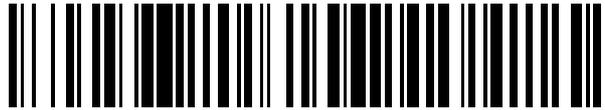


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 564 493**

51 Int. Cl.:

H01L 39/22 (2006.01)

H01L 39/24 (2006.01)

H01L 39/02 (2006.01)

H01L 39/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2013 E 13716186 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.12.2015 EP 2834860**

54 Título: **Contacto de Josephson en etapas reproducible**

30 Prioridad:

04.04.2012 DE 102012006825

15.12.2012 DE 102012024607

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

23.03.2016

73 Titular/es:

**FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH (100.0%)
52425 Jülich, DE**

72 Inventor/es:

FALEY, MIKHAIL

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 564 493 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

Contacto de Josephson en etapas reproducible

La invención se refiere a un elemento electrónico con un contacto de Josephson, así como a un procedimiento para la obtención.

5 Estado de la técnica

Los contactos de Josephson entre electrodos superconductores a alta temperatura (High- T_c , HTSL) son un componente básico de electrónica de superconductores. Entre otras cosas, éstos se emplean para interferómetros cuánticos superconductores (SQUIDs) para la medida del campo magnético altamente sensible, y en detectores para radiación THz.

10 Los parámetros esenciales de un contacto de Josephson son la densidad de corriente crítica J_c del estado superconductor y la resistencia R_n en estado conductor normal. Estas magnitudes, y en especial su producto $J_c * R_n$ (o bien $I_c * R_n$ con la corriente crítica I_c) son conocidas como medida de calidad para la aplicabilidad de contactos de Josephson con los citados fines (E. Mitchell, C. P. Foley, "YBCO step-edge junctions with high $I_c R_n$ ", Superconductor Science and Technology 23, 065007 (2010), doi:10.1088/0953-2048/23/6/065007). Este documento
15 da a conocer que tanto J_c , como también R_n , en el límite intergranular de una capa de YBCO-HTSL, dependen en gran medida del ángulo θ entre las orientaciones de cristal de ambos granos en $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO). Por lo tanto se propone desarrollar la capa sobre un sustrato cuya superficie contiene un borde gradual. El contacto de Josephson se produce en el borde superior de una etapa en forma de banda deslizante de la superficie del sustrato, introduciéndose en el borde en la estructura cristalina de YBCO un codo agudo con un ángulo de θ
20 grados. En este caso, en YBCO se forma un límite intergranular en el borde gradual, siendo predeterminado el ángulo θ a través del ángulo de codo de la etapa gradual. El codo ocasiona una tensión local, y con ello un déficit de oxígeno local en YBCO en el límite intergranular. De este modo, la zona del codo actúa como una barrera de contacto tipo túnel entre dos superconductores de onda D de diferente orientación, y por consiguiente forma el enlace débil del contacto de Josephson.

25 Alguno de los contactos de Josephson obtenidos de este modo presentan de hecho el esperado producto elevado $I_c * R_n$. De modo desventajoso, la reproducibilidad hasta la fecha es suficiente solo para la identificación de la viabilidad principal (proof-of-concept), pero no para el acabado a escala industrial, ya que se producen demasiados desechos.

30 Soon-Gul Lee et al. ("Effects of d-wave symmetry in high T_c step-edge Josephson junctions", Physica C, Vol. 341-348, p. 14873-1474), así como Alexander D. Mashtakov et al. ("High T_c superconducting step-edge junction on sapphire fabricated by non-etching technique", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, p 3001-3004 (1999)) muestran un elemento de construcción con un contacto de Josephson, que comprende un sustrato con al menos un borde gradual en su superficie, y una capa funcional dispuesta sobre el mismo,
35 constituida por un material superconductor a alta temperatura YBCO, presentando esta capa en el borde gradual un límite intergranular que forma el enlace débil del contacto de Josephson, estando orientado en ambos lados del borde gradual el eje de cristal a y/o b en el plano de la capa funcional superconductora a alta temperatura hasta en una desviación, a modo de ejemplo, de un máximo de 10° perpendicularmente al límite intergranular, a través de una texturización del sustrato.

40 En los componentes conocidos según el estado de la técnica es desfavorable que la orientación de la capa funcional está adaptada a la orientación natural de la estructura cristalina de la capa de sustrato, o bien de la capa tampón. También en el documento WO 92/16974 A1, el sustrato, o bien la capa tampón, presenta ya una orientación de cristal. En especial, esta orientación no es siempre óptima para forzar una orientación homogénea de la capa funcional en el flanco de la etapa. De este modo, por ejemplo en Soon-Gul Lee et al. ("Effects of d-wave symmetry in high T_c step-edge Josephson junctions", Physica C, Vol. 341-348, p. 14873-1474) el eje c de la capa funcional en el
45 flanco de la etapa no está forzado de modo homogéneo en la dirección normal respecto a este flanco, sino que se orienta estadísticamente en paralelo o perpendicular al eje c en las zonas planas respecto a ambos lados del flanco gradual oblicuo. Por consiguiente, la capa funcional en el flanco gradual se descompone en una pluralidad de dominios con diferentes ejes c de distinta orientación. Por lo tanto, en el flanco gradual ésta presenta una pluralidad de límites intergranulares, que reducen las propiedades eléctricas del contacto de Josephson.

50 Problema y solución

Por lo tanto, es tarea de la invención poner a disposición contactos de Josephson que presenten un producto elevado $I_c * R_n$, y se puedan obtener al mismo tiempo de modo reproducible como según el estado de la técnica previo.

Además es tarea de la invención desacoplar la orientación de la capa funcional de la orientación natural del sustrato y/o de una capa tampón, y crear, por consiguiente, la posibilidad de dirigir al límite intergranular la orientación de los ejes de cristal a y/o b de la capa funcional independientemente del material del sustrato y/o de la capa tampón.

5 Según la invención, este problema se soluciona mediante un elemento de construcción con un contacto de Josephson según las reivindicaciones 1 y 2, así como mediante un procedimiento de obtención según las reivindicaciones 15 y 16. Otros acondicionamientos ventajosos resultan de las reivindicaciones subordinadas relacionadas. Además son objeto de la invención un detector para radiación THz y un SQUID, en los que el elemento de construcción según la invención encuentra empleo.

10 Objeto de la invención

En el ámbito de la invención se desarrolló un elemento de construcción con un contacto de Josephson. Este elemento de construcción comprende un sustrato con al menos un borde gradual en esta superficie y una capa dispuesta sobre el mismo, constituida por un material superconductor a alta temperatura, presentando esta capa en el borde gradual un límite intergranular que forma el enlace débil del contacto de Josephson. Esta capa se denomina a continuación capa funcional.

Por borde gradual no se entiende el borde externo del sustrato en el que termina el sustrato, y con éste también la capa HTSL que se encuentra sobre el mismo. Un borde gradual en el sentido de esta invención es más bien un borde que se encuentra dentro de la zona superficial del sustrato, de modo que la capa HTSL que se encuentra sobre el sustrato se extiende a ambos lados de este borde gradual.

20 Según la invención, en ambos lados del borde gradual, el eje de cristal a y/o b está orientado en el plano de la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) a través de una texturización del sustrato y/o al de al menos una capa hasta una desviación de un máximo de 10° perpendicularmente al límite intergranular. Esto se puede realizar técnicamente, a modo de ejemplo, al desarrollarse la capa HTSL (capa funcional) por vía grafoepitáctica sobre la superficie texturizada.

25 Por consiguiente, el elemento de construcción según la invención se puede caracterizar alternativamente al ser desarrollada la capa funcional superconductora a alta temperatura sobre un sustrato texturizado y/o una capa tampón texturizada dispuesta entre el sustrato y la capa funcional superconductora a alta temperatura. Mediante la texturización, en ambos lados del borde gradual, el eje de cristal a y/o b en el plano de la capa funcional superconductora a alta temperatura está orientada hasta en una desviación de un máximo de 10° perpendicularmente al límite intergranular.

Se entiende por orientación del eje a, o bien b, de la capa HTSL, que los ejes de más de un 90 % de los granos, de los que se compone la capa HTSL, están orientados. Por regla general siempre hay granos con orientación equivocada, que, no obstante, ya no juegan ningún papel para el transporte de sustancias.

35 Se entiende por la orientación, tanto del eje a, como también del eje b, que una parte de granos con su eje a y una parte de granos con su eje b están orientados perpendicularmente al borde gradual.

Se identificó que las propiedades superconductoras de capas HTSL en el plano de la capa son muy anisótropas. La función de onda de los pares de Cooper que portan la corriente de supraconductividad, tiene una gran amplitud a lo largo del eje de cristal a o b en el plano de la capa, teniendo a lo largo del eje de cristal b una fase desplazada frente al eje de cristal a en 180° . En el sentido por debajo de 45° a ambos ejes de cristal a y b de la capa HTSL, la amplitud de la función de onda de los pares de Cooper es igual a cero. Por lo tanto, una corriente de supraconductividad elevada se puede transportar esencialmente solo a lo largo de los ejes de cristal a y b. Para poder transportar la corriente de supraconductividad también a lo largo del borde gradual, es necesario que, a ambos lados del borde gradual, el eje de cristal a o b de la capa HTSL esté orientado hacia el borde gradual. Por el contrario, si al menos en un lado del borde gradual la estructura de cristal está orientada en ángulo de 45° respecto al eje a y b, no fluye corriente de supraconductividad ($I_c = 0$) a través del contacto de Josephson. Además, en este caso se producen los estados de energía cero, que reducen drásticamente la resistencia de conductividad normal R_n (y también del producto $I_c \cdot R_n$) del contacto de Josephson.

40 Por consiguiente, al estar orientado el eje de cristal a y/o b perpendicularmente al borde gradual a ambos lados del borde gradual en cada caso, puede fluir una corriente de supraconductividad máxima a través del límite intergranular inducido a través del borde gradual, y de este modo a través del contacto de Josephson. Según el estado de la técnica previo, la orientación en plano del eje a y b en el plano de la capa no se controló, sino que se formó casualmente. Por lo tanto, las capas obtenidas contenían también muchos granos, en los que el eje a y/o b forman un ángulo de 45° con el borde gradual; por consiguiente, el transporte de sustancias a través de estos granos era mínimo, precisamente en el sentido que interesa.

En un acondicionamiento de la invención especialmente ventajoso, entre la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) y el sustrato está dispuesta una capa tampón antiepitáctica, siendo esta capa tampón antiepitáctica amorfa, o bien presentando una estructura de cristal no compatible desde el punto de vista epitaxial con el sustrato y/o con la capa superconductora a alta temperatura, de modo que el eje c de la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) se orienta según el sentido de crecimiento propio más conveniente desde el punto de vista energético, y por consiguiente está en una desviación de un máximo de 10° perpendicularmente al plano de la capa. En este caso, el plano de la capa sigue el pandeo en la superficie del sustrato. Para la antiepitaxia es importante que la orientación de la capa según su propio diagrama de fases, por ejemplo debido a la estructura estratificada de capas YBCO, sea preferentemente energéticamente frente a la orientación correspondiente al acoplamiento con el sustrato. Las capas funcionales superconductoras a alta temperatura, en especial capas YBCO, deben seguir su tendencia natural de crecer más rápidamente en el plano de la capa que en sentido c perpendicularmente al plano de la capa. Esto se puede conseguir con una capa delgada amorfa, o con una capa tan incompatible desde el punto de vista epitáctico que en la interfase con la capa HTSL se hayan formado muchas tensiones. Una tercera posibilidad es una capa muy delgada (aproximadamente 1 nm, preferentemente 0,3 a 1 nm) antiepitáctica constituida por un material con parámetros de estructura de cristal que se diferencian en gran medida de los parámetros de estructura de cristal del sustrato. En este caso, ambas estructuras de cristalización actúan sobre la orientación de la capa HTSL, y en este caso debilitan su acción sobre la capa HTSL recíprocamente.

A modo de ejemplo, sobre un sustrato de MgO puede estar dispuesta una primera capa epitáctica de óxido de circonio estabilizado con itrio (YSZ), que sirve como capa intermedia para la verdadera capa antiepitáctica de CeO₂. Sobre ésta puede estar dispuesta la capa de YBCO superconductora.

