tal como dentro de 1 nm-100 micrómetros, tal como dentro de 1 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 10 nm-1000 micrómetros, tal como dentro de 10 nm-100 micrómetros, tal como dentro de 10 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 100 nm-1000 micrómetros, tal como dentro de 100 nm-100 micrómetros, tal como dentro de 100 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 1-1000 micrómetros, tal como dentro de 1-100 micrómetros, tal como dentro de 1-10 micrómetros, tal como dentro de 10-1000 micrómetros, tal como dentro de 20-200 micrómetros, tal como dentro de 100-1000 micrómetros, tal como menos de 10 micrómetros, tal como menos de 100 micrómetros, tal como menos de 200 micrómetros, tal como menos de 1000 micrómetros, tal como menos de 10 mm. Una ventaja de tener la distancia entre tiras interruptoras adyacentes dentro de este intervalo puede ser que permite reducir las pérdidas de CA. Se ha de entender que la distancia entre las tiras interruptoras se mide en una dirección que es paralela al plano de la interfase entre la capa superior e inferior, y ortogonal a la dirección de las tiras interruptoras. Las tiras interruptoras pueden ser, en realizaciones particulares, sustancialmente paralelas, tal como paralelas.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la anchura de las tiras interruptoras puede ser 1 micrómetro, tal como 2 micrómetros, tal como 5 micrómetros, tal como 10 micrómetros, tal como 30 micrómetros, tal como 100 micrómetros, tal como 1 mm, tal como 4 mm, tal como 5 mm, tal como 10 mm, tal como dentro de 1 micrómetros-1 mm, tal como 1 micrómetro-10 mm, tal como 1 mm-10 mm. Una ventaja de tener la anchura en este intervalo puede ser que permite separar físicamente capas depositadas sobre el sustrato. Se ha de entender que la anchura se mide en una dirección que es paralela al plano de la interfase entre la capa superior e inferior, y ortogonal a la dirección de las tiras interruptoras.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la distancia entre un plano que es paralelo a la superficie superior de la capa inferior y la superficie superior de la capa superior, y un plano que es tangencial a la parte inferior de la pluralidad de tiras interruptoras es lo suficientemente grande para permitir que el material superconductor se coloque sobre el sustrato que tendrá partes en las tiras interruptoras y entre las tiras interruptoras cuyas partes están físicamente separadas. En realizaciones particulares, dicha distancia está dentro de 50 nm-10 micrómetros. Se entiende que cuando se hace referencia a "sobre el sustrato", el material superconductor se puede depositar sobre la capa superior (estando fuera de las tiras interruptoras) y dentro de las tiras interruptoras, pero también se entiende que, en realizaciones particulares, el método puede comprender retirar la capa superior en cuyas realizaciones el material superconductor se puede depositar sobre la capa inferior (estando fuera de las tiras interruptoras) y dentro de las tiras interruptoras.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la distancia entre un plano que es paralelo a una superficie superior de la capa inferior, y un plano que es tangencial a la parte inferior de la pluralidad de tiras interruptoras está dentro de 50 nm-

10 micrómetros, tal como dentro de 1-100 micrómetros, tal como dentro de 0,1 nm - 10 mm, tal como dentro de 1 nm -1000 micrómetros, tal como dentro de 1 nm -100 micrómetros, tal como dentro de 1 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 10 nm -1000 micrómetros, tal como dentro de 10 nm -100 micrómetros, tal como dentro de 10 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 0,1-1000 micrómetros, tal como dentro de 0,1-1000 micrómetros, tal como dentro de 0,1-100 micrómetros, tal como dentro de 0,1-10 micrómetros, tal como dentro de 1-1000 micrómetros, tal como dentro de 1-10 micrómetros, tal como dentro de 10-1000 micrómetros, tal como dentro de 10-100 micrómetros, tal como dentro de 10 micrómetros, tal como dentro de 100 micrómetros, tal como dentro de 200 micrómetros, tal como dentro de 1000 micrómetros, tal como dentro de 10 mm.

10 En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que la distancia entre un plano que es paralelo a una superficie superior de la capa superior, y un plano que es tangencial a la parte inferior de la pluralidad de tiras interruptoras está dentro de 50 nm-100 micrómetros, tal como dentro de 1-100 micrómetros, tal como dentro de 0,1 nm - 10 mm, tal como dentro de 1 nm -1000 micrómetros, tal como dentro de 1 nm -100 micrómetros, tal como dentro de 1 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 10 nm -1000 micrómetros, tal como dentro de 10 nm -100 micrómetros, tal como dentro de 10 nm-10 micrómetros, tal como dentro de 0,1-1000 micrómetros, tal como dentro de 0,1-1000 micrómetros, tal como dentro de 0,1-100 micrómetros, tal como dentro de 0,1-10 micrómetros, tal como dentro de 1-1000 micrómetros, tal como dentro de 1-10 micrómetros, tal como dentro de 10-1000 micrómetros, tal como dentro de 10-100 micrómetros, tal como dentro de 10 micrómetros, tal como dentro de 100 micrómetros, tal como dentro de 200 micrómetros, tal como dentro de 1000 micrómetros, tal como dentro de 10 mm.

25 En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como un método para producir un elemento superconductor alargado, en el que el método comprende además colocar, tal como depositar, una capa de material superconductor sobre la capa superior y/o la capa inferior del elemento sólido estratificado de modo que los volúmenes socavados sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor. Una ventaja de colocar una capa de material superconductor sobre la capa superior y/o la capa inferior del elemento sólido estratificado puede ser que permite proporcionar una estructura superconductora. Una ventaja de colocar una capa de material superconductor sobre la capa superior y/o la capa inferior del elemento sólido estratificado de modo que los volúmenes socavados sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor puede ser que permite proporcionar una pluralidad de líneas de material superconductor que están separadas físicamente y por lo tanto se reduce de forma eficaz las pérdidas de CA. Una posible ventaja es que permite un bajo consumo de material, dado que no se necesita retirar ningún material superconductor con el fin de realizar la separación física.

35 En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como un método para producir un elemento superconductor alargado, en el que el método comprende además colocar, *tal como depositar*,

- una capa de material amortiguador sobre la capa superior y/o la capa inferior del elemento sólido estratificado, y
- una capa de material superconductor sobre el material amortiguador,

de modo que los volúmenes socavados sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor y/o material amortiguador.

45 Una posible ventaja de colocar una capa de material amortiguador sobre la capa superior y/o la capa inferior del elemento sólido estratificado puede ser que permite colocar una capa de material superconductor en la parte superior de la capa amortiguadora, donde las propiedades superconductoras de las capas superconductoras mejoran y/o se protegen al colocarse sobre la capa amortiguadora, a diferencia de colocarlas directamente sobre la capa superior y/o la capa inferior. Más específicamente, el material superconductor se puede mejorar dado que el material amortiguador puede proporcionar una textura que es ventajosa en términos de mejorar las propiedades superconductoras del material superconductor. Por ejemplo, si un sustrato tiene un sustrato relativamente rugoso, entonces colocar una capa amortiguadora sobre tal sustrato puede permitir conseguir una rugosidad (del amortiguador - y por lo tanto la superficie sobre la que se coloca la capa superconductora) de, por ejemplo, 0,1 nm<sub>RMS</sub> -10 nm<sub>RMS</sub>. Más específicamente, se puede proteger el material superconductor dado que el material amortiguador puede proporcionar una barrera frente a elementos potencialmente perjudiciales (en términos de propiedades superconductoras), tales como átomos, iones y/o moléculas que se podrían difundir desde la capa superior y/o la capa inferior y en el material superconductor, y empeorar de ese modo las propiedades superconductoras. Una ventaja de colocar una capa de material superconductor sobre el material amortiguador puede ser que permite proporcionar una estructura superconductora. Una ventaja de hacerlo de modo que los volúmenes socavados sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor y/o material amortiguador puede ser que permite proporcionar una pluralidad de líneas de material superconductor que están separadas físicamente y por lo tanto reduce de forma eficaz las pérdidas de CA. El espesor de la capa del material superconductor (en una dirección ortogonal al plano de la capa superior y la capa inferior) puede ser 100 nm, tal como 1000 nm, tal como 3 micrómetros, tal como 5 micrómetros, tal como dentro del intervalo de 100 nm-3 micrómetros, tal como dentro del intervalo de 100 nm-5 micrómetros. Se ha de observar que la ventaja de tener



capas superconductoras relativamente delgadas puede ser que las capas demasiado gruesas se vuelvan quebradizas y se puedan fracturar tras doblarse/enrollarse, por ejemplo, en una bobina. Se conoce que las capas superconductoras muy gruesas (fabricadas con óxido de itrio, bario y cobre, un compuesto químico cristalino con la fórmula  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO)) tienen una menor densidad de corriente crítica en comparación con las capas más delgadas. Múltiples capas de YBCO con capas amortiguadoras intermedias es un método para producir una pila superconductora gruesa eficaz con una corriente crítica global mayor.

Se entiende que con el fin de obtener la ventaja de tener líneas adyacentes desacopladas eléctricamente, puede no ser necesario que las líneas de la capa de material que es superconductor cuando se colocan sobre el material amortiguador se separen físicamente de las líneas adyacentes. Puede ser suficiente que las líneas de material amortiguador se separen de modo que la capa de material superconductor sea solo superconductora a lo largo (y por encima) de las líneas de material amortiguador, mientras que las correspondientes líneas de material intermedias no sean superconductoras.

En una realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como un método para producir un elemento superconductor alargado, en el que el método comprende además colocar, tal como depositar, una capa de material superconductor sobre la capa superior y/o la capa inferior del elemento sólido estratificado de modo que los volúmenes socavados sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor, y el método comprende además colocar, tal como depositar,

- una capa de material amortiguador sobre el material superconductor, tal como sobre la superficie del material superconductor, tal como en el lado del material superconductor que está lejos de la capa inferior.

La fuerte textura y el crecimiento epitaxial de, por ejemplo, YBCO superconductor puede ser difícil de obtener para capas muy gruesas (tales como 500 nm-5  $\mu$ m de espesor). Se ha de observar que la textura y el crecimiento epitaxial empeoran con altos espesores de capa de YBCO superconductor. Una posible ventaja de colocar una capa (extra) de material amortiguador sobre el material superconductor puede ser que las propiedades superconductoras de una capa superconductora adicional (depositada sobre la parte superior de la capa amortiguadora extra) pueden mejorar, dado que la capa amortiguadora (extra) aumenta de nuevo la fracción de textura y el nivel de crecimiento epitaxial. De ese modo, una posible ventaja de colocar una capa de material amortiguador sobre el material superconductor puede ser que permite formar una "pila" de películas superconductoras de alta calidad.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como un método para producir un elemento superconductor alargado, donde la etapa de colocar, *tal como depositar*, una capa de material superconductor y/o material amortiguador es un proceso de visibilidad directa, tal como un proceso de deposición física de vapor, tal como un proceso de deposición pulsada por láser, tal como pulverización catódica RF, tal como evaporación mediante haz E, tal como deposición asistida por haz iónico (IBAD).

Por un proceso "visualmente directo" se entiende cualquier proceso que permita depositar material solo en las posiciones de un sustrato que se pueden observar a lo largo de una línea recta desde otra posición, tal como una posición por encima del sustrato. De ese modo, un proceso "visualmente directo" pretende comprender ampliamente procesos donde el material depositado sigue líneas rectas antes de la deposición y procesos para deposición que tienen un efecto similar. En una realización particular, el proceso visualmente directo es uno cualquiera de revestimiento por troquel, revestimiento por inyección de burbuja y revestimiento por inyección de tinta.

Una posible ventaja de usar un proceso de visibilidad directa puede ser que permite depositar material solo fuera de los volúmenes socavados, y de ese modo permite conseguir simultáneamente en una etapa sencilla la deposición de material fuera de los volúmenes socavados y conseguir que no exista ninguna deposición de material dentro de los volúmenes socavados.

En realizaciones particulares, se entiende que "visualmente directo" es un proceso en el que el material depositado tiene su origen en una fuente y viaja en una línea directa desde la misma a la posición donde se deposita. En otras palabras, solo se puede depositar material en posiciones desde las que se puede dibujar una línea recta a la fuente que no atraviesa ningún obstáculo. En una realización particular, la fuente está por encima de los volúmenes socavados. En otra realización, la fuente está tan alejada por encima de la capa inferior, que las líneas virtuales desde la fuente a diferentes posiciones dentro de los volúmenes socavados son básicamente paralelas.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como un método para producir un elemento superconductor alargado, en el que el método comprende además colocar una capa de derivación sobre la capa de material superconductor.

Por una "capa de derivación" se entiende una capa de material que se coloca sobre la capa de material superconductor, que tiene alta conductividad térmica y alta conductividad eléctrica. Una ventaja de tener una capa de derivación puede ser que si una capa superconductora subyacente no conduce bien en cierto punto, la corriente

puede pasar este punto (de baja conductividad) a través de la capa de derivación (de alta conductividad) evitando de ese modo un fallo de la estructura debido al calentamiento resistivo. Algunos materiales a modo de ejemplo de la capa de derivación pueden comprender plata (Ag) y/o cobre (Cu) y/u oro (Au). La capa de derivación no es químicamente activa con respecto a la capa de material superconductor. Los volúmenes socavados puede ser ventajosos con respecto a la capa de derivación ya que los volúmenes socavados asociados a las tiras interruptoras también puede separar físicamente la capa de derivación, tal como separar físicamente el material de capa de derivación a cualquier lado de cada tira interruptora y el material de capa de derivación dentro de la tira interruptora, formando de ese modo de forma eficaz una capa de derivación estriada, tal como convirtiendo la capa de derivación en tiras de material de capa de derivación. Una ventaja de formar una capa de derivación estriada puede ser que permite retirar el contacto de alta conductividad (a través de la capa de derivación) entre las líneas de material superconductor, que también están separadas por los volúmenes socavados, mientras que aún se puede conducir térmicamente a la estructura de soporte exterior y permitir que la corriente pase por puntos potenciales de baja conductividad (en paralelo a la dirección normal de corriente) permitiendo de este modo tanto la refrigeración como la protección normales del superconductor en el caso de una inactivación. La capa de derivación se puede colocar sobre el material superconductor mediante métodos conocidos en la técnica, tales como mediante deposición, deposición por pulverización catódica, deposición electroquímica, deposición galvánica, o métodos similares.

