



Crecimiento de capas superconductoras texturizadas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ sobre monocristales del tipo perovskita

J. C. González*¹, L. De Los Santos Valladares², Ana M. Osorio³, J. Albino Aguiar² y Angel Bustamante Domínguez⁴

¹Grupo de Investigación de Superficies, Intercaras y Láminas Delgadas, Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC, Universidad de Sevilla, 41092, Sevilla, España

²Laboratório de Supercondutividade e Materiais Avançados, Departamento de Física Universidade Federal de Pernambuco 50670-901, Recife, Brasil

³Facultad de Química e Ingeniería Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Venezuela s/n, Lima 1, Perú

⁴Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Apartado Postal 14-0149, Lima 14, Perú

Recibido 27 junio 2012 – Aceptado 15 agosto 2012

La ruta de deposición mediante solución química para crecer capas texturizadas de óxidos superconductores ha recibido la mayor atención científica en las últimas dos décadas.

La textura de las capas superconductoras juega un rol predominante en las aplicaciones tecnológicas. Cristalizamos una solución precursora de acetatos de Y, Ba y Cu sobre sustratos monocristalinos de estructura perovskita por la ruta de deposición de solución química obteniendo capas superconductoras texturizadas de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Dividimos los resultados en dos partes: a) revisamos brevemente la teoría relacionada con el crecimiento epitaxial de capas superconductoras de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ a través de métodos físicos y químicos, y b) nos enfocamos principalmente en la caracterización mediante la difracción de rayos X.

Palabras claves: Capas epitaxiales superconductoras, materiales superconductores, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

Growth of textured superconducting layer of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ on perovskite single crystal substrates

The route by chemical solution deposition to grow textured layers of oxide superconductors has received the most scientific attention over the past two decades.

Texture plays a predominant role in the technological applications of superconducting layers. We crystallized a precursor solution of Y, Ba and Cu acetates onto single crystal substrates of perovskite structure by the route of chemical solution deposition and we obtained textured superconducting layers of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

We divided our results in two parts: a) We review the epitaxial growth of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ superconducting layers through physical and chemical methods, and b) We study mainly the epitaxial growth of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ superconducting layers by X ray diffraction.

Keywords: Epitaxial superconducting films, superconducting materials, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$.

La orientación preferencial de los cristalitos que componen una muestra policristalina es una característica intrínseca en metales, cerámicas, polímeros y rocas [1]. La anisotropía de la orientación cristalina es un tema de gran relevancia en la actualidad sobre todo en dispositivos electrónicos [2]. En tales aplicacio-

nes tecnológicas existe la necesidad de tener una buena orientación preferencial de los cristalitos que componen la capa, tal como sucede en el caso de capas superconductoras texturizadas [3,4] que permite el transporte de altas densidades de corriente eléctrica, J_c a 77K, temperatura del nitrógeno líquido, en campo magnético nulo.

*juanc.gonzalez@icmse.csic.es

Aunque la textura es un tema muy amplio nos abocaremos a la cuantificación de la orientación preferencial o sea a la textura de los granos del material policristalino que componen una capa. Específicamente, presentamos el tema de crecimiento de capas superconductoras texturizadas, el cual dividimos en dos partes. La primera parte está dedicada a una breve, pero concisa, revisión sobre la textura y el crecimiento epitaxial, enfocada en el material superconductor denominado $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO), mientras que la segunda parte [5] estará destinada a la presentación y caracterización de la textura de capas YBCO crecidas sobre monocristales del tipo perovskita, SrTiO_3 y LaAlO_3 , mediante las técnicas de caracterización tales como la microscopía electrónica de barrido, la difracción de rayos X y la espectroscopia μ -Raman.

La orientación preferencial o la textura

Tipos de orientación preferencial

La interpretación de la orientación preferencial recae sobre una descripción cuantitativa de la orientación característica de los cristalitas que componen la muestra. Se distingue dos tipos de orientación preferencial [6]: a) la orientación preferencial de la red o textura, y b) la orientación preferencial de forma, tal como se indica en la figura 1.

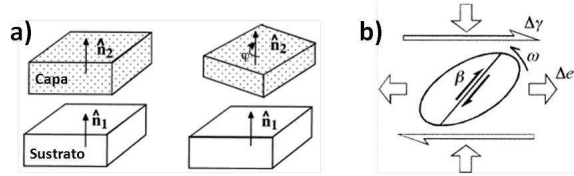


Figura 1: Tipos de orientación preferencial: a) de la red o textura donde ciertas relaciones de orientación cristalográficas resultan en un mínimo en la energía intercaras. b) orientación preferencial morfológica, donde la forma del grano depende de la deformación (tensiones y/o esfuerzos) que sobre su cristalografía.