Una capa tampón antiepitáctica según la invención ocasiona que el eje c de la capa HTSL se oriente también perpendicularmente al plano de la capa si el sustrato presenta una estructura de cristal y una constante reticular compatible con la capa HTSL. De este modo se garantiza que en el borde gradual se forme en principio un límite intergranular en la capa HTSL. En el borde de la etapa en forma de banda de deslizamiento, el pandeo en la superficie del sustrato ocasiona un pliegue agudo en la estructura de cristal de la capa HTSL, de modo que se produce un contacto de Josephson. Por el contrario, en el caso de crecimiento epitáctico orientado en el sustrato, en el caso de ángulos de etapa $\theta < 45^\circ$, preferentemente $< 19^\circ$, no se produce un límite intergranular en el borde gradual, de modo que no se forma un contacto de Josephson. Con una capa intermedia antiepitáctica, preferentemente delgada, se asegura además que tanto el eje a, como también el eje b, se sitúen en el plano de capa, y se facilite un transporte de corriente a través de la capa en dos dimensiones. El control sobre el eje a y b es posible con una texturización en plano.

Ventajosamente, la capa tampón antiepitáctica presenta un grosor de 10 nm o menor, preferentemente de 1 nm o menor, y de modo muy especialmente preferente de 0,5 nm o menor. En tanto la texturización en el sustrato o en una capa adicional se encuentre entre la capa tampón antiepitáctica y el sustrato, mediante este grosor de capa reducido se garantiza que la texturización pueda tener aún una influencia decisiva sobre la orientación de cristal de la capa HTSL en el plano de la capa.

Ventajosamente, cada constante reticular de la capa tampón antiepitáctica en el plano de la capa es más próxima a las constantes reticulares a y b en el plano de la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) que en cualquier múltiplo entero, o partes de la constante reticular c de esta capa. De este modo se evita que el eje c de la capa HTSL se oriente en el plano de la capa tampón antiepitáctica.

En una ejecución especialmente ventajosa, la capa tampón antiepitáctica está texturizada. Esta texturización se produce entonces en contacto inmediato con la capa HTSL, y presenta acción máxima sobre su orientación de cristal en el plano.

Alternativamente, o también en combinación con esto, en otro acondicionamiento de la invención especialmente ventajoso, entre el sustrato y la capa tampón antiepitáctica, o entre la capa tampón antiepitáctica y la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional), está dispuesta otra capa tampón texturizada. Las funciones de ambas capas tampón están entonces separadas entre sí, y se pueden optimizar con independencia entre sí. Para que la influencia de la capa tampón texturizada sobre la orientación de cristal de la capa HTSL en el plano de la capa predomine sobre la influencia de la capa tampón antiepitáctica, la capa tampón texturizada es ventajosamente más gruesa que la capa tampón antiepitáctica, ventajosamente en al menos un 20 %, preferentemente en al menos un 50 %, y de modo muy especialmente preferente en al menos un 100 %. No obstante, esta presenta ventajosamente un grosor de 10 nm o menor, preferentemente de 1 nm o menor, y de modo muy especialmente preferente de 0,5 nm o menor, para no eliminar completamente la influencia de la capa tampón antiepitáctica sobre la orientación del eje c.

La capa tampón texturizada puede estar dispuesta también como capa tampón única inmediatamente entre el sustrato y la capa HTSL, en especial si el eje c de la capa HTSL se orienta perpendicularmente al plano de la

capa también sin capa tampón antiepitáctica. No obstante, tampoco en este caso ésta no es más gruesa que 10 nm de modo ventajoso. En el caso de mayores grosores se redondea el borde gradual agudo, de modo que la barrera tipo túnel en la capa HTSL se reduce y se ensancha a tal efecto. De este modo, ésta ya no actúa como enlace débil de un contacto de Josephson.

5 Ya la estructura de cristal normal de la capa tampón puede ser suficiente como texturizado. A tal efecto, la capa tampón presenta ventajosamente en su plano una constante reticular que se sitúa entre un 90 % y un 100 % de la constante reticular de la capa HTSL a lo largo del eje a orientar (a y/o b). Un ejemplo de una capa tampón, que permite esto, es CeO₂. Esta crece de manera epitáctica sobre óxido de circonio estabilizado con itrio YSZ, que crece a su vez de manera epitáctica sobre MgO. De este modo, su orientación de cristal se orienta en el
10 plano de capa perpendicularmente al borde gradual, y transmite esta orientación al eje a de YBCO. Para que la capa tampón pueda actuar de este modo sin texturización adicional, la constante reticular c de la capa HTSL no debe ser un múltiplo entero de las constantes reticulares a lo largo del eje a orientar (a y/o b). Por lo demás, en lugar del eje a y/o b, se puede orientar el eje c a lo largo de la capa tampón.

15 La texturización comprende ventajosamente resaltos y/o cavidades con una altura, o bien profundidad media entre 1 nm y 10 nm, preferentemente entre 1 nm y 5 nm. Características de texturización demasiado reducidas ya no actúan de manera reproducible sobre la orientación de la capa HTSL en el plano. En el caso de características demasiado grandes pueden crecer los granos de la capa HTSL orientados al eje a.

20 Ventajosamente, el radio de torsión del sustrato en el borde gradual asciende a 10 nm o menos, preferentemente a 5 nm o menos, y de modo muy especialmente preferente a 1 nm o menos. Entonces, el pandeo en la superficie del sustrato en este punto es también un incentivo suficientemente fuerte para la capa HTSL, para configurar un límite intergranular, y con el mismo el enlace débil del contacto de Josephson, si entre la capa HTSL y el sustrato está dispuesta una o varias capas tampón. El pandeo es idealmente tan agudo que en la capa HTSL se forma una interfase lineal entre dos granos, cuyas orientaciones se diferencian en sus ejes c.

25 En otro acondicionamiento ventajoso de la invención, el borde gradual separa una zona superficial plana de una zona superficial curvada. Ventajosamente, el radio de curvatura de la zona curvada asciende a 10 nm o más, preferentemente a 100 nm o más, y de modo muy especialmente preferente a 1 µm o más. La capa HTSL transcurre entonces en forma de una banda de deslizamiento a lo largo del borde gradual. De este modo se asegura que la capa HTSL forme solo un límite intergranular, y con ello un enlace débil, a través del borde
30 gradual. Si ésta formara dos o más enlaces débiles conectados en serie, el elemento de construcción ya no sería útil como contacto de Josephson. Esto consiste en que el ángulo θ entre las orientaciones de cristal de ambos granos será diferente generalmente para varios enlaces débiles conectados en serie. Por el contrario, si se consigue igualar este ángulo θ para varios enlaces débiles conectados en serie, la conexión en serie de estos enlaces débiles puede ser útil como contacto de Josephson efectivo.

35 En otro acondicionamiento ventajoso, esto se puede realizar al separar la etapa dos zonas planas de sustrato con una primera orientación, y al estar la misma orientada frente a estas zonas planas de modo que la capa funcional superconductora a alta temperatura adopta en ésta otra orientación de cristal del sustrato diferente, pero constante en la zona del escalón. Además, en este acondicionamiento se debe prescindir de una capa tampón antiepitáctica, para poder controlar la orientación del eje c de la capa funcional precisamente a través
40 del sustrato.

La superficie del sustrato en el borde gradual está curvada en un ángulo entre 20° y 60°, preferentemente entre 30° y 50°, y de modo muy especialmente preferente entre 35° y 45°. En especial un ángulo de pliegue de 40° ocasiona un ángulo θ óptimo entre los ejes c de ambos granos de la capa HTSL, que se encuentran en el límite intergranular.

45 La texturización es preferentemente rectangular o lineal. Una texturización lineal puede orientar los ejes a o b en cada grano, una texturización rectangular puede orientar ambos ejes en cada grano.

Como material para la capa HTSL es apropiado cualquier material en el que la función de onda de los pares de Cooper se expande por vía anisótropa como se ha descrito, y en el que un límite intergranular constituye una barrera local para la expansión de esta función de onda. Por consiguiente, además de YBCO, también son
50 apropiados todos los demás superconductores a alta temperatura oxidicos.

En el caso de densidad de corriente crítica dada J_c de una capa HTSL con un grosor dado se produce la corriente I_c , que puede fluir a través de una estructura lateral con una determinada anchura, para dar $I_c = J_c \cdot$ anchura \cdot grosor. Por lo tanto, en un elemento de construcción con I_c definida, la capa HTSL está estructurada lateralmente, a modo de ejemplo en forma de un puente con anchura definida, que transcurre a lo largo del
55 borde gradual. Con tal puente se puede realizar un detector y generador para radiación THz, o un RF-SQUID,

con dos puentes también un DC-SQUID. Por consiguiente, la invención se refiere también a un detector y generador para radiación THz, así como a un SQUID con el elemento de construcción según la invención. El SQUID se puede ampliar con un transformador de flujo, a modo de ejemplo en el sentido de la solicitud de patente alemana 10 2009 025 716.0, para dar un magnetómetro y/o gradiómetro altamente sensible.

- 5 El principio básico aquí descrito, la generación de un límite intergranular en el borde gradual, y la dirección de la orientación de cristal de la capa en relación con este límite intergranular a ambos lados del borde gradual, se puede aplicar generalmente. A modo de ejemplo, se pueden aprovechar propiedades ferromagnéticas, ferroeléctricas y multiferrosas de la barrera tipo túnel entre capas cristalinas oxídicas para nuevos elementos de construcción electrónicos.
- 10 En otro acondicionamiento de la invención especialmente ventajoso, el sustrato está texturizado, y entre el sustrato y la capa funcional superconductora a alta temperatura está dispuesta otra capa germinal constituida por el material de la capa funcional. Mediante el texturizado, en ambos lados del borde gradual, el eje de cristal a y/o b está orientado en el plano de la capa germinal hasta una desviación de un máximo de 10° perpendicularmente al límite intergranular. Simultáneamente, entre la capa germinal y la capa funcional superconductora a alta temperatura está dispuesta una capa de bloqueo, que impermeable para al menos un elemento metálico o semiconductor del sustrato. Respecto a la texturización es válido además todo lo dicho previamente respecto a la texturización.
- 15

En el sentido de este acondicionamiento, se entiende por impermeabilidad que dicho elemento del sustrato se difunde en el material de la capa de bloqueo más lentamente que en el material de la capa germinal, o bien
20 capa funcional, en al menos un orden de magnitud.

Es sabido (Hao et al., "Microstructure and magnesium diffusion in YBa₂Cu₃O_{7- θ} d films on bicrystal MgO substrates", Journal of Applied Physics 91 (11), 9251-9254 (2002)) que determinados elementos metálicos o semiconductores de sustratos pueden reducir la calidad de una capa funcional desarrollada sobre tales sustratos, al reaccionar con el material de la capa funcional y/o al introducir defectos en la capa funcional.
25 Como ejemplos de tales elementos interferentes se deben citar en especial magnesio, aluminio y silicio. Precisamente los óxidos de magnesio, aluminio y silicio son sustratos preferentes para el crecimiento, a modo de ejemplo de YBCO, como superconductor a alta temperatura debido a su constante reticular apropiada, constantes dieléctricas reducidas y bajos precios. A través de la capa de bloqueo se puede superar ahora el inconveniente de que tales sustratos contaminen la capa funcional.

30 Si ahora, como se propone por Hao et al, la capa de bloqueo se aplica inmediatamente sobre el sustrato, su estructura de cristal se orientaría según la estructura de cristal del sustrato, y no según su texturización; no tendría lugar una grafoepitaxia. De este modo se perdería la alineación según la invención de la orientación cristalográfica en la capa funcional a ambos lados del borde gradual. Por este motivo está prevista la capa germinal, que puede ser aplicada directamente, o por medio de una capa tampón antiepitáctica sobre el sustrato. De modo completamente análogo a la capa funcional en un elemento de construcción según la invención sin capa de bloqueo ni capa germinal, la orientación de la capa germinal está alineada mediante grafoepitaxia a ambos lados del borde gradual, de modo que en el borde gradual se produce un límite intergranular. La orientación determinada de este modo se adopta por la capa de bloqueo y se transmite a la capa funcional. En último lugar, la capa funcional sigue estando orientada indirectamente por la texturización del sustrato. No obstante, al mismo tiempo, ésta está protegida ante la penetración de contaminantes metálico o semiconductores del sustrato por la capa de bloqueo.