En otra realización, se proporciona un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como un método para producir un elemento superconductor alargado, en la que el método comprende además introducir cortes transversales virtuales en el sustrato, la capa amortiguadora y/o el material superconductor. Tales cortes transversales virtuales pueden ser beneficiosos para reducir la pérdida de CA. Los cortes transversales virtuales se describen en la referencia "AC Loss Reduction in Filamentized YBCO Coated Conductors With Virtual Transverse Cross-Cuts", Zhang *et al.*, IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, VOL. 21, n.º 3, junio de 2011, 3301-3306, que se incorpora por la presente por referencia en su totalidad.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención, se proporciona un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como una cinta superconductora que tiene pérdidas de CA reducidas, comprendiendo el sustrato:

un elemento sólido estratificado, comprendiendo el elemento sólido estratificado

- una capa inferior, *tal como una aleación basada en níquel, y*
- líneas de una capa superior, *tal como una capa endurecida por gas, tal como una capa endurecida por deformación, tal como una capa de óxido,*

en el que las líneas de la capa superior se colocan adyacentes a la capa inferior y cubren parcialmente la capa inferior,

en el que una pluralidad de tiras interruptoras entre las líneas de la capa superior separa las líneas de la capa inferior,

y en el que están presentes volúmenes socavados entre las líneas de la capa superior y la capa inferior, donde cada volumen socavado se forma a lo largo de una tira interruptora.

En otra realización, se proporciona un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, en la que el sustrato es una cinta.

De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un elemento superconductor alargado que comprende:

- un sustrato de acuerdo con el segundo aspecto,
- una capa superconductora colocada, tal como depositada, sobre el sustrato de modo que los volúmenes socavados separen físicamente líneas individuales de material superconductor.

De acuerdo con un cuarto aspecto de la invención, se proporciona un uso de un elemento superconductor alargado de acuerdo con el tercer aspecto, en uno cualquiera de una bobina magnética de rendimiento, un transformador, un generador, un escáner de resonancia magnética, un imán de criostato, un acelerador de partículas, un gran colisionador de hadrones, un cable de red eléctrica de CA, una red eléctrica inteligente.

De acuerdo con un quinto aspecto, se proporciona un aparato para llevar a cabo, tal como disponer, el método de acuerdo con el quinto aspecto.

El primero, segundo, tercero, cuarto y quinto aspectos de la presente invención se pueden combinar cada uno con cualquiera de los demás aspectos. Estos y otros aspectos de la invención serán evidentes a partir de y se aclararán por referencia a las realizaciones descritas posteriormente en el presente documento.

Breve descripción de las figuras

5 El primero, segundo, tercero y cuarto aspectos de acuerdo con la invención se describirán a continuación con mayor detalle con respecto a las figuras acompañantes. Las figuras muestran una forma de implementar la presente invención y no se pretende que sean limitantes para otras posibles realizaciones que entren dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjuntas.

10 La Figura 1 muestra una estructura superconductora habitual,  
 la Figura 2 ilustra un superconductor no estriado (a) y estriado (b),  
 la Figura 3 muestra las etapas de un proceso de fabricación,  
 15 las Figuras 4-5 muestra en una etapa de deformación llevada a cabo durante laminado en frío convencional,  
 la Figura 6 muestra etapas de un proceso de fabricación,  
 la Figura 7 ilustra las dimensiones de las tiras interruptoras,  
 20 la Figura 8 ilustra las dimensiones de una estructura superconductora,  
 las Figuras 9-13 muestra una muestra proporcionada de acuerdo con el método del EJEMPLO A,  
 la Figura 14 muestra una imagen de una muestra producida usando el método del EJEMPLO A,  
 25 la Figura 15 es una figura esquemática que muestra un rodillo superior e inferior,  
 la Figura 16 muestra una imagen de la vista superior de una muestra producida usando la parte de revestimiento y laminado del EJEMPLO B,  
 30 la Figura 17 es una imagen de una sección transversal de una muestra producida usando el EJEMPLO B,  
 la Figura 18 muestra una figura esquemática del método descrito en el EJEMPLO C,  
 35 la Figura 19 muestra una figura esquemática del método descrito en el Ejemplo F,  
 la Figura 20 es una ilustración esquemática de un método de acuerdo con el EJEMPLO I,  
 la Figura 21 muestra una imagen de microscopia óptica de la vista superior de una muestra producida usando el "EJEMPLO A", donde se usa una película para protección durante grabado,  
 40 la Figura 22 muestra un aparato para llevar a cabo el método de acuerdo con el primer aspecto.

45 Descripción detallada de una realización

La Figura 1 muestra una estructura superconductora habitual, que es una estructura en sándwich que comprende un sustrato 106, una capa amortiguadora 104 y el material superconductor 102. En la presente figura, se supone que la corriente fluye a través del material superconductor 102 en la dirección z.

50 Cuando el material superconductor es una capa relativamente ancha (donde la anchura se mide en la dirección x) de material, tal como cuando se forma como una capa sobre un sustrato plano ancho, la capa superconductora exhibe pérdidas de CA relativamente grandes que se podrían reducir convirtiendo la capa superconductora ancha individual en una pluralidad de líneas relativamente estrechas (es decir, líneas con secciones transversales en el plano yx donde las anchuras medidas en la dirección x son menores en comparación con la capa ancha original).

55 La Figura 2 es una pista superior de un material superconductor, donde el lado izquierdo (a) ilustra un superconductor 208 no estriado formado en una capa plana, y el lado derecho (b) ilustra un superconductor estriado, donde las líneas individuales 210 de material superconductor que se han formado están separadas de líneas adyacentes de material superconductor mediante líneas 212 no superconductoras. Se entiende que la corriente circula en una dirección paralela a las líneas, y que la anchura es la dimensión de las líneas en una dirección ortogonal a la dirección de la corriente.

60

Debido a efectos electromagnéticos, están presentes pérdidas de CA en las cintas superconductoras, y este problema aumenta con la anchura del superconductor. Por lo tanto, se sugiere superar este problema reemplazando la capa superconductora ancha (correspondiente a la capa superconductora de la Figura 2(b)) mediante una

65

pluralidad de líneas superconductoras delgadas (correspondientes a las líneas adyacentes separadas de la Figura 2(a)).

5 La Figura 3 muestra las etapas de un proceso de fabricación, y de ese modo ilustra un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, tal como una cinta superconductora que tiene pérdidas de CA reducidas.

10 La Figura 3A muestra una vista en perspectiva de un elemento 202 sólido primario, teniendo el elemento 202 sólido primario una capa 314 superior primaria que es básicamente un informe.

Generalmente, el material del elemento sólido primario (cinta/alambre/cilindro) en unas condiciones según se lamina (o según se prepara) y, por ejemplo, con un espesor cercano al espesor final, se puede recocer total o parcialmente durante un tratamiento térmico en una atmósfera o aire protectores.

15 La Figura 3B muestra una vista lateral del elemento sólido primario donde se puede ver el lado del elemento 202 sólido primario.

20 La Figura 3C muestra un método de fabricación de un elemento sólido estratificado, comprendiendo el método formar la capa superior 316 del elemento sólido estratificado por endurecimiento de una parte superior de la capa 314 superior primaria, tal como el endurecimiento en un proceso de endurecimiento por gas, como se ilustra mediante los átomos 318 de gas que se difunden en la capa 314 superior primaria. La parte inferior del elemento 202 sólido primario se denomina capa inferior 303. Alternativamente, el endurecimiento se podría llevar a cabo usando dopado de la parte superior de la capa 314 superior primaria, o preparación de una capa de óxido o nitruro.

25 La figura muestra de ese modo un método de fabricación de un elemento sólido estratificado, comprendiendo el elemento sólido estratificado una capa inferior 303, tal como una aleación basada en níquel, y una capa superior 316, tal como una capa endurecida por gas, en el que la capa superior se coloca adyacente a la capa inferior y cubre al menos parcialmente la capa inferior.

30 Se llevará a cabo un endurecimiento superficial (o dopado superficial) con el fin de cambiar significativamente la tasa de grabado entre la capa superior 316 y la capa inferior 303 (por ejemplo, material voluminoso). Esto se puede conseguir usando una disolución de átomos de nitrógeno en la región superficial (por ejemplo, 10-1000 nm). El espesor de la capa real se puede optimizar aplicando diferentes átomos dopantes, duraciones, temperaturas y presiones.

35 La Figura 3D muestra la preparación para una etapa de deformación, siendo la etapa de deformación una etapa de presión, tal como una etapa de laminado en frío, donde un elemento 320 de presión está listo para presionar con una fuerza 322 en la capa superior 316, a través de la capa superior 316 y en la capa inferior 303. La figura indica además un espesor 360 de la capa inferior 303, y un espesor 362 de la capa superior. Los dos espesores se miden en la dirección y.

La Figura 3E muestra la etapa de presión, donde se ha presionado un elemento 320 de presión con una fuerza 322 en la capa superior 316, a través de la capa superior 316 y en la capa inferior 303.

45 De ese modo, en las figuras 3D-E se muestra de ese modo un ejemplo de un proceso de deformación en el que una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior 316 (aunque se muestra solo una en la figura).

50 De este modo, se puede preparar un perfil superficial con tiras estrechas (por ejemplo, 10-100  $\mu\text{m}$  de ancho y 1-100  $\mu\text{m}$  de profundidad) mediante deformación mecánica (por ejemplo, laminado en frío). Los perfiles resultantes se pueden optimizar con respecto a lo afilado del borde a través del procedimiento de recocido mencionado anteriormente para producir el perfil más apropiado para posterior grabado.

55 La Figura 3F muestra la situación después de la etapa de presión donde se forma una pluralidad de áreas expuestas 323 de la capa inferior 303, donde cada área expuesta se forma a lo largo de una tira interruptora. La capa superior se ha separado en las partes superiores 324, 326 y las partes inferiores 317.

60 La Figura 3G muestra una situación después de grabado de las áreas expuestas 323 de modo que forman una cavidad que forma una tira interruptora 328 con volúmenes socavados 330, 332 entre la capa superior 324, 326 y la capa inferior 303, tal como formando partes de la capa inferior que están sombreadas cuando se observan desde arriba, donde cada volumen socavado se forma a lo largo de una tira interruptora, en el que se emplea un agente de grabado para el que la tasa de grabado para la capa inferior 303 es mayor que la tasa de grabado para la capa superior 316 (o las partes separadas 324, 326, 317).

65 El grabado se puede llevar a cabo por inmersión del material de sustrato en una solución ácida (por ejemplo,  $3\text{H}_2\text{O}$ :  $2\text{HNO}_3$ : HF) durante aproximadamente 5 minutos, tal como 5 minutos. Se puede introducir además una etapa de electropulido (o en lugar de la inmersión) para controlar la tasa de grabado del ácido individual aplicado en el

experimento lo que también permite la reducción de la rugosidad superficial. El ácido residual se puede retirar usando un flujo de agua destilada/etanol.

5 El perfil superficial resultante, el perfil de sección transversal y la textura superficial se pueden inspeccionar usando medios para medir la microtextura, tal como un microscopio de barrido electrónico (SEM) equipado con un detector de difracción de electrones por retrodispersión (EBSD) y que puede emplear, en una realización particular, software para medir y analizar la textura, tal como el software Technology-Channel 5 de HKL. Se ha de observar que las mediciones de textura pueden ser únicamente necesarias para materiales de sustrato texturado.

10 La Figura 3H muestra una situación similar a la situación de la Figura 3G, donde también se han retirado las partes separadas 324, 326, 317 de la capa superior 316.

Las Figuras 4-5 muestran una etapa de presión llevada a cabo durante laminado en frío.

15 La Figura 4 muestra un elemento 414 relativamente grueso que se trata mediante un rodillo superior 416 y un rodillo inferior 418 de modo que se transforma en un elemento 420 más delgado.

20 La Figura 5 muestra una realización más específica de laminado, en el que se da forma al rodillo 516 perfilado de modo que permita presionar solo partes seleccionadas del elemento 514 cuando se lamina en la dirección 522, formando de ese modo una pluralidad de tiras deprimidas.

Los sustratos texturados biaxiales asistidos por laminación (RABiTS) servirán como ejemplo para la técnica.

25 El laminado mecánico se aplica a una barra metálica y se lamina en forma de una cinta (véase la Figura 4). Posteriormente se lleva a cabo el recocido a altas temperaturas y una secuencia de recocido en dos etapas es beneficiosa para la formación de textura. A continuación, los RABiTS se endurecen, dopan y/u oxidan superficialmente, por ejemplo, en un horno de gas (véase la Figura 3C) que también puede actuar como tratamiento de recocido. Los perfiles (véanse las Figuras 3D-E, y/o la Figura 5) se preparan por introducción de una etapa de laminado extra con un rodillo perfilado (similar al rodillo 516) en el extremo de la producción de cinta antes/después del tratamiento térmico de recocido. Se lleva a cabo el grabado usando un sistema de baño de grabado de carrete a carrete y a continuación limpieza con agua destilada/etanol. Se ha de observar que la calidad superficial de los RABiTS (para algunas producciones) se optimiza mediante pulido electroquímico.