35

40

Ventajosamente, la capa germinal presenta conductividad normal. En el sentido de este acondicionamiento, se entiende por ello que sus propiedades superconductoras son peores que las de la capa funcional en al menos un orden de magnitud. Ya que la capa germinal está constituida por el mismo material que la capa funcional, en principio ésta podría ser igualmente superconductora a alta temperatura. No obstante, en este acondicionamiento, la superconductividad a alta temperatura en la capa germinal está intencionadamente suprimida, para que la capa germinal no forme una vía para una corriente de supraconductividad concurrente con la capa funcional. Tal vía concurrente podría ocasionar ruido e interferir en la función del elemento de construcción. La supraconductividad se puede suprimir, a modo de ejemplo, al presentar la capa germinal una configuración muy delgada. Esta se contamina completamente con metal, o bien semiconductor del sustrato, en la capa germinal ya no hay una vía no contaminada, a lo largo de la cual podría fluir aún una corriente de supraconductividad. Por lo tanto, la capa germinal presenta un grosor de un máximo de 50 nm, preferentemente entre 5 y 20 nm, y/o a lo sumo 1/3 del grosor de la capa funcional. Un grosor de 10 nm se ha mostrado óptimo en los ensayos del inventor.

45

50

Ventajosamente, la capa de bloqueo presenta un grosor entre 1 nm y 1 μ m, preferentemente entre 10 y 100 nm, y de modo muy especialmente preferente entre 20 y 40 nm. El límite inferior de 1 nm se debe a que 1 nm es la altura de escalón típica de capas germinales de materiales superconductores a alta temperatura, como YBCO, y

es necesaria una cobertura total de todas las etapas, para poder suprimir la difusión de contaminantes metálicos o semiconductores del sustrato a través de la capa germinal en la capa funcional. El límite superior de 1 μm se debe a que la capa de bloqueo presenta un coeficiente de dilatación térmico diferente al de la capa funcional y/o del sustrato. Las capas se deben desarrollar a temperatura elevada en cada caso. Cuanto más gruesa es la capa de bloqueo, tanto mayor es el peligro de que las tensiones mecánicas entre la capa de bloqueo y las demás capas conduzcan a una rotura de la pila de capas. Por lo demás es deseable que con la capa de bloqueo se introduzcan la menor cantidad posible de defectos en la pila de capas, y que la obtención de la capa de bloqueo no requiera un tiempo desproporcionadamente elevado. La capa de bloqueo crece típicamente solo con unos 30 nm por hora. Una capa de bloqueo de 30 nm de grosor cubre de manera segura el límite intergranular de la capa germinal situado por debajo, y por consiguiente asegura que a lo largo de este límite intergranular no se forme una vía a lo largo de la cual se puedan difundir contaminantes metálicos o superconductores del sustrato a la capa funcional.

Ventajosamente, la capa de bloqueo presenta una estructura de perovskita. Al presentar la mayor parte de capas funcionales superconductoras a alta temperatura, en especial YBCO, una estructura de perovskita del mismo modo, en la capa funcional se garantiza una transmisión óptima de la orientación cristalográfica adoptada por la capa germinal por vía grafoepitáctica. Como materiales para la capa de bloqueo son apropiados en especial SrTiO_3 , LaAlO_3 y NdGaO_3 .

En el ámbito de la invención se desarrolló también un procedimiento para la obtención de un elemento de construcción con un contacto de Josephson a partir de un sustrato con al menos un borde gradual en su superficie. En este caso se aplica una capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) sobre la superficie, de modo que se extiende a ambos lados del borde gradual. Este procedimiento es apropiado especialmente para la obtención de elementos de construcción según la invención. Por lo tanto, la manifestación dada para el elemento de construcción según la invención es válida expresamente también para este procedimiento cambiando lo que se deba cambiar.

Según la invención, el sustrato se texturiza y/o se aplica una capa tampón texturizada sobre el sustrato. A continuación se aplica la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) mediante grafoepitaxia, de modo que forma un límite intergranular en el borde gradual, y sus ejes a y/o b se orientan perpendicularmente al límite intergranular hasta una desviación de un máximo de 10° mediante una texturización.

Se identificó que precisamente mediante grafoepitaxia se puede alcanzar un crecimiento de capas en el que el eje a y/o b está orientado perpendicularmente al límite intergranular de manera homogénea. La grafoepitaxia comienza formándose en primer lugar islas cuya orientación es frecuentemente independiente de la estructura de cristal del sustrato, sobre bordes y ángulos de la texturización. La texturización ocasiona que estas islas se puedan orientar de modo homogéneo independientemente del orden en que se forman. Si las islas se completan para dar una capa, a partir del orden de corto alcance de las islas aisladas se forma un orden de largo alcance de la capa. Este orden de largo alcance colectivo comprende también islas desarrolladas con orientación originalmente falsa, o incluso sin orientación.

En el caso de crecimiento de YBCO y otros superconductores a alta temperatura oxídicos (HTSL) con estructura de cristal apilada, la cinética de crecimiento y las condiciones energéticas en la superficie favorecen la formación de islas (plaquetas) con (100), (010) y (001) superficies orientadas. Los ejes [100] y [010] de estas islas se orientan a los bordes, resaltes o cavidades de la superficie sobre la que se aplica HTSL. Si se introduce una texturización con tales características orientadas perpendicularmente al borde gradual en el sustrato o en una capa tampón aplicada entre sustrato y HTSL, en primer lugar las islas, y a continuación el eje a y/o b de la capa completa se pueden orientar hacia el borde gradual, y por lo tanto hacia el límite intergranular.

A modo de ejemplo, se puede aplicar YBCO sobre MgO o YSZ. El ajuste de defectos de retículo de YBCO a MgO, o bien YSZ, asciende a un 9 %, o bien un 4 %. Cuanto mayor es el ajuste de defectos de retículo, tanto mayor es la energía superficial de la capa HTSL que se desarrolla. De este modo aumenta también la energía potencial que tienen aquellas configuraciones superficiales que no corresponden al mínimo energético, frente a este mínimo. Esta energía potencial a su vez es una fuerza impulsora para la reorientación. Por consiguiente, con mayor ajuste de defectos de retículo es más difícil conseguir un crecimiento monocristalino, pero es más sencillo el crecimiento por medio de grafoepitaxia.

Para la obtención de elementos de construcción según la invención correspondientemente al acondicionamiento con capa germinal y capa de bloqueo se desarrolló un procedimiento alternativo, que está caracterizado por otra secuencia de pasos de procedimiento. Al comienzo de este procedimiento se texturiza el sustrato. A continuación se aplica una capa germinal a partir del material de la capa funcional mediante grafoepitaxia, de modo que la capa germinal forma un límite intergranular en el borde gradual, y su eje a y/o b se orienta perpendicularmente al límite intergranular hasta una desviación de un máximo de 10° mediante la texturización. De este modo, la capa germinal adquiere ya exactamente la misma orientación cristalográfica que debe obtener

finalmente la capa funcional.

Al aplicarse a continuación una capa de bloqueo, que es impermeable para al menos un elemento metálico o semiconductor del sustrato, sobre la capa germinal mediante epitaxia, la orientación cristalográfica de la capa germinal se transmite a la capa de bloqueo. Al aplicarse a continuación la capa funcional superconductora a alta temperatura a su vez mediante epitaxia sobre la capa de bloqueo, se transmite la misma orientación cristalográfica a la última capa funcional.

Por consiguiente, en resultado, también la capa funcional forma un límite intergranular en el borde gradual, y su eje a y/o b está orientado perpendicularmente al límite intergranular hasta una desviación de un máximo de 10° . La fuente de esta orientación es en último término la texturización del sustrato; no obstante, la orientación se determina por la capa germinal y la capa de bloqueo.

En un acondicionamiento de la invención especialmente ventajoso, la orientación del eje c de la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) o de la capa germinal, se desacopla de la orientación del sustrato al aplicarse una capa tampón antiepitáctica, que es amorfa, o bien presenta una estructura de cristal no compatible desde el punto de vista epitáctico con el sustrato y/o con la una capa superconductora a alta temperatura (capa funcional), o bien la capa germinal, antes de la aplicación de la capa superconductora a alta temperatura (capa funcional) o de la capa germinal. En este caso se puede texturizar la propia capa tampón antiepitáctica. No obstante, también se puede aplicar la misma entre sustrato y capa tampón texturizada, o entre capa tampón texturizada y capa HTSL (capa funcional), o bien capa germinal. Si el eje c de la capa HTSL (capa funcional), o bien de la capa germinal, se desacopla de la orientación del sustrato, su orientación en sí misma se ajusta a las condiciones energéticas de la capa HTSL, o bien de la propia capa germinal. Por consiguiente, es preferente una orientación del eje c perpendicular al plano de la capa.

Una alternativa es prescindir de la capa tampón epitáctica, pero utilizar la texturización, o bien la capa texturizada, y en caso dado además la capa de bloqueo. Sin capa tampón antiepitáctica, el eje c de la capa HTSL (capa funcional), o bien de la capa germinal, se ajusta a la estructura de cristal del sustrato. En el ejemplo de un sustrato de MgO con YBCO como capa HTSL (capa funcional), o bien capa germinal, existen dos orientaciones preferentes del eje c: 0 grados ("cube-on-cube") y 45 grados. Si el escalón se desarrolla en un ángulo más pronunciado que 19 grados respecto a las zonas planas del sustrato, en la zona del escalón se forma una orientación de 45 grados y en las zonas planas se forma una orientación de 0 grados. Por consiguiente, respectivamente en las transiciones del escalón entre las zonas planas se forman límites intergranulares en los que la orientación de cristal de la capa funcional varía respectivamente en un ángulo $\theta = 45$ grados. Una capa de bloqueo sobre la capa germinal es deseable también en este caso para reducir, o bien evitar contaminación de la capa HTSL (capa funcional). El contacto de Josephson producido en este acondicionamiento, con dos límites intergranulares (enlaces débiles) respectivamente con $\theta = 45$ grados de modificación de ángulo de la orientación de cristal presenta menos tensiones mecánicas y límites intergranulares de ángulo reducido, y por lo tanto puede ofrecer ventajosamente un menor ruido propio en comparación con los contactos de Josephson formados sólo en un límite intergranular. A tal efecto, el escalón no debía desarrollarse ventajosamente con curvatura (en forma de banda de deslizamiento), sino presentar respectivamente un borde en su transición superior e inferior respecto a las zonas planas del sustrato. Esto se refiere también a la obtención de detectores y generadores de radiación THz, así como a la obtención de SQUIDS a base de tales contactos de Josephson.

Para la obtención de un borde existen diversos métodos. Se corroe en seco respectivamente y se utiliza una capa fotorresistente como máscara aplicada en zonas parciales del sustrato.

En el primer método se irradia el haz iónico para la corrosión en seco en el ángulo incluido entre sustrato y borde de la capa fotorresistente. Después se determina el ángulo del borde gradual mediante el tiempo de corrosión. Este método es especialmente ventajoso si se debe producir un borde agudo en el borde superior del escalón, y si el escalón, por lo demás, se debe desarrollar en forma redondeada a modo de banda de deslizamiento.

En el segundo método el haz iónico para la corrosión en seco se irradia sobre la superficie del sustrato más allá del borde superior de la capa fotorresistente. El ángulo del borde gradual se determina entonces mediante el ángulo que incluye el haz iónico con la superficie de sustrato. De este modo, el ángulo es más fácilmente controlable. Este método es ventajoso si se deben generar dos límites intergranulares con el mismo ángulo θ entre las orientaciones de cristal.

Parte descriptiva especial

A continuación se explica el objeto de la invención por medio de figuras, sin que el objeto de la invención se limite de este modo. Muestra:

la figura 1: ejemplo de ejecución del elemento de construcción según la invención con dos capas tampón,

la figura 2: ejemplo de ejecución del elemento de construcción según la invención con sólo una capa tampón,

la figura 3: toma AFM de un sustrato texturizado,

5 la figura 4: toma AFM de una capa de YBCO en una capa tampón antiepitáctica de $MgCO_3$, que se aplicó a su vez sobre un sustrato de MgO texturizado,

la figura 5: toma por microscopía electrónica de una capa de YBCO, que se desarrolló sobre una capa tampón antiepitáctica gruesa,

la figura 6: toma por microscopía electrónica de una capa de YBCO, que se desarrolló sobre una capa tampón antiepitáctica delgada frente a la figura 5,

10 la figura 7: ejemplo de ejecución del elemento de construcción según la invención con capa de bloqueo y capa germinal en representación esquemática,

la figura 8: tomas de sección transversal por microscopía electrónica del ejemplo de ejecución esbozado en la figura 7,

15 la figura 9: vistas superiores por microscopía electrónica sobre las capas funcionales de dos elementos de construcción según la invención sin (a) y con (b) capa de bloqueo y capa germinal,

la figura 10: toma por microscopía electrónica de una capa de YBCO, que se desarrolló con texturización, y capa germinal YBCO y capa de bloqueo de $SrTiO_3$, pero sin capa tampón antiepitáctica sobre el escalón de 45 grados de un sustrato de MgO.

20 La figura 1 muestra un ejemplo de ejecución del elemento de construcción según la invención. En el sustrato 1.1 constituido por MgO, con una superficie depurada mediante corrosión por haz iónico, se encuentra una capa tampón de MgO 1.2 texturizada, de aproximadamente 10 nm de grosor, homoepitáctica. Mediante la depuración del sustrato se eliminó una capa amorfa de su superficie; esto posibilita el crecimiento homoepitáctico. A través de la estructura insular ruda de la capa tampón 1.2 se predetermina automáticamente una texturización. En la
25 la capa tampón homoepitáctica 1.2 se encuentra una capa tampón antiepitáctica 1.3 de aproximadamente 0,5 nm, constituida por $MgCO_3$. Esta desacopla la orientación del eje c de la capa de YBCO (capa funcional) 1.4 de aproximadamente 150 nm de grosor, aplicada sobre la misma, de la influencia del sustrato 1.1. Por lo tanto, el eje c es perpendicular a la superficie de la capa de YBCO 1.4 en su totalidad. Al mismo tiempo, los ejes a y b están orientados en la estructura insular rectangular (texturización) de la capa de MgO homoepitáctica. La capa
30 tampón de $MgCO_3$ amorfa se puede obtener con diferentes métodos de deposición. A modo de ejemplo, el $MgCO_3$ se puede formar con una breve reacción química de MgO en un plasma de CO_2 o en líquidos orgánicos, como por ejemplo acetona. No obstante, naturalmente también se puede desarrollar mediante una exposición de la superficie de MgO al aire. En lugar de $MgCO_3$ se puede emplear también una capa de CeO_2 de 0,5 nm a 1 nm de grosor como capa tampón antiepitáctica.

35 El sustrato 1.1 presenta un borde gradual agudo. Este permite formar un límite intergranular 1.5 a la capa de YBCO 1.4. Esta forma el enlace débil para el contacto de Josephson. El borde gradual separa una zona superficial plana del sustrato 1.1 de una zona curvada, que a su vez se transforma continuamente en otra zona plana. En este caso, el radio de curvatura es suficientemente amplio, de modo que la capa de YBCO (capa funcional) 1.4 no forma otros límites intergranulares.

40 La texturización de la capa tampón 1.2 tiene un sentido preferente perpendicularmente al borde gradual del sustrato 1.1. Por consiguiente, el eje a y/o b de la capa de YBCO 1.4 está orientado perpendicularmente al límite intergranular 1.5 a ambos lados del borde gradual en cada caso. De este modo se puede transportar una corriente de supraconductividad máxima I_c con resistencia máxima R_n en estado de conductividad normal a través del límite intergranular 1.5.

45 La estructuración lateral de la capa de YBCO 1.4 en el plano de capa que forma el elemento de construcción concreto a partir de la capa, no está representada en la figura 1.

La figura 2 muestra otro ejemplo de ejecución del elemento de construcción según la invención. Sobre el sustrato 2.1 se ha aplicado una capa antiepitáctica 2.2, que está texturizada simultáneamente. Por consiguiente, esta desacopla la orientación del eje c de la capa de YBCO superpuesta (capa funcional) 2.3 de la influencia del sustrato 2.1, mientras que su texturización orienta al mismo tiempo el eje a de la capa de YBCO

2.3 en el sentido del límite intergranular 2.4. La causa del límite intergranular 2.4 es el borde gradual en el sustrato 2.1 La estructuración lateral de la capa de YBCO (capa funcional) 2.3 en el plano de la capa que forma el elemento de construcción concreto a partir de la capa, no está representada en la figura 2.

5 La figura 3 muestra una toma AFM de un sustrato texturizado. La figura parcial a es una toma topográfica, la figura parcial b muestra la señal de fase en la que las características topográficas aparecen sin fiabilidad elevada, pero aclaradas a tal efecto. La figura parcial c es un barrido lineal que se extrajo de la toma topográfica en la proximidad inmediata del borde gradual.

10 En el barrido lineal en la figura 3c se marcan cuatro puntos 1 a 4. La siguiente tabla indica, por encima de la diagonal, la distancia lateral de un punto a los demás puntos y, por debajo de la diagonal, la diferencia de altura de un punto a los demás puntos:

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 3
Punto 1		941,662 nm	1883,32 nm	2824,98 nm
Punto 2	2,6 nm		941,662 nm	1883,32 nm
Punto 3	2,45 nm	0,14 nm		941,662 nm
Punto 4	8,56 nm	5,96 nm	6,11 nm	

15 La figura 4 muestra una toma AFM de una capa de YBCO (capa funcional), que se desarrolló sobre una capa tampón epitáctica constituida por MgCO₃, que se desarrolló a su vez sobre un sustrato de MgO texturizado. A partir de esta capa se puede elaborar un elemento de construcción con un contacto de Josephson mediante estructuración lateral apropiada, que crea un contacto de Josephson con dimensiones definidas, y con ello también I_c definido. La figura parcial a muestra la toma topográfica, la figura parcial b muestra la señal de fase. La figura parcial c es una toma topográfica del barrido lineal extraído. El borde gradual se desarrolla en diagonal del lado superior izquierdo al lado inferior derecho en las figuras parciales a y b.

20 El diagrama de fases b muestra claramente que la estructura de cristal de YBCO se modifica en gran medida en el borde gradual. En el plano superior del borde gradual en el lado inferior izquierdo, YBCO se ha desarrollado en estructuras espirales limitadas en forma aproximadamente rectangular, estando orientado un lado del rectángulo en cada caso perpendicularmente al borde gradual, y con ello hacia el límite intergranular entre ambas orientaciones de cristal diferentes. Más allá del borde gradual, en el lado superior derecho en la imagen, YBCO se ha desarrollado en una estructura más primaria constituida por islas limitadas rectangularmente, en las que un lado está orientado a su vez en ángulo recto al borde gradual.

25 En el barrido lineal en la figura 4c están marcados cuatro puntos 1 a 4. La siguiente tabla indica, por encima de la diagonal, la distancia lateral de un punto a los demás puntos y, por debajo de la diagonal, la diferencia de altura de un punto a los demás puntos:

	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
Punto 1		344,535 nm	689,07 nm	1033,6 nm
Punto 2	57,69 nm		344,535 nm	689,07 nm
Punto 3	102,55 nm	44,86 nm		344,535 nm
Punto 4	127,79 nm	70,1 nm	25,24 nm	

La figura 5 es una toma por microscopía electrónica de barrido de un ensayo fallido de obtención de un elemento de construcción según la invención. La toma muestra la superficie de una capa de YBCO, que se desarrolló sobre una capa tampón de 10 nm de grosor antiepitáctica, constituida por $MgCO_3$, y aún no se estructuró lateralmente. Esta capa tampón antiepitáctica se había desarrollado a su vez sobre un sustrato de MgO texturizado con un borde gradual. El borde gradual se desarrolla perpendicularmente de arriba abajo en el centro de la figura.

El YBCO se ha desarrollado en granos tipo terraza con área básica aproximadamente rectangular. Los granos crecen en altura a lo largo del eje y de YBCO. Este eje es obviamente perpendicular al plano del dibujo, de modo que la capa tampón antiepitáctica ha desacoplado con éxito la orientación del eje c de la influencia del sustrato, lo que se pretende, girar el eje c en el plano de la capa. Los bordes del área básica de cada grano son los ejes de cristal a y b de YBCO. En casi todos los granos visibles, los ejes de cristal a y b forman un ángulo de 45° con el borde gradual. Este es precisamente el ángulo en el que se puede transportar solo una corriente de supraconductividad mínima entre ambos electrodos del contacto de Josephson respecto a ambos lados del borde gradual. El inventor atribuye esto a que la capa antiepitáctica era demasiado gruesa. No solo ha desacoplado la orientación del eje c de la capa de YBCO del sustrato, sino que la capa de YBCO también se ha apantallado de la texturización introducida en el sustrato en tal medida que ésta ya no pudo orientar los ejes a y b de YBCO.

La figura 6 muestra un corte equivalente de una capa de YBCO (capa funcional) obtenida con éxito según la invención antes de la estructuración lateral para dar el elemento de construcción concreto. Frente a la figura 5 se redujo el grosor de capa tampón antiepitáctica a 0,5 nm. Esto ha provocado que ahora el eje a de la mayor parte de granos sea perpendicular al borde gradual que transcurre de arriba a abajo en el centro de la figura. De este modo se puede transportar una corriente de supraconductividad máxima sobre el borde gradual, y con ello también a través del contacto de Josephson. Simultáneamente, la capa tampón antiepitáctica ha seguido desacoplando la orientación del eje c de la influencia del sustrato. La orientación del eje c no se ha modificado frente a la figura 5.

La figura 7 muestra esquemáticamente un ejemplo de ejecución del elemento de construcción según la invención con capa de bloqueo y capa germinal. En el sustrato de MgO texturizado 7.1 se aplica en primer lugar una capa germinal de YBCO de 10 nm de grosor 7.2, cuya orientación cristalográfica se ha dirigido ya del mismo modo que se desea para la posterior capa funcional 7.4 mediante grafoepitaxia en la texturización del sustrato 7.1. En la capa germinal 7.2 se ha desarrollado por vía epitáctica una capa de bloqueo 7.3 de $SrTiO_3$ (STO) de 30 nm de grosor, que adopta la orientación de la capa germinal 7.2. La capa funcional 7.4 desarrollada sobre la misma adopta a su vez la orientación de la capa de bloqueo 7.3, y con ello la orientación de la capa germinal 7.2. Por consiguiente, la capa funcional 7.4 se ha orientado exactamente como si se hubiera desarrollado directamente sobre el sustrato 7.1. Al haber formado la capa germinal 7.2 respectivamente un límite intergranular en el crecimiento sobre el sustrato 7.1 en ambos bordes graduales del sustrato, en este punto se ha formado en cada caso un límite intergranular 7.5 en la capa de bloqueo 7.3, y finalmente también en la capa funcional 7.4. Simultáneamente, la capa funcional 7.4 está protegida por la capa de bloqueo 7.3 ante la penetración de magnesio del sustrato 7.1.

La figura 8 muestra tomas en sección transversal por microscopía electrónica de transmisión del ejemplo de ejecución esbozado en la figura 7 en dos grados de aumento diferentes (figuras parciales a y b). Se representa solo la zona alrededor del borde gradual derecho en el sustrato 7.1 mostrado en la figura 7. El ángulo θ representado en la figura 8b aclara la inversión de la orientación de cristal en el límite intergranular, que se ocasiona a través del escalón en el sustrato, y llega a todas las capas de la pila de capas. La capa de bloqueo de $SrTiO_3$ (STO) muestra un estrechamiento en el límite intergranular. Por lo tanto, ésta no se puede hacer más

delgada esencialmente sin que se produzca posiblemente en el límite intergranular una vía a lo largo de la cual se podría difundir magnesio en la capa funcional de YBCO situada por encima de la capa de STO.