35 La Figura 6 muestra las etapas de un proceso de fabricación para producir un elemento superconductor alargado.

La Figura 6A muestra una situación similar a la situación de la Figura 3H.

40 La Figura 6B muestra la colocación, tal como deposición, de una capa de material amortiguador 640 sobre la capa inferior 303 del elemento sólido estratificado. La capa inferior 303 y el material amortiguador 640 forman un sustrato 600 a modo de ejemplo adecuado para soportar un elemento superconductor alargado.

45 Se pueden colocar una pila de capas amortiguadoras cerámicas (por ejemplo,  $Y_2O_3/YSZ/CeO_2$  para sustratos texturados) y una capa superconductor (tal como  $YBa_2Cu_3O_7$ ), tal como depositadas, tal como depositadas mediante deposición pulsada por láser (PLD) usando ajustes convencionales, sobre la capa inferior 303 del elemento sólido estratificado.

50 La Figura 6C muestra la colocación de una capa de material superconductor 642, 644, 646 sobre el material amortiguador, de modo que los volúmenes socavados sirven para separar físicamente líneas individuales de material superconductor. Se entiende que la distancia 648 entre la parte inferior de las tiras interruptoras y la capa de material del sustrato es lo suficientemente grande para asegurar que las partes separadas 642, 644, 646 de la capa de material superconductor sobre el material amortiguador estén separadas físicamente.

55 La deposición de capas amortiguadoras cerámicas y la capa superconductor (donde al menos una capa se deposita mediante una técnica de vapor física/deposición direccional) depositará únicamente material sobre las superficies horizontales del sustrato. Se consigue un desacoplamiento de tira completo a través de las partes socavadas, y además se minimiza el uso de material. También se podrán desacoplar capas adicionales (plata/cobre) añadidas a la parte superior de la capa superconductor.

60 El rendimiento del material superconductor con respecto a la densidad de corriente crítica ( $J_c$ ), la corriente crítica ( $I_c$ ), las pérdidas de CA (W) y la dependencia de frecuencia ( $f_d$ ) se puede medir mediante mediciones de muestras por vibración y mediciones de transporte en muestras de modelo pequeño ( $5 \times 5 \text{ mm}^2$ ) con diversos campos y temperaturas aplicados. A escala completa, por ejemplo, la cinta superconductor se podría enrollar en una bobina y someter a ensayo a 77 K aplicando diversos campos magnéticos y corrientes de transporte.

65 Se ha de observar que una posible ventaja de las realizaciones de la invención puede ser que se puede soportar una mayor corriente crítica ( $I_c$ ) para una estructura que tiene una cierta anchura. Una explicación de esto es que la

anchura total de las partes separadas 642, 644, 646 de la capa de material superconductor es relativamente grande en comparación con las soluciones de la técnica anterior donde el material entre las líneas de material superconductor se hace no superconductor, véase, la realización mostrada en la Figura 2, donde la anchura total del superconductor estriado (en la Figura 2(b)) es aproximadamente la mitad que la anchura del superconductor no estriado (en la Figura 2(a)). En comparación con las realizaciones de la presente invención, la anchura total del superconductor estriado puede ser más de 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 o 0,95 o 0,99 veces la anchura del superconductor no estriado, dado que el material superconductor se puede colocar entre o dentro de las tiras interruptoras.

La Figura 7 ilustra las dimensiones de las tiras interruptoras. La figura muestra una situación similar a la Figura 3H o la Figura 6A, aunque la presente figura muestra una tira interruptora 328 adicional formada en la capa inferior 703. Además se indica una distancia 748 entre un plano que es paralelo a una superficie superior de la capa inferior, y un plano que es tangencial a la parte inferior de la pluralidad de las tiras interruptoras está dentro de la profundidad de las tiras interruptoras en la capa inferior medida en la dirección y. Además se indica una anchura 750 de las tiras interruptoras en la capa inferior medida en la dirección x, pudiendo ser la anchura, en realizaciones ejemplares, 1 micrómetro, tal como 2 micrómetros, tal como 5 micrómetros, tal como 10 micrómetros, tal como 30 micrómetros, tal como 100 micrómetros, tal como 1 mm, tal como dentro de 1 micrómetro-1 mm. Además se indica una distancia 752 entre tiras interruptoras adyacentes dentro de la pluralidad de tiras interruptoras que se mide en la dirección x.

La Figura 8 ilustra las dimensiones de una estructura superconductora que tiene un espesor 854 (longitud a lo largo de una primera dimensión, que está en el eje y) que es significativamente menor, tal como un 10, 100 o 1000 veces menor, que su anchura 856 (longitud por largo de una segunda dimensión, que es paralela al eje x) y donde la anchura 856 es significativamente menor, tal como 10, 100, o 1000 veces menor, que (la longitud a lo largo de una tercera dimensión, que es paralela al eje z). La figura muestra además dos capas 842, 844 de material superconductor en la parte superior de la capa inferior 803. El espesor 854 puede ser, en realizaciones a modo de ejemplo, 10 micrómetros, tal como 20, tal como 50 micrómetros, tal como 100 micrómetros, tal como 1 mm, tal como dentro de 10 micrómetros-1 mm. La anchura 856 puede ser, en realizaciones a modo de ejemplo, puede ser en realizaciones particulares, 1 micrómetro, tal como 10 micrómetros, tal como 100 micrómetros, tal como 1 mm, tal como 10 mm, tal como 100 mm, tal como 1 m, tal como dentro de 1 micrómetro-1 m. La longitud 858 puede ser, en realizaciones particulares, 1 m, tal como 100 m, tal como 1 km, tal como 20 km, tal como 100 km, tal como más de 100 km, tal como dentro de 1 m-30 km, tal como dentro de 1 km-30 km.

## Ejemplos

### EJEMPLO A -Cintas de "revestimiento-corte-grabado"

#### A1. Provisión de la capa superior: capa superficial/revestimiento

Los materiales de partida fueron cintas de Hastelloy C276 disponibles en el mercado, suministradas reconocidas, y con un acabado superficial brillante, de Stahlwerk Ergste Westig GmbH. La cinta de Hastelloy se puede considerar un elemento sólido primario. Las muestras con dimensiones habituales; ~100 mm de longitud, ~10 mm de anchura y ~0,1 mm de espesor, se limpiaron en un baño ultrasónico usando una mezcla (10:1) de acetona y etanol durante 25 min, a continuación se sumergieron en etanol, y se secaron con aire comprimido. Posteriormente, se realizó un tratamiento térmico de las muestras a 800-1000 °C durante 3 h en un horno de tubo abierto equipado con un ventilador con el fin de suministrar la suficiente cantidad de aire nuevo mientras se hacía crecer una capa superficial/revestimiento (óxido/nitruro). La capa superficial se puede considerar la capa superior. Un portamuestras basado en cuarzo permitió la colocación erguida de la muestra de modo que ninguno de los lados de la cinta, es decir, los dos lados que son paralelos al plano de la cinta, estuvieran en contacto con el contenedor de muestras.

Puede ser ventajoso evitar colocar la cinta con un lado hacia abajo dado que, por lo general, puede dar como resultado una capa superficial no homogénea, áspera y porosa (óxido/nitruro).

#### A2. Formación de las tiras interruptoras: corte de líneas interruptoras

Se usaron un escalpelo convencional y una regla de plástico para cortar manualmente las líneas interruptoras paralelas, con un espaciado de aproximadamente 1 mm, en la capa superficial de las cintas revestidas con óxido/nitruro. Por lo general, se realizaron uno, o más, cortes hasta que fueron claramente evidentes líneas brillantes durante inspección visual. Las líneas brillantes indican que se forman áreas expuestas. Se cortaron muestras más cortas con una longitud de aproximadamente 20 mm a partir de las cintas usando unas tijeras de papel convencionales.

La parte final de la muestra, que ya no estaba revestida con la capa superficial debido al corte, se protegió usando películas de Kapton®. Se dobló aproximadamente 1 mm alrededor de la parte final sobre el área de las líneas interruptoras y también se aplicó firmemente sobre la parte posterior de las muestras cubriendo de ese modo por lo general la parte posterior de la muestra también.

A3. Grabado de las áreas expuestas de modo que formen elementos socavados: grabado de elementos socavados

5 Un recipiente de vidrio con 50 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 15 % a 20 °C se agitó usando un agitador magnético revestido de plástico convencional. Un electrodo de acero inoxidable con dimensiones; longitud = 50 mm, anchura = 10 mm y espesor = 2 mm, se colocó en el recipiente de vidrio y se conectó a la salida negativa de suministro de energía. Se conectó una muestra al extremo positivo del suministro de energía usando una pinza de contacto que se colocó enfrente de la protección de la cinta. La distancia entre la muestra y el electrodo de acero inoxidable fue aproximadamente 20 mm. Se insertó un amperímetro entre el suministro de energía y la pinza de contacto. La muestra se retorció mientras se mantenía firmemente la pinza para asegurar suficiente contacto eléctrico entre la pinza y la muestra.

15 Se sumergieron aproximadamente 10 mm de la muestra en el ácido y se aplicó una corriente, tal como una corriente de 400 mA, 425 mA o 450 mA (con una tensión aproximadamente 2 V), durante 60 segundos. La muestra se limpió posteriormente usando tres baños de agua distintos, comprendiendo la limpieza las etapas de aclarar en cada baño durante aproximadamente 2 minutos, y finalmente secar la muestra usando un tejido de papel.

Deposición de capa de plata (se aplica únicamente a las muestras seleccionadas en el EJEMPLO A)

20 Las muestras para la deposición de plata se montaron usando almohadillas adhesivas de carbono o un contenedor de metal pequeño. La muestra producida usando el método que se describe en el EJEMPLO A se revistió con una capa de plata usando deposición física de vapor (evaporación de haz E, máquina Alcatel). Se produjo una capa de plata de 500 nm de espesor con una tasa de deposición de  $\sim 7 \text{ \AA/s}$  y una presión de  $\sim 6 \times 10^{-6} \text{ mbar}$ .

RESULTADOS

25 Las Figuras 9-13 muestran una muestra proporcionada de acuerdo con el método del EJEMPLO A, donde el perfil se realizó por grabado en  $\text{HNO}_3$  al 15 % aplicando 450 mA durante 1 minuto. No se depositó plata en las muestras que se muestran en las Figuras 9-13.

30 La Figura 9 muestra una imagen de microscopía óptica de la sección transversal de una muestra producida usando la parte de revestimiento y corte del "EJEMPLO A" (el ángulo de visión es similar a la Figura 3F). Se ha de observar que esta muestra no se ha grabado antes de que se adquiriera la imagen. Está presente una abertura transparente en la capa superior 924 en la mitad de la capa superior, es decir, la capa superficial superior (capa de óxido) en la posición donde se había realizado el corte, de modo que se proporciona un área expuesta 923, es decir, un área expuesta de la capa inferior 903.

40 La Figura 10 es una imagen de microscopía electrónica de barrido de la vista superior de una muestra producida usando la parte de revestimiento y corte del "EJEMPLO A". Se ha de observar que esta muestra no se ha grabado antes de adquirir la imagen. La capa superior, tal como la capa superficial (capa de óxido) se deforma y la capa superficial se retira y/o traslada desde la posición donde se ha realizado al corte. La tira central brillante es una abertura en la cinta metálica de Hastelloy.

45 Las Figuras 11-13 son imágenes de microscopía óptica de la sección transversal de una muestra producida usando del "Método A" (es decir, el ángulo de visión corresponde a la Figura 7). El perfil se realizó por grabado en  $\text{HNO}_3$  al 15 % aplicando 450 mA durante 1 minuto.

50 Los perfiles de socavado se realizaron en la cinta metálica de Hastelloy y no son solo un rasgo entre el revestimiento de la capa superficial y la cinta metálica, es decir, los volúmenes socavados están por debajo de las partes remanentes de la capa inferior.

La Figura 11 muestra dos perfiles de socavado, tales como los volúmenes 1128a, 1128b de grabado. Los perfiles de socavado se realizaron en la cinta metálica de Hastelloy, es decir, la capa inferior 903.

55 La Figura 12 muestra una ampliación del volumen 1128a de grabado izquierdo de la Figura 11. Las flechas indican los bordes 1229 del perfil de socavado.

60 La Figura 13 muestra una ampliación del volumen 1128a de grabado izquierdo de la Figura 12. El volumen socavado 1330 tiene  $\sim 20 \mu\text{m}$  de ancho lo que es suficiente para separar físicamente una capa depositada físicamente con vapor (esto se demuestra mediante la capa de plata que se muestra en la Figura 14. La figura también muestra la parte remanente de la capa superior 1324.

La Figura 14 muestra una imagen de microscopía óptica de la sección transversal de una muestra producida usando el "EJEMPLO A", donde el perfil se realizó por grabado en  $\text{HNO}_3$  al 15 % aplicando 425 mA durante 1 minuto.

Además, se depositó una capa 1464, 1466 de plata de 500 nm sobre la muestra que se colocó horizontalmente por encima de la fuente de plata, es decir, la normal de la superficie de la muestra fue paralela a la dirección de visibilidad directa desde la fuente de plata.

5 La capa de plata está separada físicamente como se indica en la separación 1465 en el lado izquierdo del perfil debido al rasgo de socavado entre la capa inferior 1403, que es una cinta metálica de Hastelloy y la capa superior 1424, que es un revestimiento superficial de óxido/nitruro. De forma importante, son suficientes aproximadamente 10 5 µm de rasgo de socavado (que en la presente figura se da mediante la parte remanente saliente de la capa superior 1424) para producir una separación significativa de la capa 1464 de plata en la parte superior de la capa superior 1424 y la capa 1466 de plata en la parte inferior del volumen de grabado.