5 La figura 9 muestra vistas superiores por microscopía electrónica sobre las capas funcionales de dos elementos de construcción según la invención sin (a) y con (b) capa de bloqueo y capa germinal. En el caso del elemento de construcción con capa de bloqueo y capa germinal apenas son visibles pocos defectos. En el caso del elemento de construcción sin capa de bloqueo ni capa germinal, reacciones químicas con magnesio introducido por difusión del sustrato han formado muchos orificios en la capa funcional. El producto $J_c \cdot R_n$, para el elemento de construcción sin capa de bloqueo ni capa germinal, con 300 mV a 77 K, ya está claramente mejorado frente al estado de la técnica, aunque muchas vías de corriente en la capa funcional están interrumpidas por los orificios. Con capa de bloqueo y capa terminal, el producto $J_c \cdot R_n$ se aumenta a aproximadamente 1 mV a 77 K. Análogamente, la temperatura crítica T_c del elemento de construcción con capa de bloqueo y capa germinal es aproximadamente 10 K más elevada que en el caso del elemento de construcción sin capa de bloqueo ni capa germinal.

15 La figura 10 muestra una toma por microscopía electrónica de una capa de YBCO, que se desarrolló con texturización y capa germinal de YBCO, y capa de bloqueo de $SrTiO_3$, pero sin capa tampón antiepitáctica, sobre un sustrato de MgO con un escalón de 45 grados, que separa dos zonas planas del sustrato. Al haber adoptado la capa en las zonas planas a la derecha y a la izquierda del escalón una primera orientación [001] del sustrato, y en la zona del escalón una segunda orientación [011], en ambas transiciones del escalón con las zonas planas se han formado dos límites intergranulares, en los cuales la orientación de cristal de la capa de YBCO se modifica respectivamente en el mismo ángulo $\theta = 45^\circ$. En comparación con la figura 6, que muestra la misma vista superior sobre una capa funcional obtenida sin capa de bloqueo ni capa germinal, una fracción de granos aún mayor, con su eje a , está orientada perpendicularmente al borde gradual que se desarrolla de arriba a abajo en el centro de la figura, y forma menos fase Y_2BaCuO (fase verde). La figura 10 se intensificó en contraste en diversas zonas de diferentes claridad, para hacer visibles la mayor cantidad posible de granos. Las capas de YBCO presentan dos orientaciones frente a la orientación [001] del sustrato de MgO: 0 grados en las zonas planas y 45 grados en el escalón.

REIVINDICACIONES

- 1.- Elemento de construcción con un contacto de Josephson, que presenta un enlace débil, que comprende un sustrato con al menos un borde gradual en su superficie, y una capa funcional dispuesta sobre el mismo, constituida por un material superconductor a alta temperatura, presentando esta capa en el borde gradual un límite intergranular que forma el enlace débil del contacto de Josephson, estando orientado en ambos lados del borde gradual el eje de cristal a y/o b en el plano de la capa funcional superconductora a alta temperatura hasta en una desviación, a modo de ejemplo, de un máximo de 10° perpendicularmente al límite intergranular, a través de una texturización del sustrato y/o al menos una capa tampón dispuesta entre el sustrato y la capa funcional superconductora a alta temperatura, caracterizado por que la texturización comprende resaltos y/o cavidades con una altura, o bien profundidad media entre 1 nm y 10 nm, preferentemente entre 1 nm y 5 nm.
- 2.- Elemento de construcción con un contacto de Josephson, que presenta un enlace débil, que comprende un sustrato con al menos un borde gradual en su superficie y una capa funcional dispuesta sobre el mismo, constituida por un material superconductor a alta temperatura, presentando esta capa en el borde gradual un límite intergranular que forma el enlace débil del contacto de Josephson, caracterizado por que la capa funcional superconductora a alta temperatura se ha desarrollado por vía grafoepitáctica sobre un sustrato texturizado y/o una capa tampón texturizada dispuesta entre el sustrato y la capa funcional superconductora a alta temperatura, estando orientado el eje de cristal a y/o b en el plano de la capa funcional superconductora a alta temperatura hasta una desviación de un máximo de 10° perpendicularmente al límite intergranular, mediante la texturización a ambos lados del borde gradual.
- 3.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que la orientación de la texturización del sustrato, o bien de la capa tampón, es diferente a la orientación predeterminada mediante la estructura de cristal del sustrato, o bien de la capa tampón.
- 4.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que entre la capa funcional superconductora a alta temperatura y el sustrato está dispuesta una capa tampón antiepitáctica, siendo esta capa tampón antiepitáctica amorfa, o presentando la misma una estructura de cristal no compatible desde el punto de vista epitáctico con el sustrato y/o con la capa funcional superconductora a alta temperatura, de modo que el eje c de la capa funcional superconductora a alta temperatura es perpendicular a la superficie de esta capa hasta una desviación de un máximo de 10°.
- 5.- Elemento de construcción según la reivindicación 4, caracterizado por que la capa tampón antiepitáctica presenta un grosor de 10 nm o menor, preferentemente de 1 nm o menor, y de modo muy especialmente preferente de 0,5 o menor, y/o por que cada constante reticular de la capa tampón antiepitáctica en el plano de capa se sitúa más próxima a las constantes reticulares a y b en el plano de la capa funcional superconductora a alta temperatura que en cualquier múltiplo entero o partes de las constantes reticulares c de esta capa y/o por que la capa tampón antiepitáctica está texturizada.
- 6.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 4 a 5, caracterizado por que entre el sustrato y la capa tampón antiepitáctica, o entre la capa tampón antiepitáctica y la capa funcional superconductora a alta temperatura está dispuesta otra capa tampón texturizada.
- 7.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que directamente entre el sustrato y la capa funcional superconductora a alta temperatura está dispuesta una capa tampón texturizada como única capa tampón.
- 8.- Elemento de construcción según la reivindicación 6, caracterizado por que la capa tampón texturizada es más gruesa que la capa tampón antiepitáctica en al menos un 20 %, preferentemente en al menos un 50 %, y de modo muy especialmente preferente en al menos un 100 %, y/o por que la capa tampón texturizada presenta un grosor de 10 nm o menor, preferentemente de 1 nm o menor, y de modo muy especialmente preferente de 0,5 nm o menor, y/o por que la tapa tampón texturizada en su plano presenta una constante reticular que se sitúa entre un 90 % y un 100 % de las constantes reticulares de la capa funcional superconductora a alta temperatura a lo largo de uno de sus ejes a o b en el plano de capa, y/o por que la texturización comprende resaltos y/o cavidades con una altura, o bien profundidad media, entre 1 nm y 10 nm, preferentemente entre 1 nm y 5 nm.
- 9.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que el radio de curvatura del sustrato en el borde gradual asciende a 10 nm o menos, preferentemente 5 nm o menos, y de modo muy especialmente preferente 1 nm o menos, y/o por que el borde gradual separa una zona superficial plana de una zona superficial curvada y/o por que el radio de curvatura de la zona curvada asciende a 10 nm o más, preferentemente 100 nm o más, y de modo muy especialmente preferente 1 μm o más.
- 10.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que el escalón separa dos

zonas planas de sustrato con una primera orientación, y está orientado frente a estos planos de modo que la capa funcional superconductor a alta temperatura adopta en el mismo una orientación de cristal diferente, pero constante en la zona del escalón.

5 11.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 10, caracterizado por que la superficie del sustrato en el borde gradual está plegada en un ángulo entre 20° y 60°, preferentemente entre 30° y 50°, y de modo muy especialmente preferente entre 35° y 45°.

12.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que la texturización es rectangular o lineal.

10 13.- Elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 12, caracterizado por que el sustrato está texturizado, y entre el sustrato y la capa funcional superconductor a alta temperatura está dispuesta otra capa germinal constituida por el material de la capa funcional, estando dispuesto el eje de cristal a y/o b en el plano de la capa germinal perpendicularmente al límite intergranular hasta en una desviación de un máximo de 10° mediante texturizado a ambos lados del borde gradual, y estando dispuesta entre la capa germinal y la capa funcional superconductor a alta temperatura una capa de bloqueo que es impermeable para al menos un elemento metálico o semiconductor del sustrato y/o por que la capa germinal adicional presenta configuración de conductividad normal y/o por que la capa germinal adicional presenta un grosor de un máximo de 50 nm, preferentemente entre 5 y 20 nm, y/o por que la capa germinal adicional presenta un grosor de un máximo de 1/3 del grosor de la capa funcional y/o por que la capa de bloqueo presenta un grosor entre 1 nm y 1 μm, preferentemente entre 10 y 100 nm, y de modo muy especialmente preferente entre 20 y 40 nm, y/o por que la capa de bloqueo presenta una estructura de perovskita.

14.- Detector o generador para radiación THz o interferómetro cuántico superconductor, SQUID, caracterizado por al menos un elemento de construcción según una de las reivindicaciones 1 a 13.

25 15.- Procedimiento para la obtención de un elemento de construcción con un contacto de Josephson a partir de un sustrato con al menos un borde gradual en su superficie, aplicándose una capa funcional superconductor a alta temperatura sobre la superficie, de modo que ésta se extiende a ambos lados del borde gradual, caracterizado por que el sustrato se texturiza y/o se aplica una capa tampón texturizada sobre el sustrato, y a continuación se aplica la capa funcional superconductor a alta temperatura mediante grafoepitaxia, de modo que la capa funcional superconductor a alta temperatura forma un límite intergranular en el borde gradual, y su eje a y/o b se orienta perpendicularmente al límite intergranular hasta una desviación de un máximo de 10° mediante la texturización.

30 16.- Procedimiento para la obtención de un elemento conductor con un contacto de Josephson a partir de un sustrato con al menos un borde gradual en su superficie, aplicándose una capa funcional superconductor a alta temperatura sobre la superficie, de modo que ésta se extiende a ambos lados del borde gradual, caracterizado por los siguientes pasos de procedimiento:

* el sustrato se texturiza;

35 * a continuación se aplica una capa germinal constituida por el material de la capa funcional mediante grafoepitaxia, de modo que la capa germinal forma un límite intergranular en el borde gradual, y su eje a y/o b se orienta perpendicularmente al límite intergranular hasta una desviación de un máximo de 10° mediante la texturización;

40 * a continuación se aplica una capa de bloqueo, que es impermeable para al menos un elemento metálico o semiconductor del sustrato, por vía epitáctica para dar la capa germinal;

* a continuación se aplica la capa funcional superconductor a alta temperatura por vía epitáctica para dar la capa de bloqueo.

45 17.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 15 a 16, caracterizado por que la orientación del eje c de la capa funcional superconductor a alta temperatura o de la capa germinal se desacopla de la orientación del sustrato, al aplicarse, antes de la aplicación de la capa funcional superconductor a alta temperatura o de la capa germinal, una capa tampón antiepitáctica que es amorfa o, o bien presenta una estructura de cristal no compatible con el sustrato y/o con la capa funcional superconductor a alta temperatura, o bien la capa germinal.