EJEMPLO B -Cintas de "revestimiento-laminando-grabado"

15 B1. Capa superficial/revestimiento

Véase la sección A1.

B2. Laminado/líneas interruptoras

20 Se aplicó un conjunto especial de rodillos de perfil cuando se produjeron líneas interruptoras en este método y se muestra una figura esquemática de los rodillos en la Figura 15.

La Figura 15 es una figura esquemática que muestra un rodillo superior 1516, que es un rodillo perfilado superior y un rodillo inferior 1518. La diferencia 1519 de altura entre la parte interior de la parte curvada del rodillo perfilado superior y el borde del rodillo de parte curvada es 10 µm. Se ha de observar que la figura no está a la escala correcta.

La cinta revestida se laminó manualmente sin lubricación y con una velocidad de laminado baja ya que los rodillos se condujeron usando un conjunto de llaves Clyburn (forma sueca). La PPR (reducción por paso) fue aproximadamente 30 1-20 micrómetros. La velocidad de laminado fue aproximadamente 10 mm por segundo. Fueron evidentes líneas brillantes (que indicaban áreas expuestas) en las posiciones donde el borde del rodillo perfilado había deformado la cinta, y fueron visibles durante la inspección posterior. Las líneas estaban acompañadas por un perfil escalonado perpendicular a la longitud de la cinta.

35 B3. Grabado de elementos socavados

Véase la sección A3, excepto porque esta muestra se grabó durante 120 segundos.

40 RESULTADOS

La Figura 16 muestra una imagen de microscopia electrónica de barrido de la vista superior de una muestra producida usando la parte de revestimiento y laminado del 'EJEMPLO B'. Las líneas de laminado, donde la capa superficial (capa de óxido) se ha interrumpido, se ven claramente como tiras brillantes 1668. Se ven múltiples líneas de laminado (líneas brillantes) en esta imagen y están causadas por la superficie de perfiles individuales, es decir, 45 cada parte de perfil curvado individual consiste en numerosas pistas más pequeñas que son el resultado del proceso de fabricación por laminado.

Ningún perfil de laminado estuvo en contacto con la parte superior de la cinta en la imagen y por lo tanto no se observa ninguna tira aquí.

50 La figura 17 es una imagen de microscopia óptica de la sección transversal de una muestra producida usando el 'EJEMPLO B'. El perfil se realizó por grabado en HNO<sub>3</sub> al 15 % aplicando 450 mA durante dos minutos. Un perfil de socavado, es decir, un volumen socavado 1730 (indicado por la flecha de color negro), está presente claramente en la cinta metálica de Hastelloy, es decir, la capa inferior 1703. El volumen de socavado está por debajo de las partes remanentes de la capa inferior. La capa de óxido (capa superficial) no se retira en esta muestra (véase la flecha de 55 color blanco), es decir, la capa superior 1724.

REALIZACIONES ALTERNATIVAS - Ejemplos C, D, E, F

60 En general, se puede aplicar una película de Kapton® como etapa extra para todos los métodos de fabricación, tal como con el fin de minimizar el pulido final si se coloca en las áreas donde no está presente ningún perfil, tales como las tiras interruptoras o las áreas expuestas.

EJEMPLO C: "Laminado-revestimiento-corte/corte-laminado-1"

65



C1. Laminado del perfil

La muestra se lamina antes del revestimiento usando un rodillo de perfil similar al que se muestra en la Figura 14 (con/sin el "borde de corte" con profundidad 1519, tal como 10 micrómetros, del rodillo).

C2. Formación de la capa superior: capa superficial/revestimiento

Se prepara una superficie revestida (véase la sección A1 o usando, por ejemplo, una película de Kapton®) después del laminado inicial (C1). Esta capa superficial cubre la superficie completa de la muestra.

C3. Formación de tiras interruptoras: corte/laminado de corte/molienda

Se realiza un corte o laminado por corte posterior (laminado con un perfil de corte afilado, véase la Figura 15) en la parte inferior del perfil, es decir, retirando solo una pequeña parte de la parte horizontal del revestimiento superficial (es decir, la capa superior), en la parte superior del perfil o el revestimiento superficial completo (es decir, la capa superior), en la parte inferior del perfil como se muestra en la Figura 18.

La Figura 18 muestra una figura esquemática del método que se describe en el Ejemplo C (método de "laminado-revestimiento-corte"). Las subfiguras a-d muestran: (a) muestra laminada, (b) después de revestimiento superficial, (c) después de corte y (d) después de grabado.

Aunque en el presente EJEMPLO C la etapa de laminado (C1) precede a la etapa de corte (C3), también es posible lo contrario, es decir, una secuencia de etapas donde el corte precede al laminado.

C4. Socavado-grabado

Véase la sección A3.

EJEMPLO D: "revestimiento-laminado-corte"

De forma similar al EJEMPLO C pero posiblemente sin el laminado de perfil inicial (C1), y con una etapa de corte adicional que se introduce después del laminado/laminado por corte para abrir/romper mejor la capa superficial en las posiciones donde se va a producir el perfil de socavado. Esta etapa está seguida por la etapa de grabado, véase la sección A3.

Una ventaja del EJEMPLO B es que en el caso de que la capa superior no se rompa en el laminado/laminado por corte inicial, entonces se puede romper en la etapa de corte adicional.

Aunque en el presente EJEMPLO B la etapa de laminado/laminado por corte precede a la etapa de corte, también es posible lo contrario.

EJEMPLO E: "revestimiento-corte"

Se proporciona una capa superior mediante una capa protectora, tal como una fotorresistente convencional para litografía por UV, una película de Kapton® o cinta Scotch.

La capa protectora, por ejemplo, fotorresistente (producida, por ejemplo, usando revestimiento por ranura de troquel o revestimiento por inmersión) o la película de Kapton® o la cinta Scotch se aplica a la superficie de la muestra (es decir, a una capa inferior). Se hacen las líneas interruptoras mediante líneas de corte o de corte por laminado en la capa protectora y posteriormente se retiran, por ejemplo, cada segundo de las tiras delgadas de capa protectora de modo que la superficie de la muestra quede cubierta por áreas, por ejemplo, de película de Kapton® paralelas pero separadas. La muestra se graba como en la sección A3.

EJEMPLO F: "cinta-grabado-cera-grabado"

El material de partida, tal como la capa inferior (por ejemplo, cinta de Hastelloy), se reviste con película de Kapton® (o cera o laca) en tiras paralelas de la longitud de la cinta metálica. Las tiras deberían tener, por ejemplo, 1 mm de ancho y se colocarían con un espaciado, por ejemplo, de 1 mm. A continuación la muestra se graba (véase la sección A3), se limpia y posteriormente se seca. A continuación se colocan tiras adicionales de película de Kapton® (o cera o laca) en las mismas posiciones que las primeras tiras de película de Kapton® pero estas tiras son, por ejemplo, 200 µm más anchas, es decir, la anchura de la segunda película de Kapton® = 1,2 mm, como se muestra en la Figura 19.

La Figura 19 muestra una figura esquemática del método que se describe en el Ejemplo F ("cinta-grabado-cera-grabado"). Las subfiguras a-e muestran: (a) muestra revestida en tiras, (b) después de grabado, (c) después de revestimiento adicional, (d) después de un segundo grabado, (e) después de retirada del revestimiento.

Alternativamente, el segundo revestimiento (tal como, véase anteriormente la etapa (c) anterior), es decir, la segunda película de Kapton®, cera o laca se aplica solo en las intersecciones entre la película de Kapton® y la cinta metálica. Se ha de observar que la película de Kapton® se puede unir firmemente a la muestra, por ejemplo, usando un cepillo o rodillos de caucho y a continuación grabarse de nuevo (véase la sección A3). Se forma un perfil de socavado durante el segundo proceso de grabado.

#### EJEMPLOS ADICIONALES

Los siguientes ejemplos comprenden etapas de método que se pueden combinar con uno o más de los ejemplos previos:

#### EJEMPLO G: método para retirar el revestimiento/capa de óxido

Esta etapa de método es aplicable, por ejemplo, en combinación con los EJEMPLOS que comprenden la etapa de método que se describe como A1, en la que la capa superior se forma como un revestimiento superficial que es una capa de óxido/nitruro.

Este revestimiento superficial se retiró usando una combinación de una corriente pulsada y alterna mientras que las muestras se colocaban en el recipiente de ácido y finalmente usando un baño ultrasónico de etanol/acetona/agua.

Más específicamente, la muestra se sumergió aproximadamente 10 mm en un 15 % de concentración de ácido HCl, HNO<sub>3</sub> o HF tamponada. El nivel de corriente se ajustó entre 50 mA y 500 mA (con una tensión de 1-20 V, tal como ~ 2 V) y la salida negativa de energía se conectó a la muestra mientras que la salida positiva se conectó al electrodo de acero inoxidable colocado a aproximadamente 20 mm de la muestra. Las salidas se invirtieron después de aproximadamente 10 segundos de la retirada de la capa, de modo que la salida positiva se conectó a la muestra y el electrodo de acero inoxidable a la salida negativa. Este procedimiento, alternando la dirección de corriente, se llevó a cabo hasta que la muestra quedó prácticamente exenta de la capa de revestimiento superficial. Las duraciones variaron por lo general de 30 segundos a 5 minutos. Los residuos se retiraron en el procedimiento de baño ultrasónico (3 minutos de duración en etanol, acetona o agua). La introducción de una deformación mecánica, tal como una etapa de laminado, en la capa superficial (es decir, la capa superior en los casos en los que la capa superior es una capa de óxido/nitruro) pudo ayudar al proceso de retirada del revestimiento.

#### EJEMPLO H: método para electropulido

Después de la retirada la capa superficial, es decir, la capa superior, se puede requerir un electropulido adicional con el fin de obtener unas condiciones de superficie lisa que pueden ser particularmente aplicables para la deposición adicional, por ejemplo, de capas amortiguadoras y/o superconductoras. El electrolito se puede seleccionar, por ejemplo, entre el grupo que comprende H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HCl y H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, o un electrolito similar.

El experto en la materia será capaz de llevar a cabo este procedimiento, y se hace referencia a un patrón para este procedimiento y a la referencia "Electropolishing Stainless Steel/s", de Alenka Kosmac, Euro Inox, Materials and Applications Series, Volumen 11, ISBN: 978-2-87997-310-4, que se incorpora por la presente por referencia en su totalidad.

#### EJEMPLO I: protección del perfil de socavado durante el electropulido

Con el fin de asegurar que el electropulido significativo de la superficie de la muestra no da como resultado perfiles de socavado modificados, se pueden utilizar los siguientes métodos:

##### Método de protección - I.A:

Se puede colocar una película protectora con un lado adhesivo, tal como película de Kapton®, en los bordes del perfil de modo que se cubra únicamente una pequeña fracción del área que se pulirá como se muestra en la Figura 20. La superficie de muestra se cubre de ese modo con películas protectoras delgadas paralelas que se pueden unir firmemente a la superficie, por ejemplo, aplicando un conjunto de cepillos blandos sobre las cintas.

La Figura 20 es una figura esquemática que muestra una capa inferior 2003 con un volumen socavado como parte de un volumen 2028 de grabado. La parte de la capa inferior adyacente al volumen socavado se cubre con una capa protectora 2068, tal como película de Kapton®, laca o cera.

La Figura 21 muestra una imagen de microscopía óptica de la vista superior de una muestra producida usando el "EJEMPLO A". El perfil se realizó por grabado en HNO<sub>3</sub> al 15 % aplicando 450 mA durante 1 minuto. La línea punteada 2169 indica la posición de la película de Kapton® protectora durante el grabado (la película se colocó solo en el lado izquierdo de la línea punteada). Se ha de observar que la película de Kapton® se retiró antes de la deposición de plata. El lado a mano izquierda de la imagen muestra la línea de corte, es decir, el área expuesta 2123 sin grabar y con una capa de plata. El lado a mano derecha muestra la línea de corte después del grabado, es decir,

un área grabada 2128, y con una capa de plata. La figura muestra que, por ejemplo, la película de Kapton®, puede servir para proteger frente al grabado.

Método de protección - I.B:

5 Se puede revestir laca o cera protectora en líneas paralelas usando un dispositivo de revestimiento de troquel de ranura o un proceso de revestimiento convencional alternativo. Esta laca o cera se puede retirar posteriormente usando, por ejemplo, acetona o agua caliente.

10 Un aparato para llevar a cabo el método de acuerdo con el primer aspecto:

la Figura 22 muestra un aparato para llevar a cabo, tal como disponer, el método de acuerdo con el primer aspecto. La figura muestra un sistema de carrete a carrete, donde una cinta metálica se transfiere desde un primer carrete 2271 a un segundo carrete 2287, y en el proceso se transforma en un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado pasando a través de un baño 2272 de limpieza por ultrasonidos que comprende acetona y/o etanol, un secador 2273 que usa aire o nitrógeno (N<sub>2</sub>), un calentador 2274 que usa aire y/o nitrógeno (N<sub>2</sub>) de modo que formen la capa superior como una capa de óxido/nitruro, un conjunto de rodillos que comprende un rodillo superior 2216 y un rodillo inferior 2218 (tales como rodillos similares a los rodillos de la Figura 15) de modo que formen tiras interruptoras y áreas expuestas (se ha de observar que la cinta continúa como se indica mediante la línea punteada), un baño 2277 de grabado con HNO<sub>3</sub> donde la cinta se graba, un primer baño 2278 de limpieza con agua, un baño 2279 de retirada de óxido que puede emplear ultrasonidos, tal como ultrasonidos en HCl y/o etanol, un segundo baño 2280 de limpieza con agua, un secador 2281 que usa aire o nitrógeno (N<sub>2</sub>) (se ha de observar que la cinta continúa como se indica mediante la línea punteada), un dispositivo 2282 para aplicar cinta/cera/laca al perfil (como se sugiere en el EJEMPLO I), un baño 2283 de pulido electroquímico que comprende H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, un tercer baño 2284 de limpieza con agua, un tercer baño 2285 de limpieza con agua, un secador 2286 que usa aire o nitrógeno (N<sub>2</sub>), y finalmente el segundo carrete 2287. Resumiendo, se proporciona un método para producir un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado en el que, por ejemplo, se utiliza un proceso de deformación con el fin de formar tiras interruptoras en un elemento sólido estratificado, y donde se usa grabado para formar volúmenes socavados (330, 332) entre una capa superior (316) y una capa inferior (303) del elemento sólido estratificado. Tales etapas relativamente sencillas permiten proporcionar un sustrato que se puede convertir en una estructura superconductora, tal como una cinta superconductora, que tiene pérdidas de CA reducidas, dado que los volúmenes socavados (330, 332) pueden ser útiles para separar capas de material. En una realización adicional, se coloca una capa superconductora en la parte superior de la capa superior (316) y/o la capa inferior (303), de modo que proporcione una estructura superconductora con pérdidas de CA reducidas.

35 Aunque la presente invención se ha descrito junto con las realizaciones especificadas, no se debería interpretar de ningún modo que se limita a los ejemplos presentados. El alcance de la presente invención se expone mediante el conjunto de reivindicaciones acompañante. En el contexto de las reivindicaciones, los términos "comprender" o "comprende" no excluyen otros posibles elementos o etapas. Además, la mención de referencias tales como "un", "uno" o "una", etc., no se debería interpretar como excluyente de una pluralidad. El uso de signos de referencia en las reivindicaciones con respecto a los elementos indicados en las figuras no se deberá interpretar como limitante del alcance de la invención. Además, los rasgos individuales mencionados en las diferentes reivindicaciones, posiblemente se pueden combinar de forma ventajosa, y la mención de estos rasgos en diferentes reivindicaciones no excluye que no sea posible y ventajosa una combinación de rasgos.

45

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, comprendiendo el método:
- 5 - Proporcionar un elemento sólido estratificado, comprendiendo el elemento sólido estratificado
- una capa inferior (303), y
  - una capa superior (316),
- 10 en el que la capa superior se coloca adyacente a la capa inferior y cubre al menos parcialmente la capa inferior,
- Formar una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior (316) formando de ese modo una pluralidad de áreas expuestas (323) de la capa inferior (303), donde cada área expuesta se forma a lo largo de una tira interruptora, caracterizado por que el método comprende además
  - 15 - Grabar las áreas expuestas (323) de modo que se formen volúmenes socavados (330, 332) entre la capa superior (316) y la capa inferior (303), donde cada volumen socavado se forma a lo largo de una tira interruptora, en el que se emplea un agente de grabado para el que la tasa de grabado para la capa inferior (303) es mayor que la tasa de grabado para la capa superior (316).
- 20 2. Un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los volúmenes socavados están por debajo de las partes remanentes de la capa inferior.
3. Un método para producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de
- 25 - formar una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior formando de ese modo una pluralidad de áreas expuestas en la capa inferior, donde cada área expuesta se forma a lo largo de una tira interruptora,
- 30 comprende un proceso de deformación.
4. Un método para producir un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la etapa de proporcionar el elemento sólido estratificado comprende
- 35 a. Proporcionar un elemento sólido primario (202), teniendo el elemento sólido primario una capa superior primaria (314) que es sustancialmente uniforme,
- b. Formar la capa superior (316) del elemento sólido estratificado mediante uno cualquiera de:
- 40 i. Endurecimiento de una parte superior de la capa superior primaria (314), tal como endurecimiento en un proceso de endurecimiento por gas,
  - ii. dopado de una parte superior de la capa superior primaria (314),
  - iii. preparación de una capa de óxido o nitruro en una parte superior de la capa superior primaria.
- 45 5. Un método para producir un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la etapa de formar en un proceso de deformación una pluralidad de tiras interruptoras en la capa superior (316) comprende presionar una parte de la capa superior en la capa inferior (303).
6. Un método para producir un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el espesor (362) de la capa superior (316) del elemento sólido estratificado está dentro de 1 nm-100 micrómetros.
- 50 7. Un método para producir un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la distancia (752) entre tiras interruptoras adyacentes dentro de la pluralidad de tiras interruptoras está dentro de 1 micrómetro-1 mm.
- 55 8. Un método para producir un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la distancia (748) entre un plano que es paralelo a una superficie superior de la capa inferior (303) o una superficie superior de la capa superior (326), y un plano que es tangencial a la parte inferior de la pluralidad de tiras interruptoras es lo suficientemente grande para que permita que un material superconductor colocado sobre el sustrato tenga partes en las tiras interruptoras y entre las tiras interruptoras que estén separadas físicamente.
- 60 9. Un método para producir un elemento superconductor alargado, en el que el método comprende además colocar una capa de material superconductor (642, 644, 646) sobre la capa superior (316) y/o la capa inferior (303) del
- 65

elemento sólido estratificado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes de modo que los volúmenes socavados (330, 332) sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor.

5 10. Un método para producir un elemento superconductor alargado, en el que el método comprende las etapas de producir un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-8 y en el que el método comprende además colocar una capa de material superconductor (642, 644, 646) sobre la capa superior (316) y/o la capa inferior (303) del elemento sólido estratificado de modo que los volúmenes socavados (330, 332) sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor.

10 11. Un método para producir un elemento superconductor alargado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-10, en el que el método comprende además colocar,

a. una capa de material amortiguador (640) sobre la capa superior (316) y/o la capa inferior (303) del elemento sólido estratificado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-6, y

15 b. una capa de material superconductor (642, 644, 646) sobre el material amortiguador,

de modo que los volúmenes socavados (330, 332) sirvan para separar físicamente líneas individuales de material superconductor y/o material amortiguador.

20 12. Un método para producir un elemento superconductor alargado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-11, en el que la etapa de colocar una capa de material superconductor (642, 644, 646) y/o una capa de material amortiguador (640) es un proceso de visibilidad directa.

25 13. Un método para producir un elemento superconductor alargado de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 9-12, comprendiendo además el método colocar una capa de derivación sobre la capa de material superconductor (642, 644, 646).

14. Un sustrato adecuado para soportar un elemento superconductor alargado, comprendiendo el sustrato:

30 un elemento sólido estratificado, comprendiendo el elemento sólido estratificado

- una capa inferior (303), y
- líneas de una capa superior (316),

35 en el que las líneas de la capa superior (316) se colocan adyacentes a la capa inferior (303) y cubren al menos parcialmente la capa inferior, en el que una pluralidad de tiras interruptoras entre las líneas de la capa superior (316) separa las líneas de la capa superior (316), caracterizado por que están presentes volúmenes socavados (330, 332) entre las líneas de la capa superior (316) y la capa inferior (303), donde cada volumen socavado se forma a lo largo de una tira interruptora.

40 15. Un sustrato (600) adecuado para soportar un elemento superconductor alargado de acuerdo con la reivindicación 14, en el que el sustrato es una cinta.

45 16. Un elemento superconductor alargado que comprende:

- un sustrato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 14-15,
- una capa superconductora colocada sobre el sustrato de modo que los volúmenes socavados (330, 332) separen físicamente líneas individuales de material superconductor.

50 17. Un aparato para llevar a cabo el método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-13.

55 18. Uso de un elemento superconductor alargado de acuerdo con la reivindicación 16, en uno cualquiera de una bobina magnética de rendimiento, un transformador, un generador, un escáner de resonancia magnética, un imán de criostato, un gran colisionador de hadrones, un cable de red eléctrica de CA, una red eléctrica inteligente.