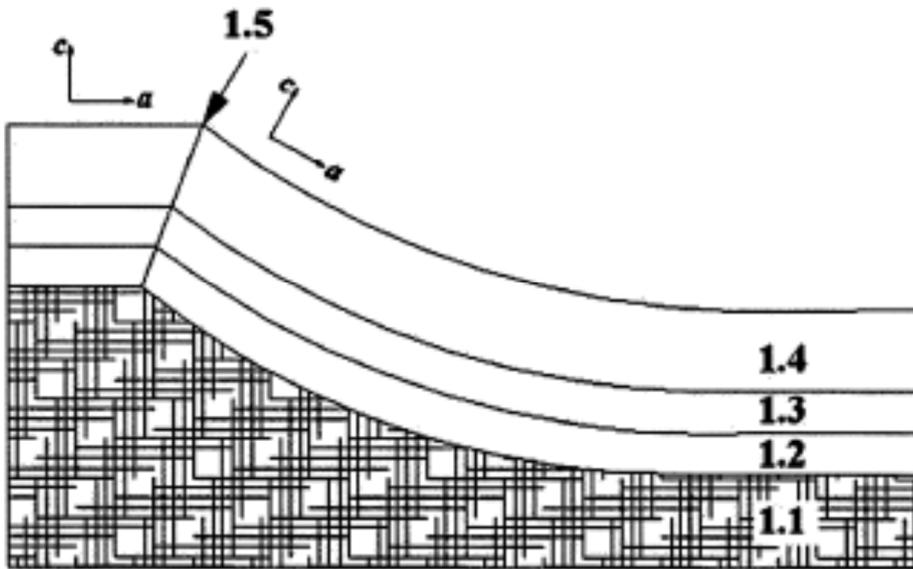


Figura 1

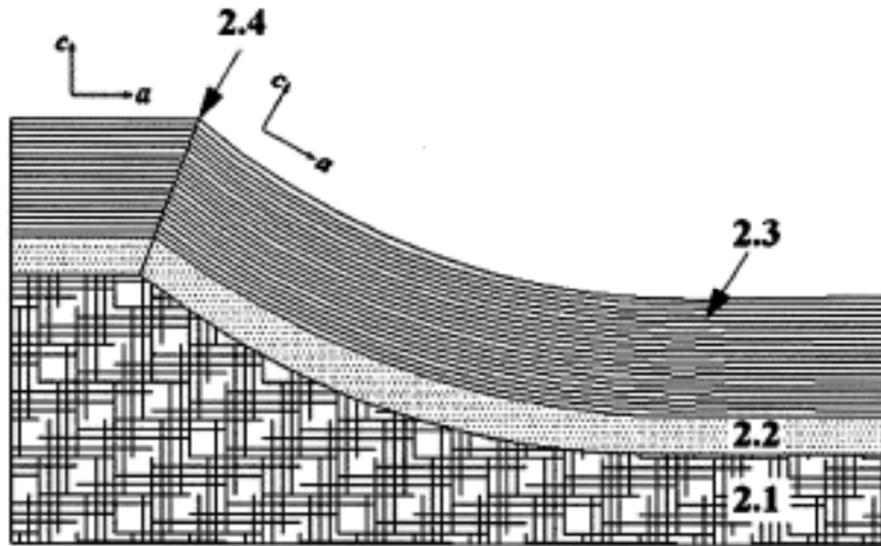


Figura 2

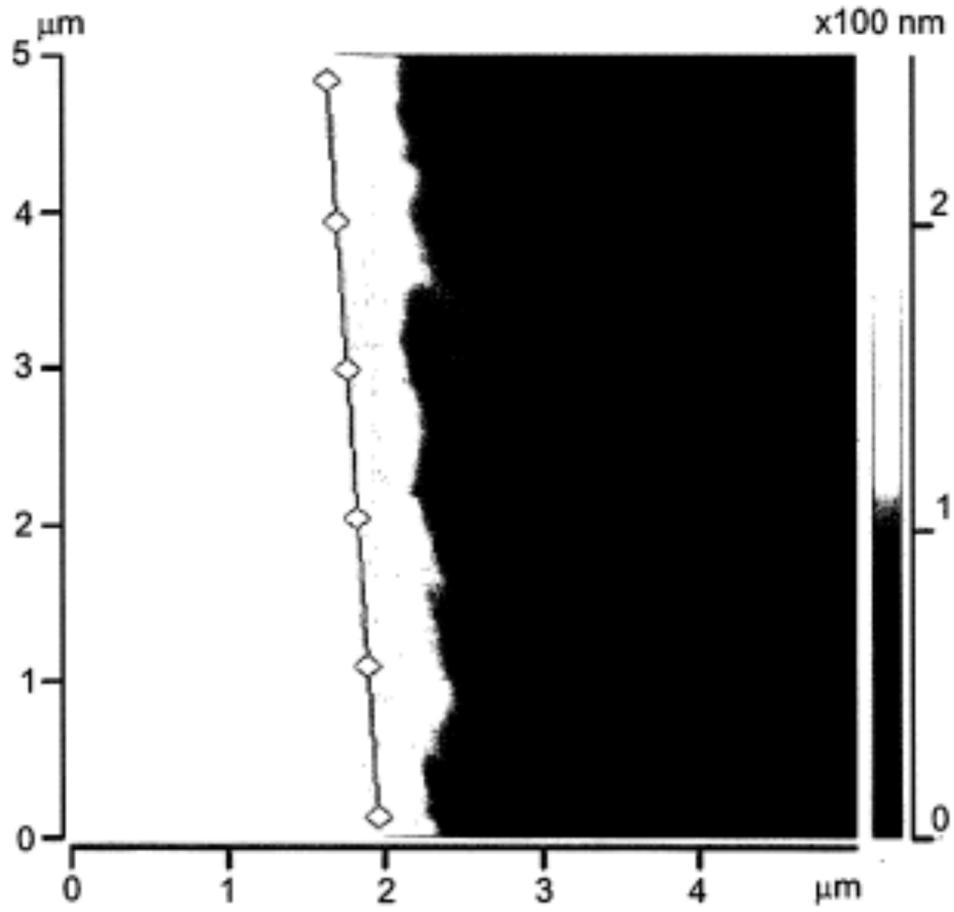


Figura 3a

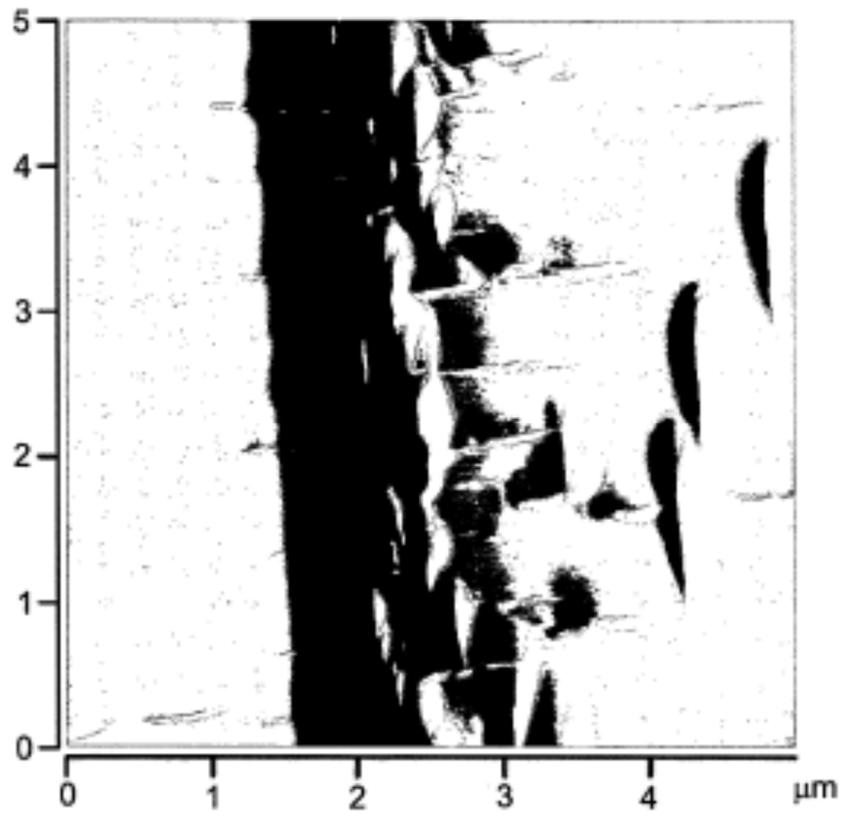


Figura 3b

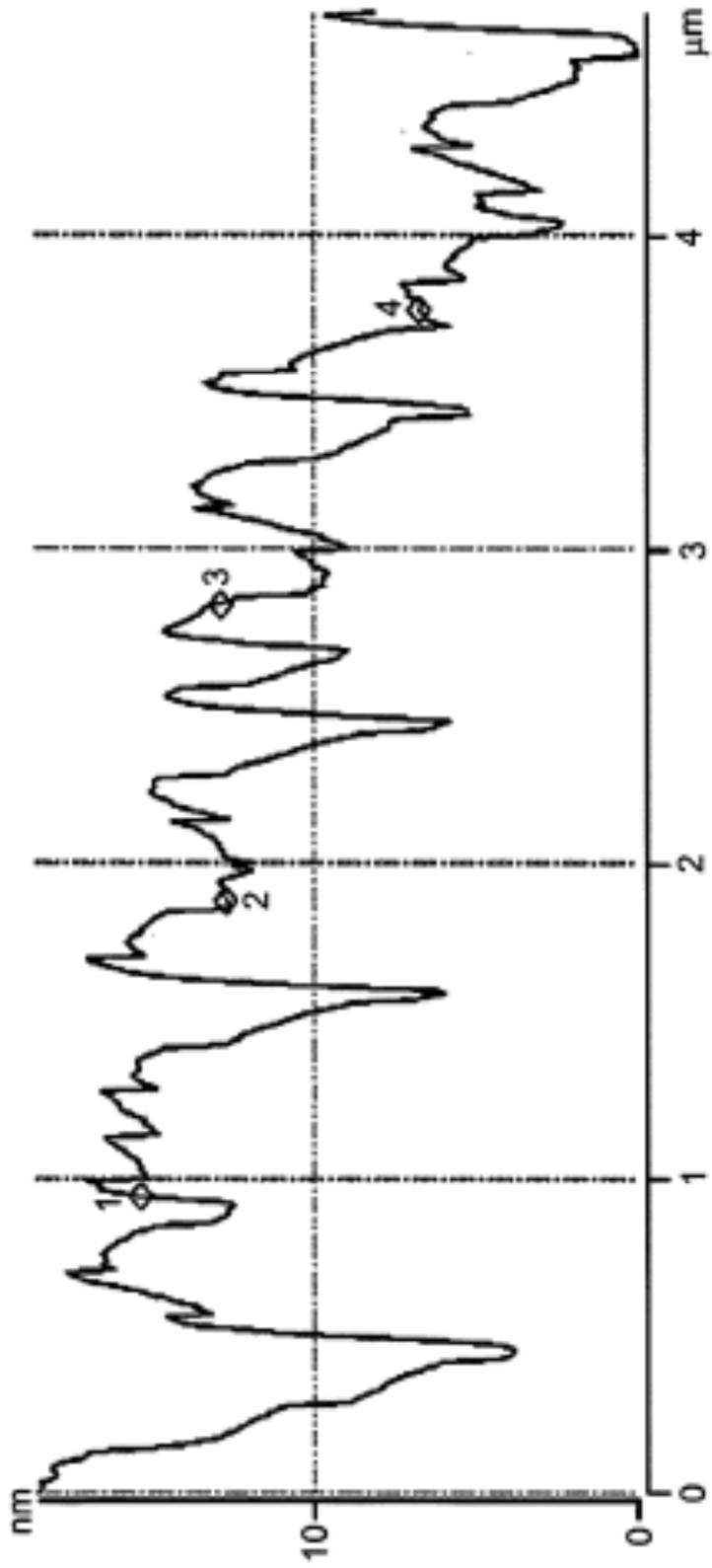