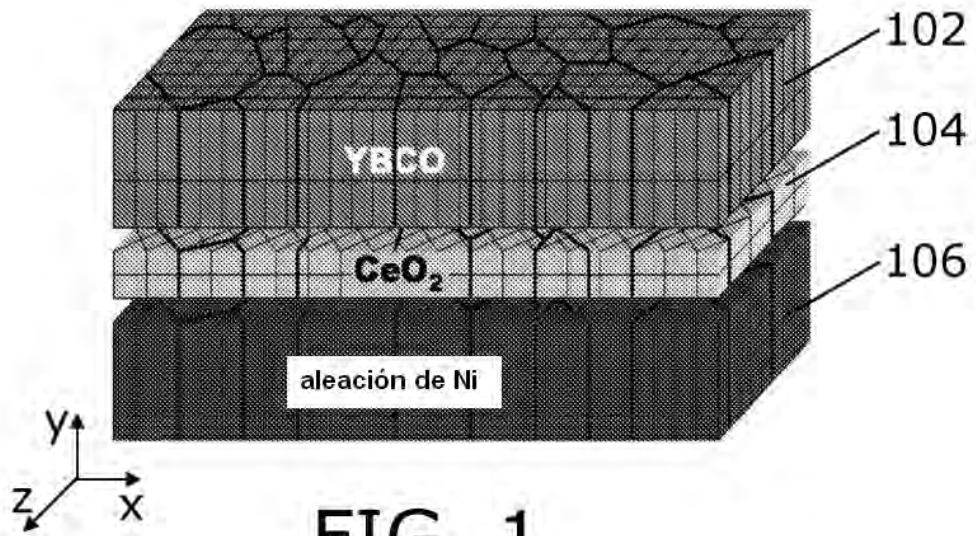


FIG. 1

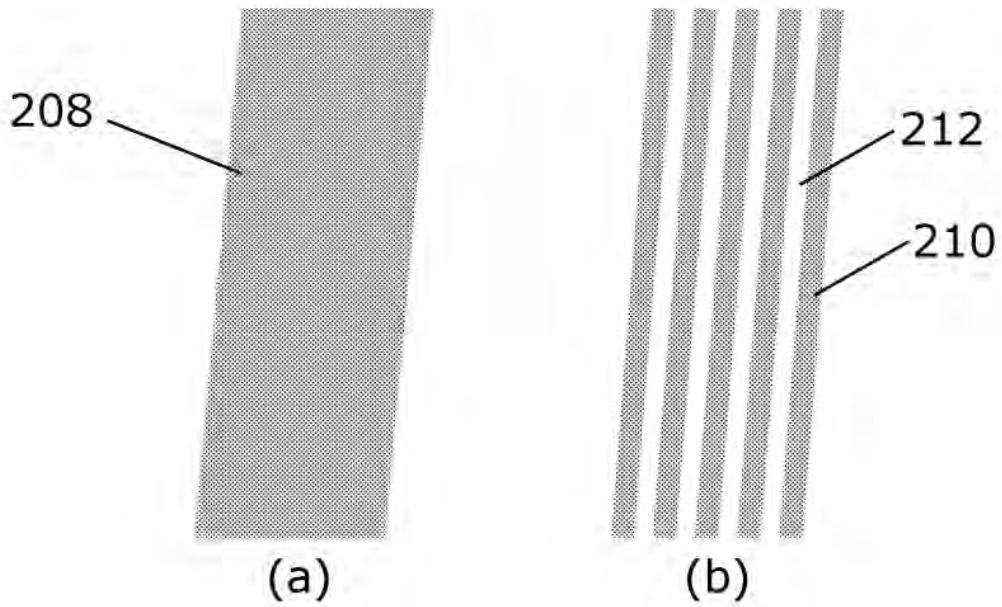


FIG. 2

FIG. 3A

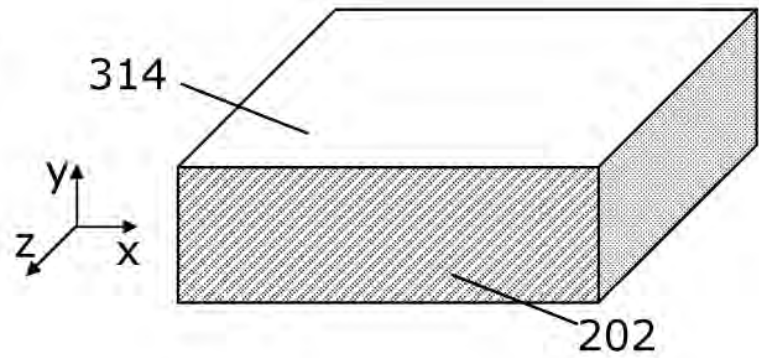


FIG. 3B

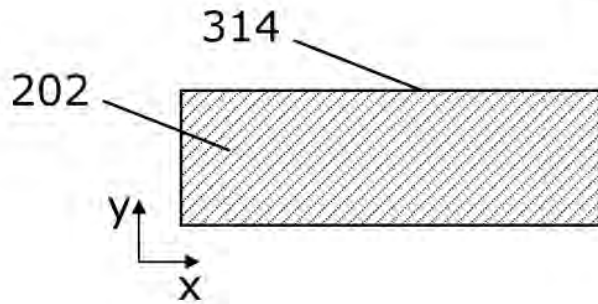


FIG. 3C

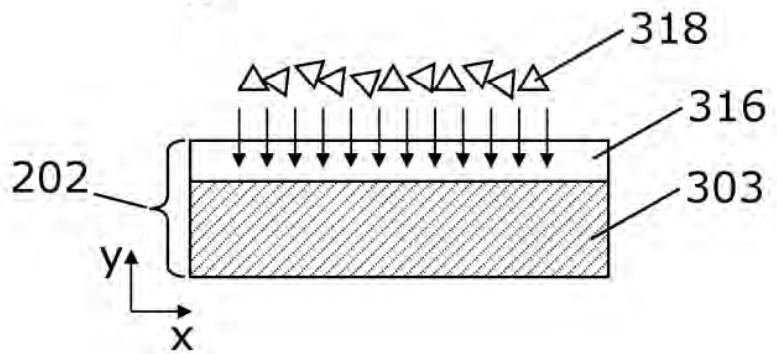


FIG. 3D

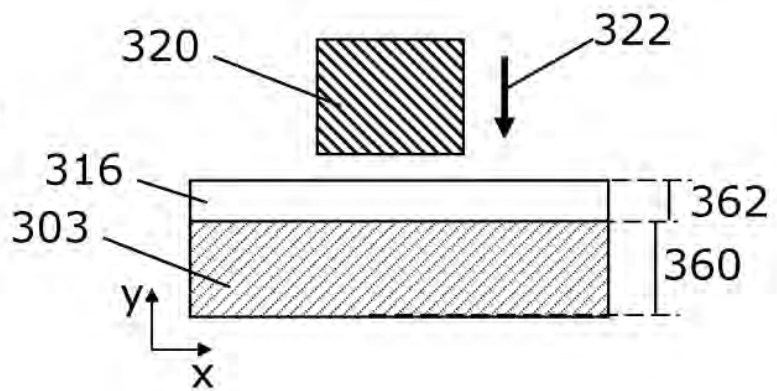


FIG. 3E

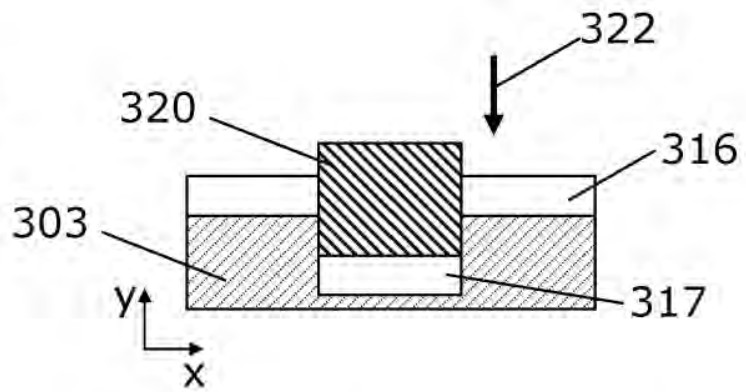


FIG. 3F

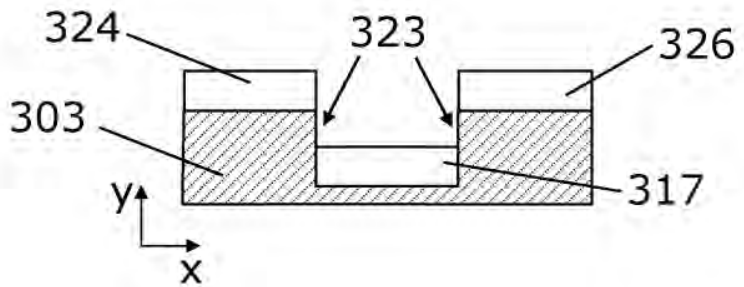


FIG. 3G

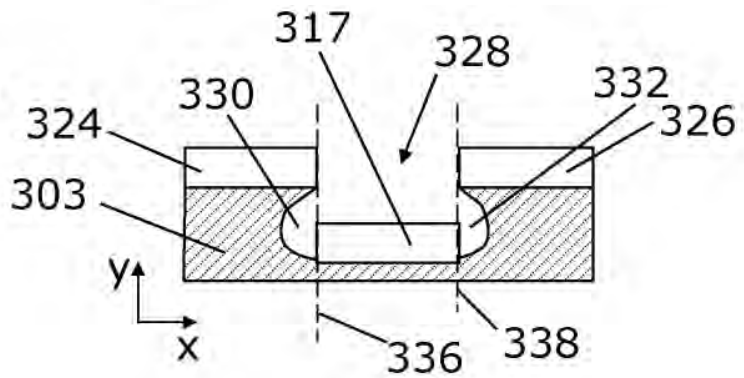


FIG. 3H

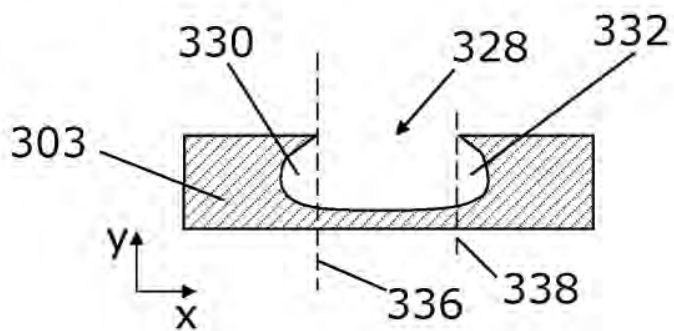




FIG. 4

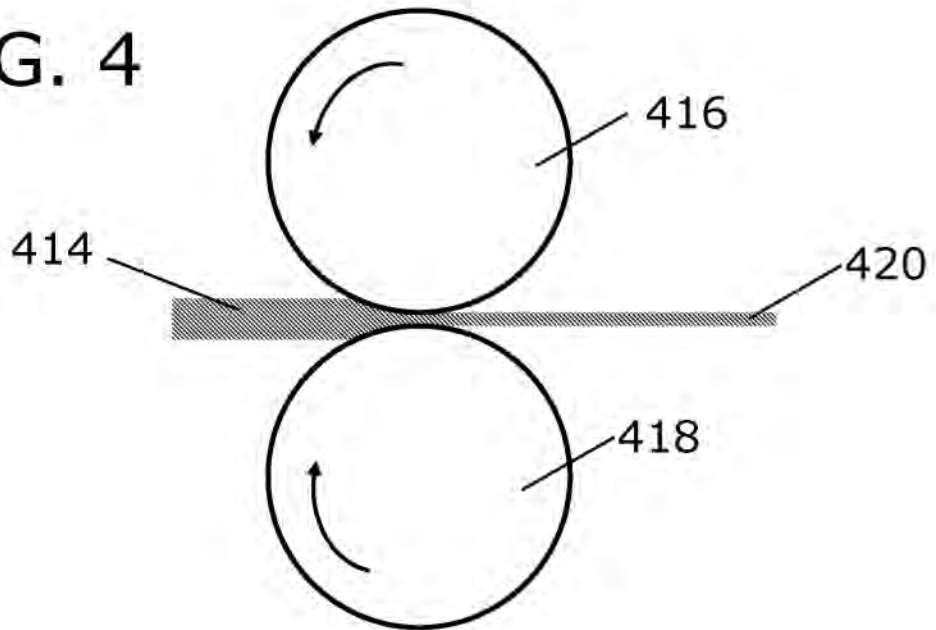


FIG. 5

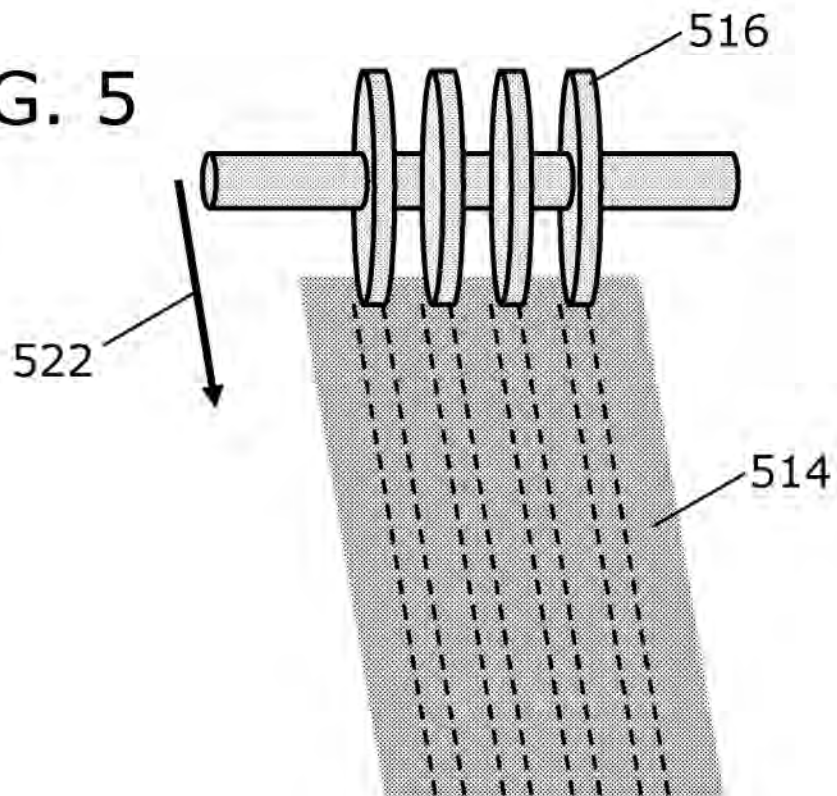


FIG. 6A

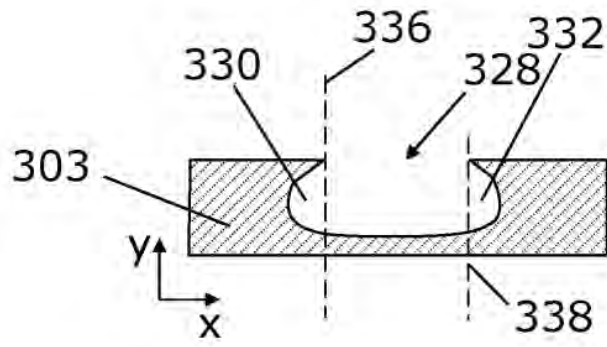


FIG. 6B

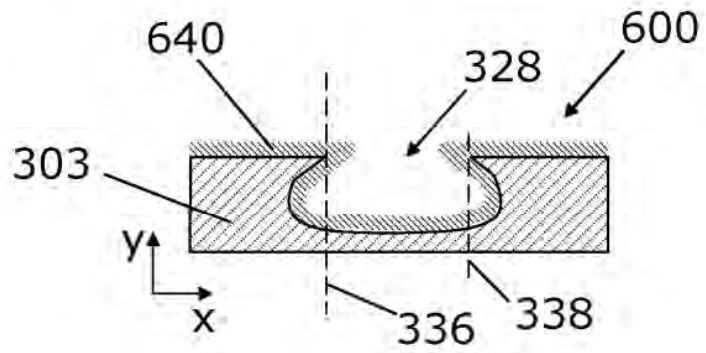
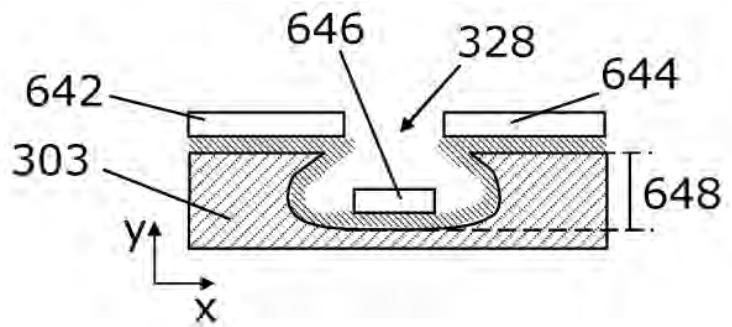


FIG. 6C



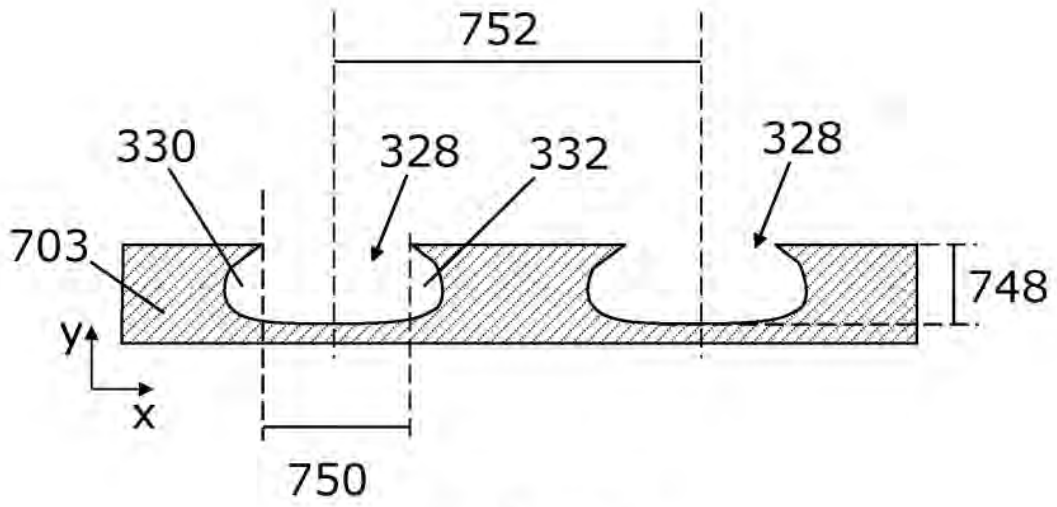


FIG. 7

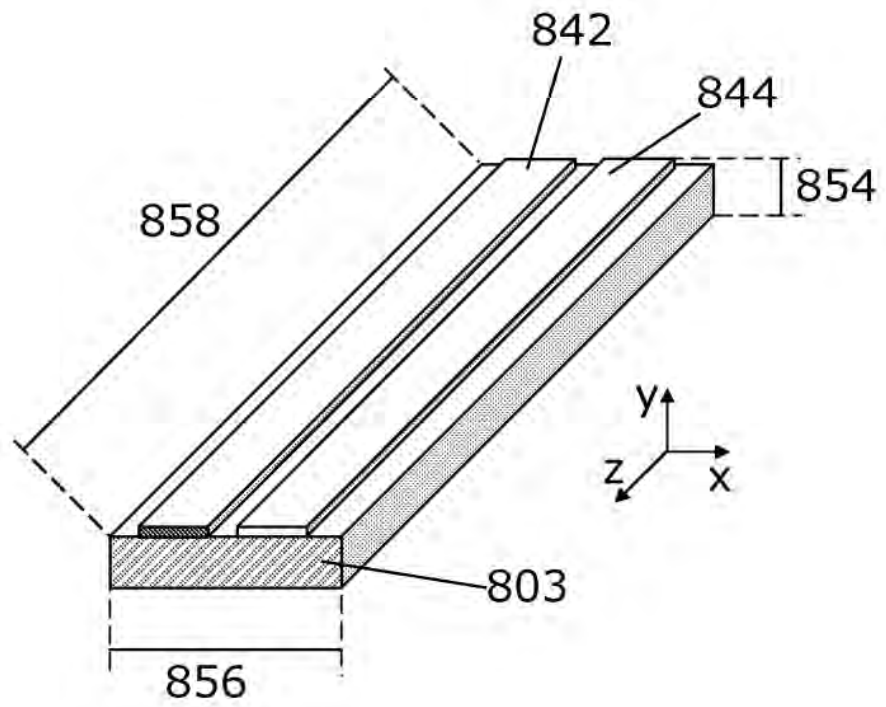


FIG. 8

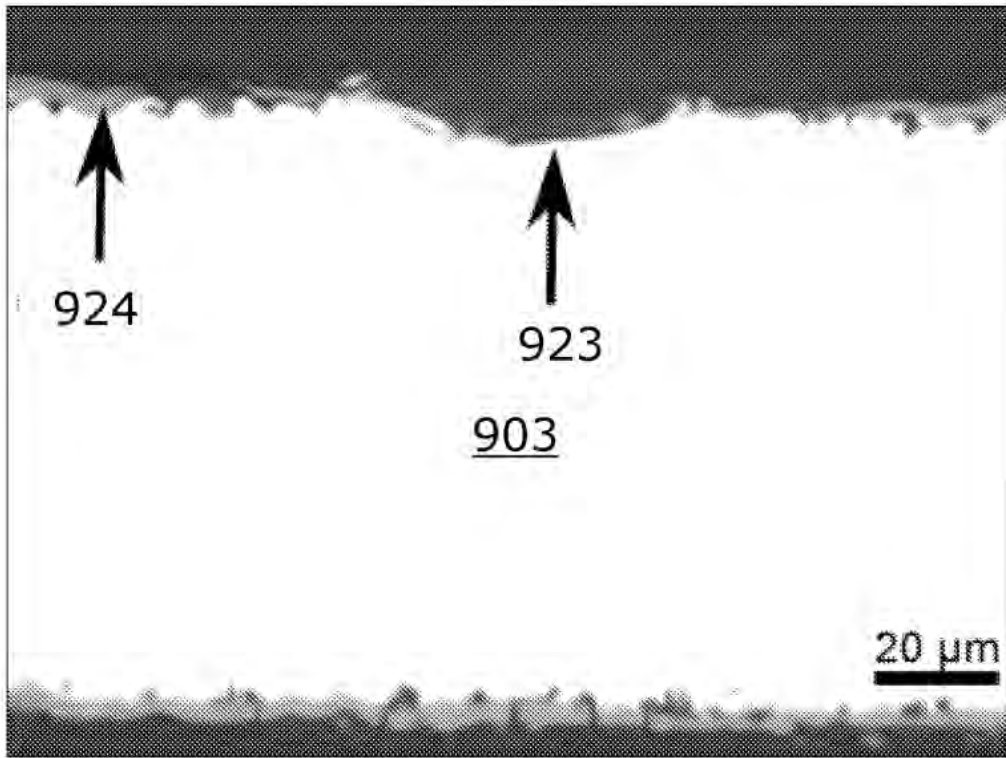


FIG. 9

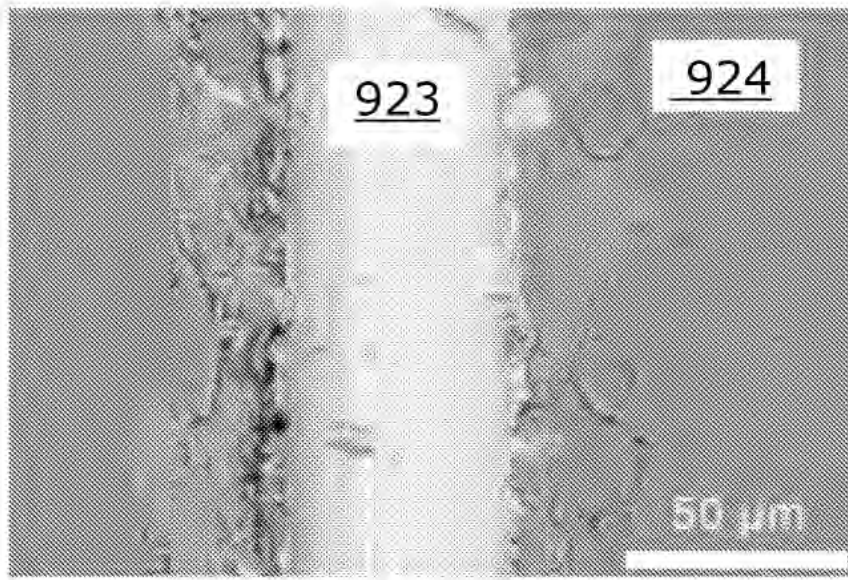


FIG. 10

FIG. 11

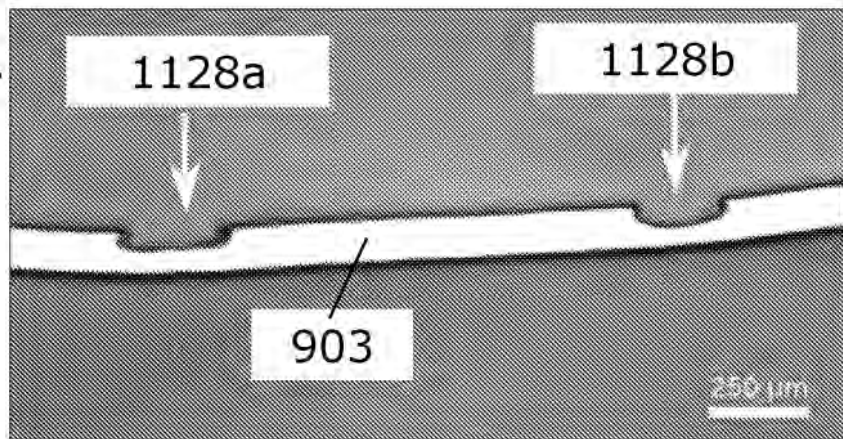


FIG. 12

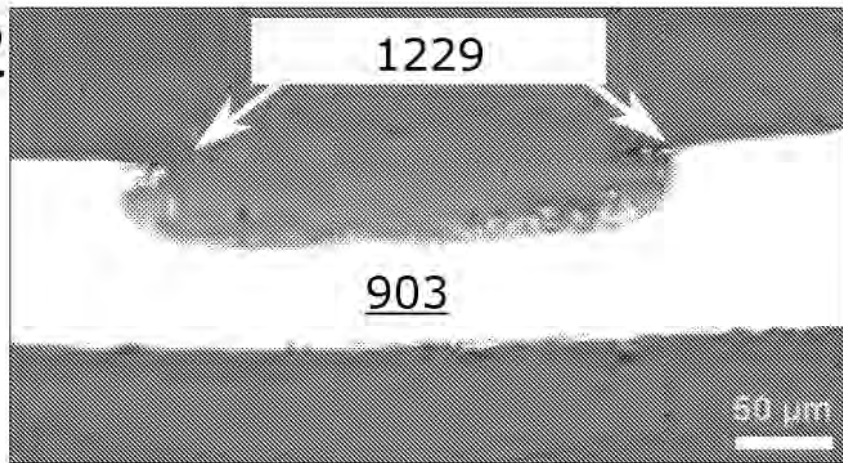
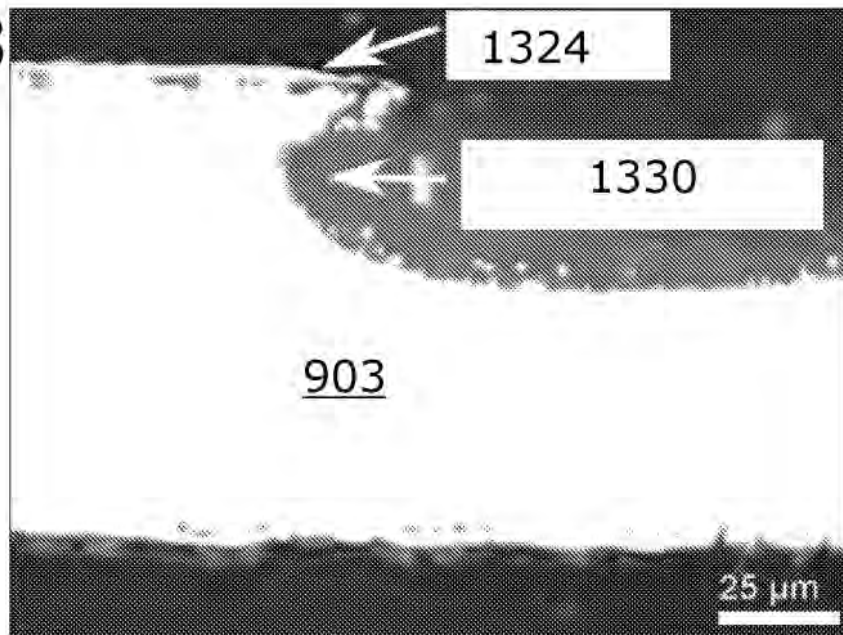