Figura 3c

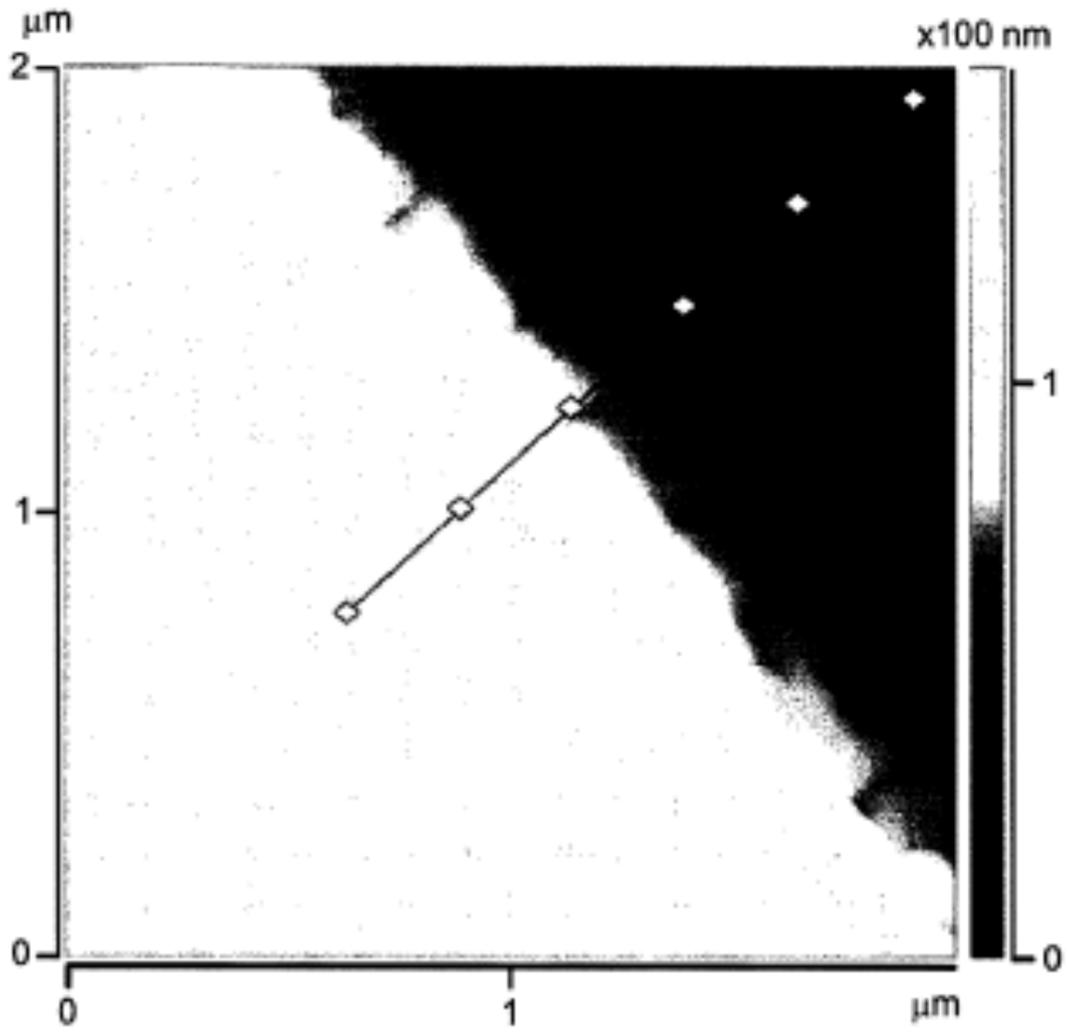


Figura 4a

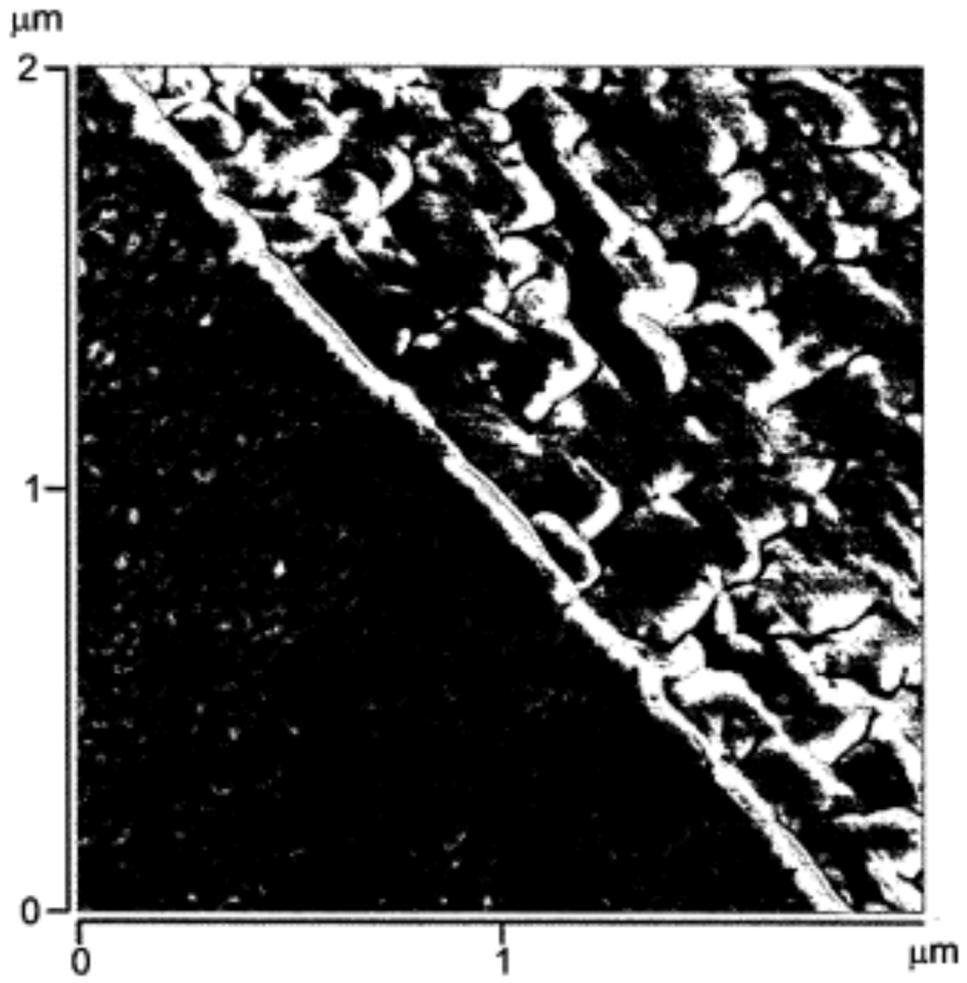


Figura 4b

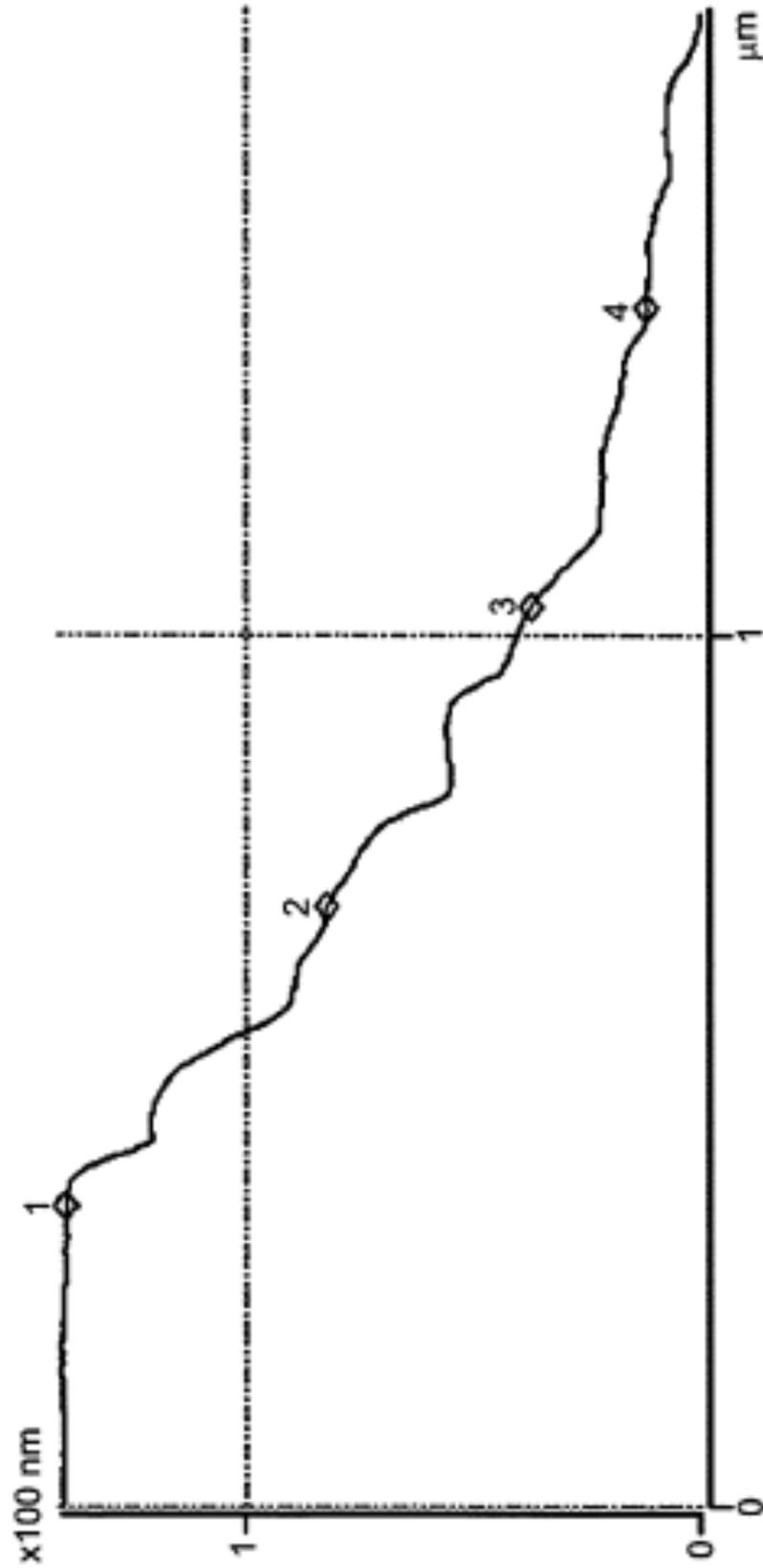


Figura 4c



Figura 5

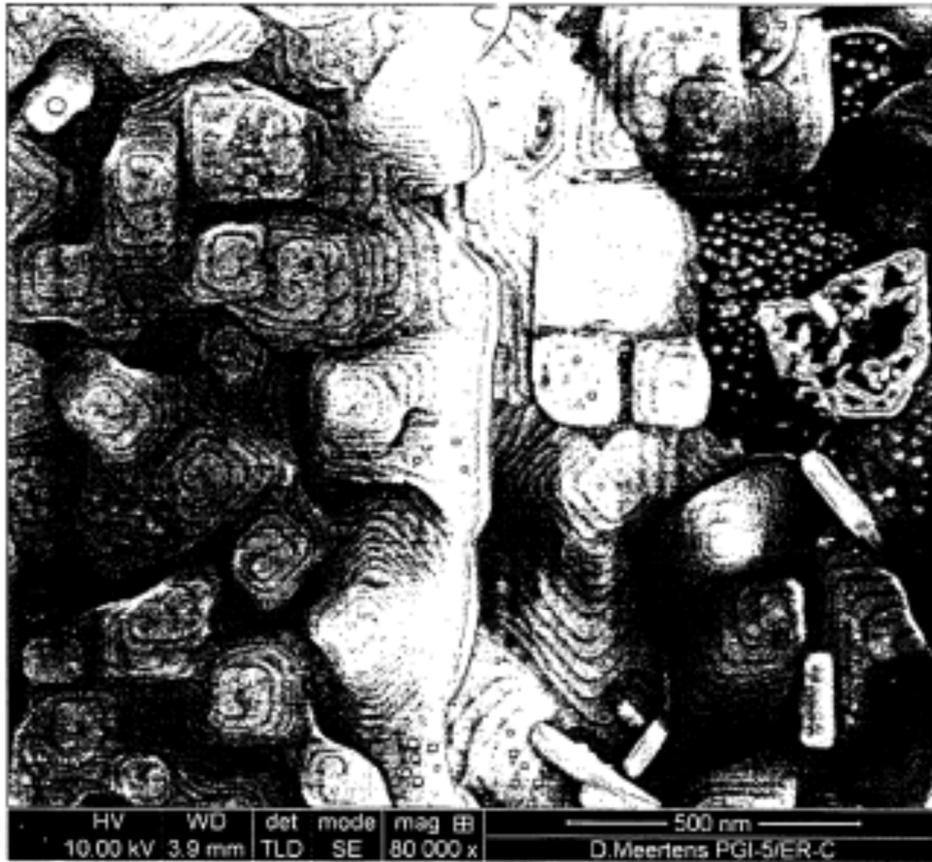


Figura 6

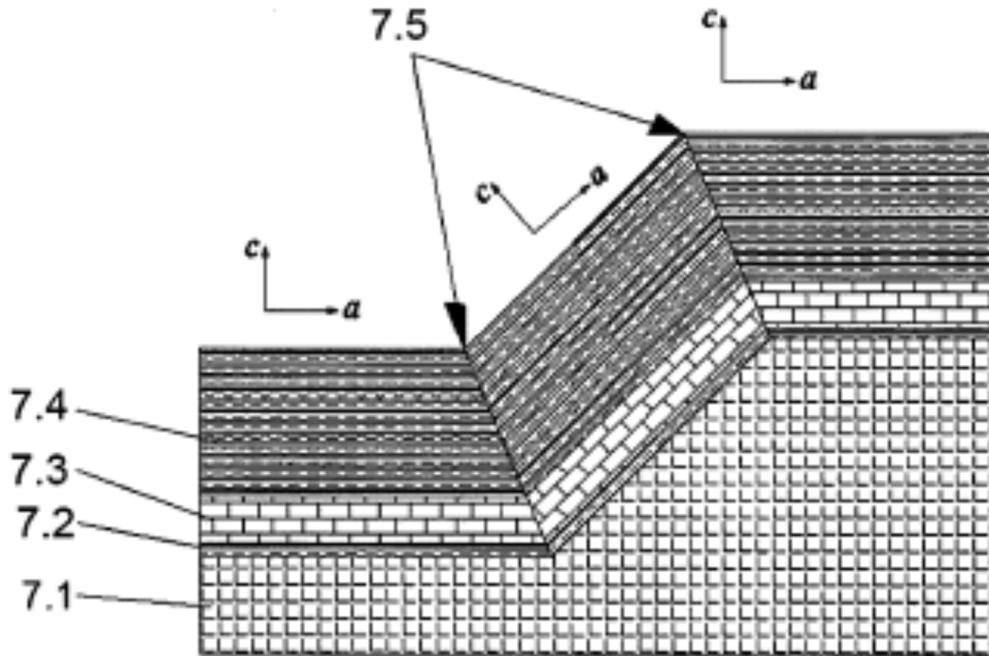


Figura 7

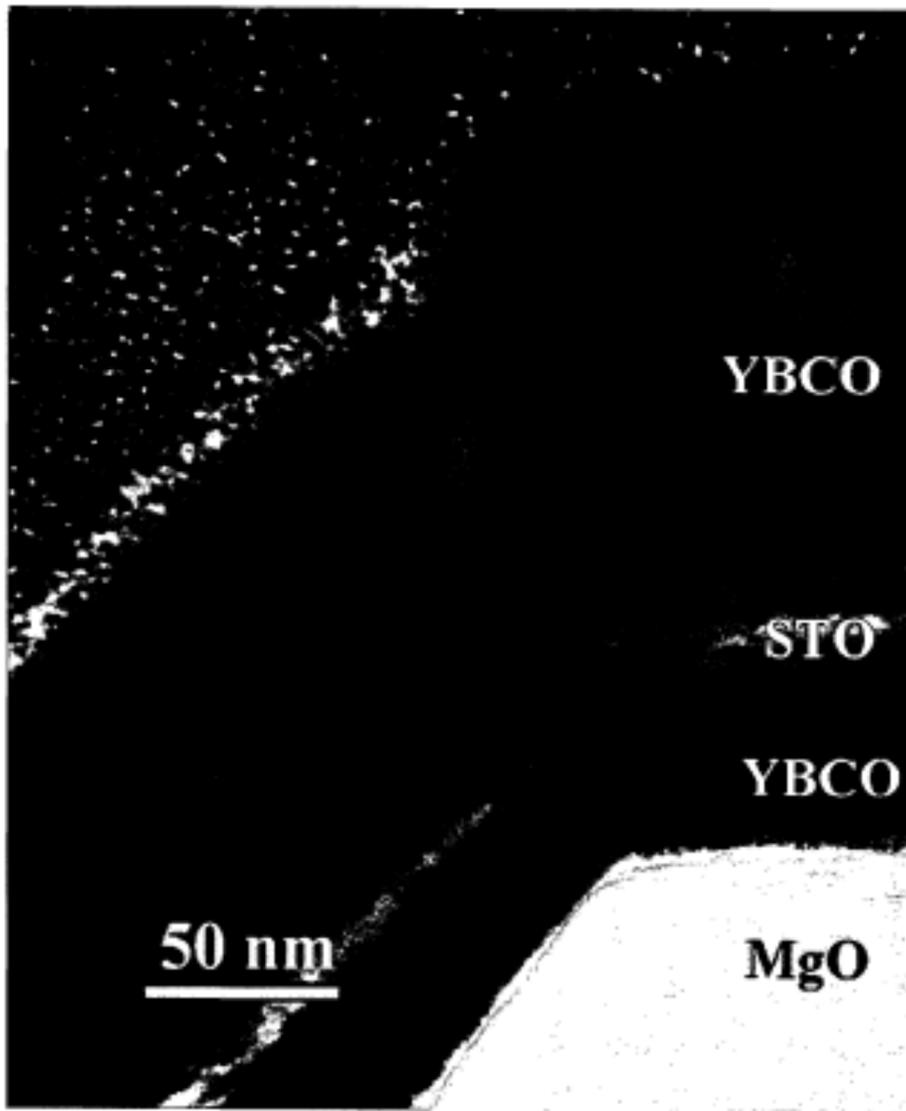


Figura 8a

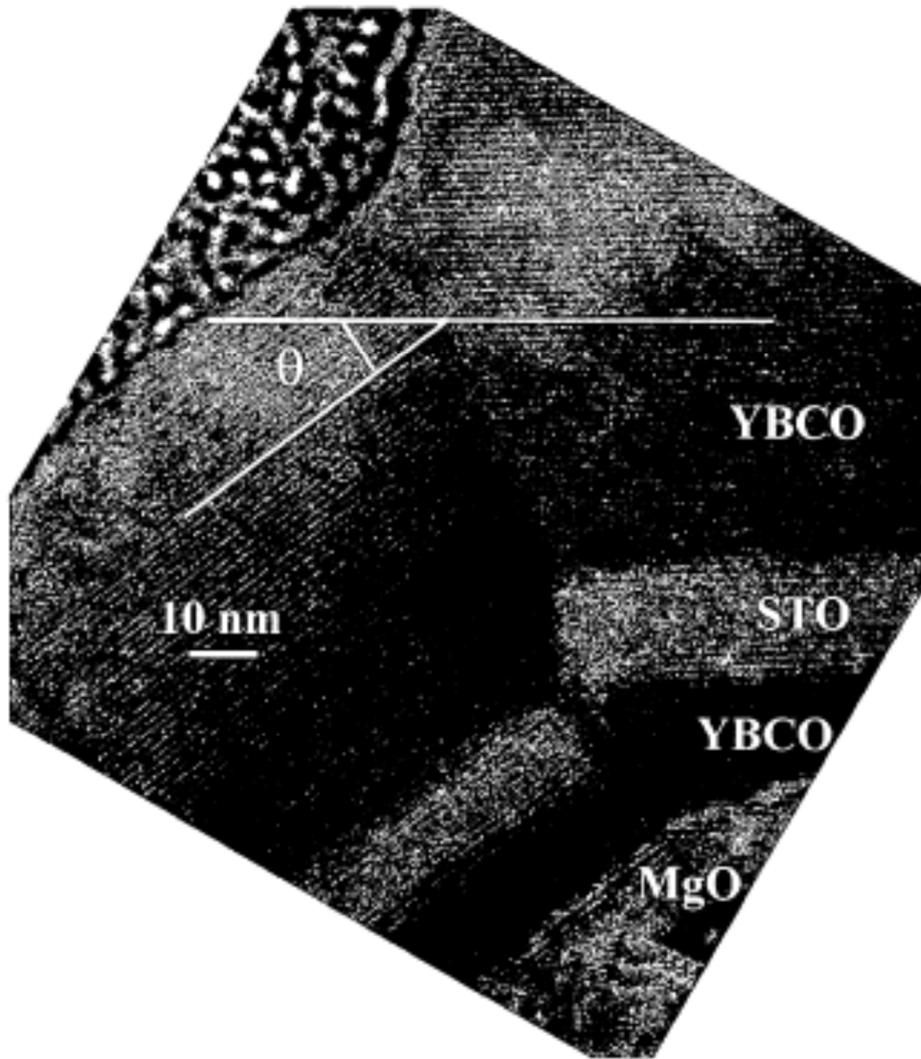


Figura 8b

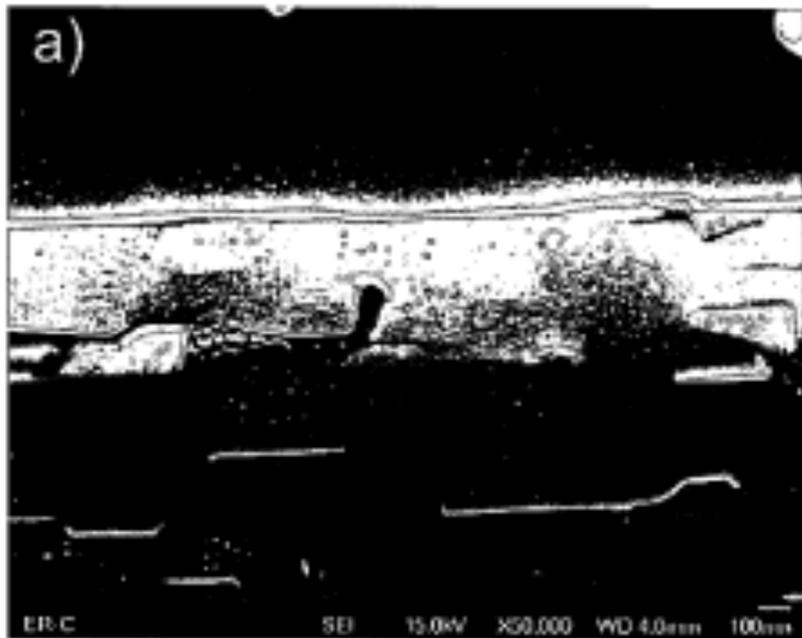


Figura 9

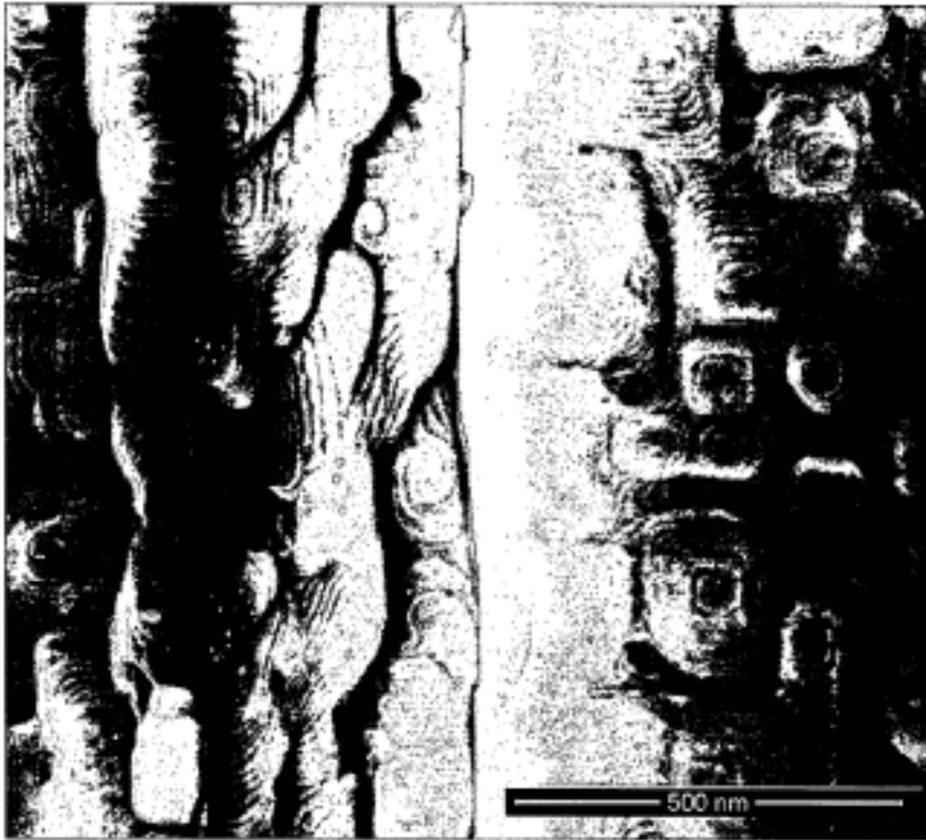


Figura 10