FIG. 13



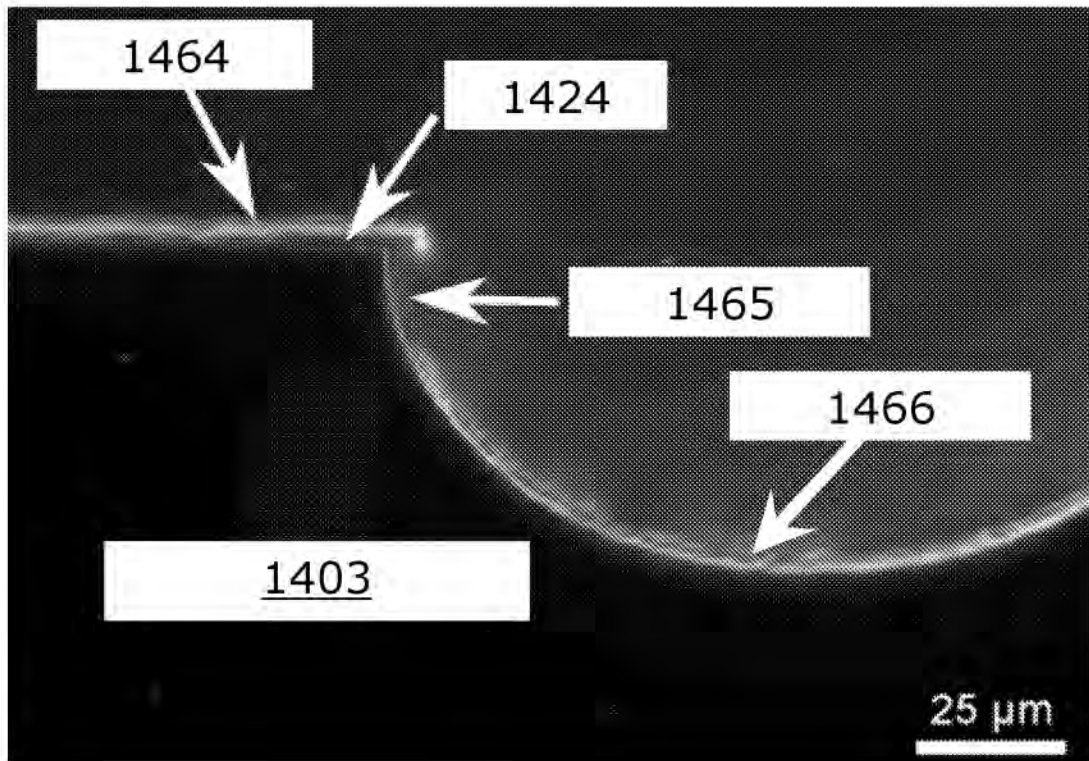


FIG. 14

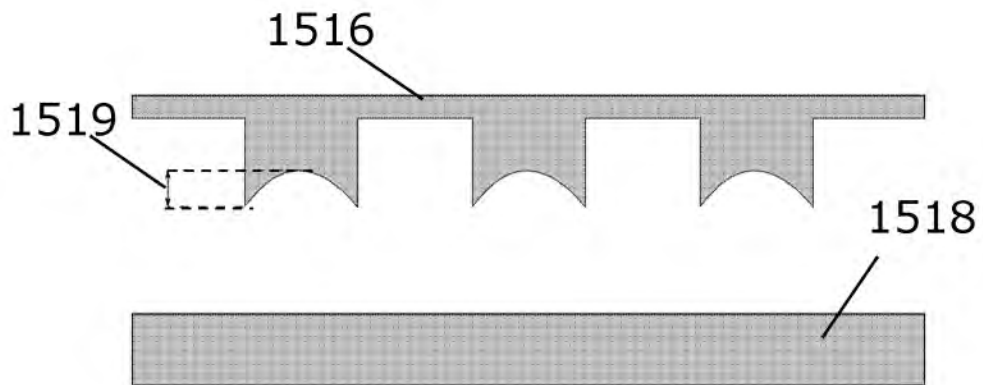


FIG. 15

FIG. 16

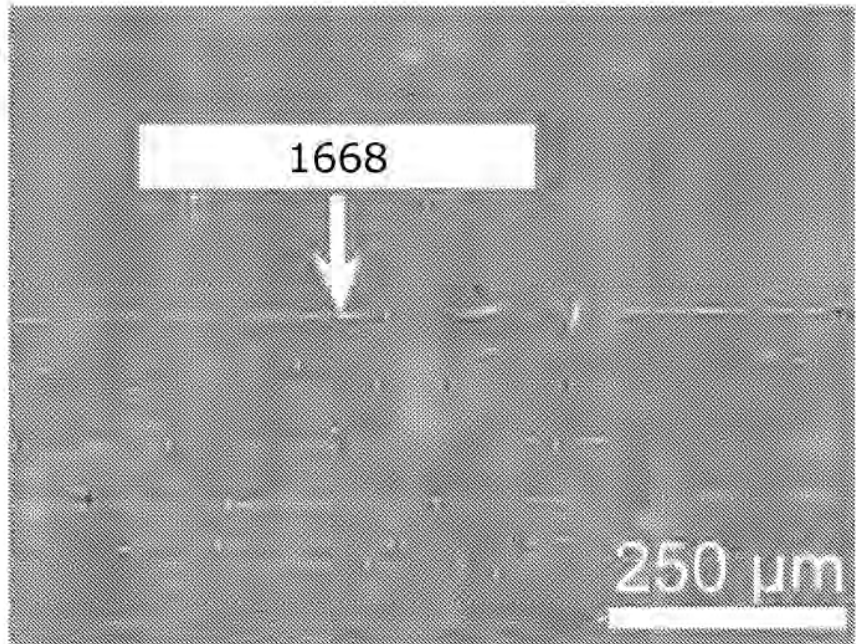


FIG. 17

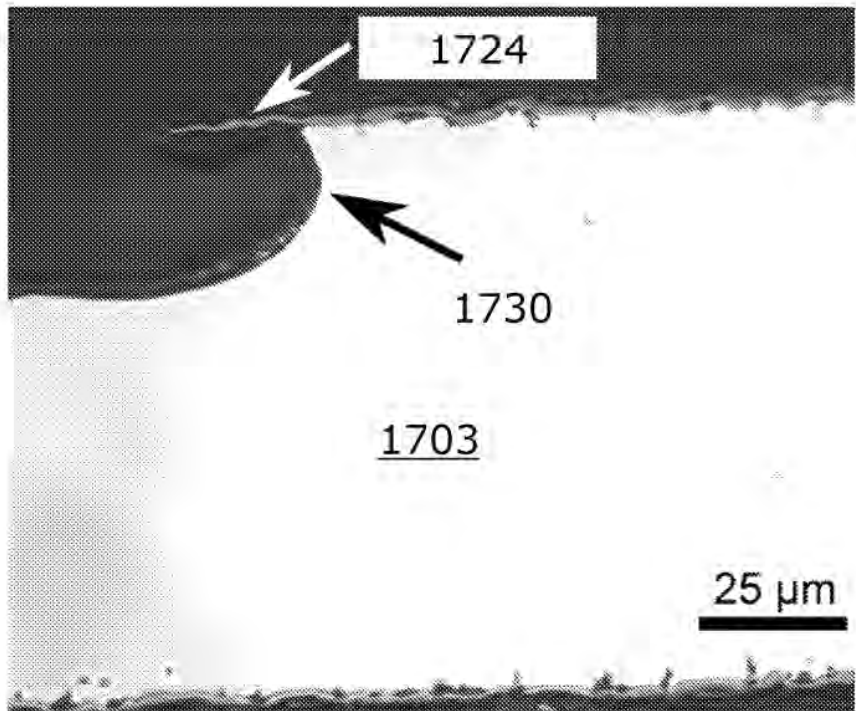


FIG. 18

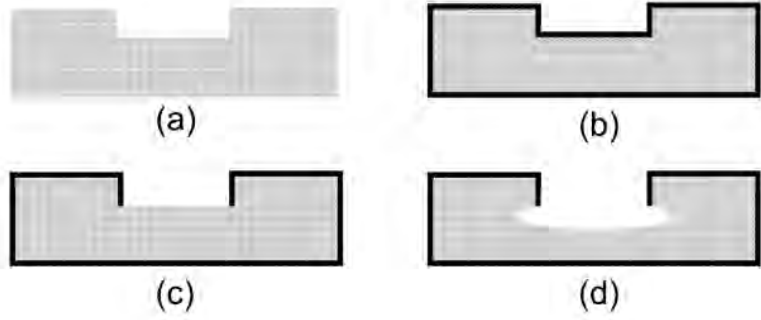


FIG. 19

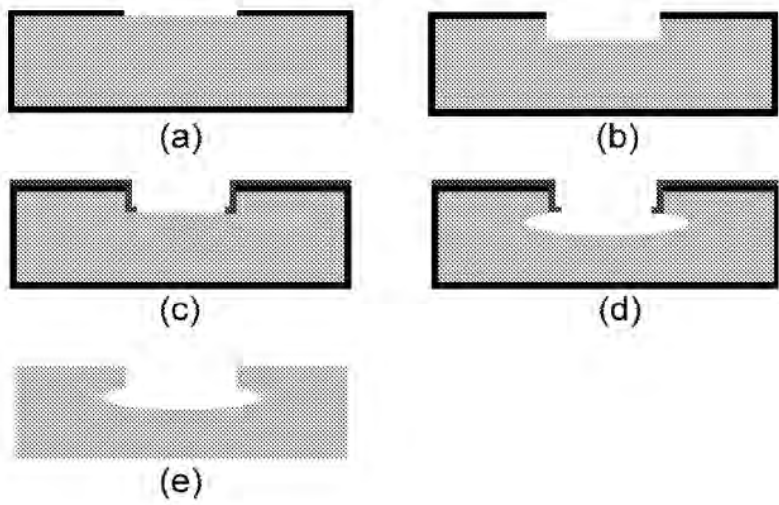
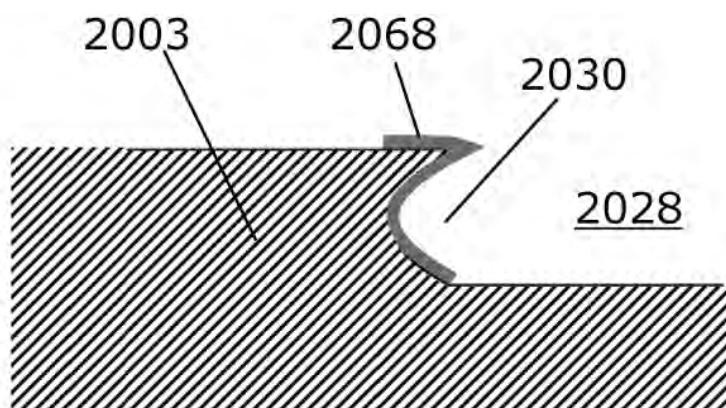


FIG. 20





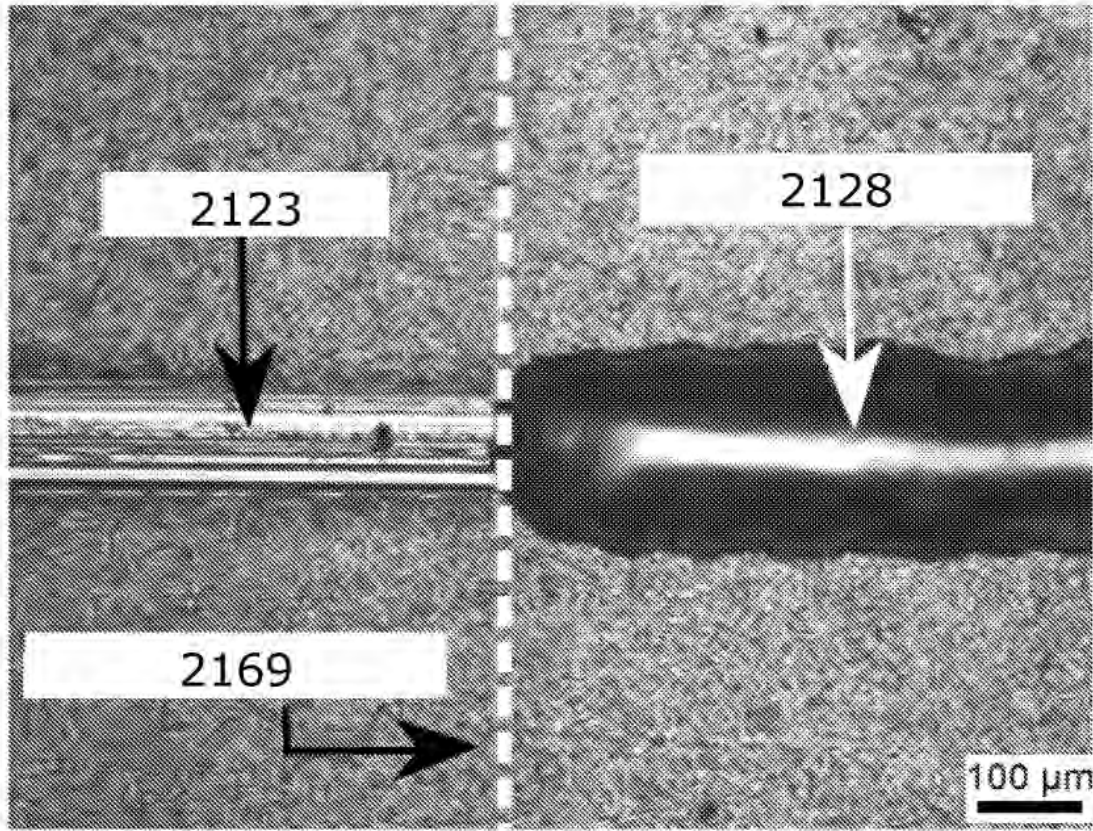


FIG. 21

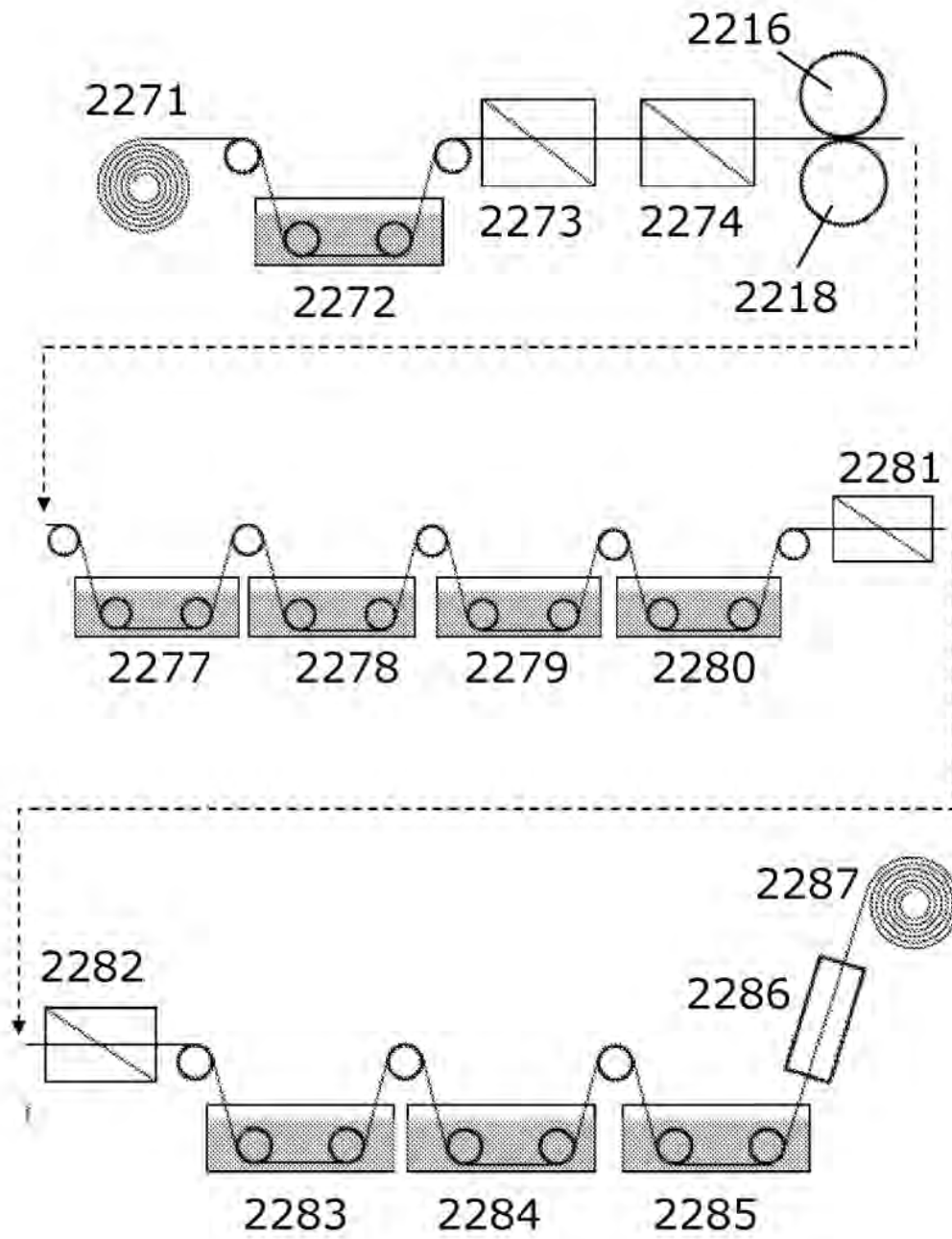


FIG. 22