Nuestro interés [7, 8] recae en el estudio del crecimiento de capas superconductoras con orientación preferencial de la red. El sustrato monocristalino tiene dos finalidades principales: la primera en que se utiliza como una estructura de soporte, y la segunda, en que sirve como una plantilla para el crecimiento orientado de una capa, a este proceso se le conoce como epitaxia.

La capa depositada adquiere, a través de tratamientos térmicos, la textura de orden cristalino del sustrato el cual actúa como semilla para la cristalización de la capa. Por lo tanto, para que exista epitaxia entre la capa y el sustrato debe coexistir una buena relación estructural. En nuestro caso específico del YBCO superconductor

debe existir un buen encaje entre la estructura ortorrómbica del YBCO y la del sustrato monocristalino, minimizando así la energía intercaras. De ser necesario, el plano basal de la estructura del YBCO realiza una rotación (con ángulo φ) sobre la superficie del sustrato para lograr así un mejor encaje debido a la diferencia entre los parámetros de red, como se representa en la figura 1a.

Las clases de textura

Existen dos clases de texturas, la primera es llamada textura de fibra o textura uniaxial, donde la mayoría de cristalitas está orientado preferencialmente con respecto a cierta orientación, la cual es denotada como *eje de fibra*. La segunda clase es denominada textura biaxial, donde la orientación de los cristalitas está fija a lo largo de dos direcciones. La figura 2 denota estas dos clases de textura. La figura 2a representa a una capa crecida con textura uniaxial, donde los granos de YBCO presentan una orientación al azar de los eje a/b pero una orientación preferencial del eje- c perpendicular al plano del sustrato, mientras en la figura 2b observamos además de la textura uniaxial una total orientación de los ejes- a/b paralelos unos a otros.

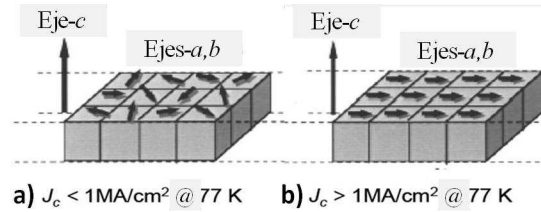


Figura 2: Representación de capas superconductoras donde los granos de YBCO presentan una textura: a) Uniaxial o de Fibra (eje- c = eje de fibra), b) Biaxial. (Adaptación de la referencia [14].)

Esta textura biaxial es un prerequisite para obtener capas superconductoras con altas densidades de corriente crítica, J_c , mayores a $1\text{MA}/\text{cm}^2$ a la temperatura de nitrógeno líquido y en campo magnético externo nulo [3,4]. Además la textura en las capas superconductoras está controlada por la epitaxia y la velocidad de crecimiento [9]. El balance entre los dos factores es primariamente dependiente [10, 11] sobre el espesor de la capa, la temperatura de síntesis y las presiones parciales de oxígeno o vapor de agua, para los cuales los cristales crecen [12]. Debido a su anisotropía eléctrica la corriente superconductoras en los superconductores cerámicos de óxido de cobre de alta temperatura está restringida a los planos de cobre de CuO_2 [13], por lo tanto es muy importante tener los correspondientes planos de red (001) paralelos a la superficie del sustrato, orientación preferencial que denominaremos orientación eje- c .

La calidad de la textura en las capas se cuantifica con los métodos descritos párrafos más adelante.

Crecimiento de las capas de YBCO

Los métodos de crecimiento

El crecimiento de capas de YBCO con altas prestaciones de calidad requiere, como se ha mencionado antes, un crecimiento con textura biaxial pues un crecimiento solamente con textura uniaxial no es suficiente. A pesar que la síntesis de capas superconductoras texturizadas de YBCO no es trivial, existen diferentes técnicas de crecimiento, en las cuales las capas presentan características morfológicas y propiedades físicas muy particulares. Por tanto, los métodos de crecimiento del YBCO son de dos grandes categorías: los métodos físicos y los métodos químicos. Brevemente, los métodos físicos como el *pulsed laser deposition*, el *magnetron sputtering* y el *molecular beam epitaxial* son actualmente bien conocidos y se encuentran altamente desarrollados pero requieren de costosos equipos de vacío y presentan razones de crecimiento muy lentas, por lo que requieren largos tiempos de crecimiento para obtener capas gruesas que puedan transportar altas corrientes. Pero no tienen parangón cuando se trata de crecer capas con espesores de unas pocas decenas de nanómetros.

Por otro lado, los métodos químicos se encuentran en desarrollo y no están del todo estudiados, pero tienen el gran potencial de poder ser escalados industrialmente además de poder recubrir grandes áreas. Mediante este método no es necesario el uso de equipos de vacío costosos, por tanto son de bajo costo. Además mediante este método, se logra un alto grado de control composicional, el cual es inherente con la síntesis de soluciones de materiales inorgánicos con múltiples cationes, como lo es el compuesto YBCO. La aparente desventaja de las rutas de solución química es la falta de comprensión relacionada con el procesamiento, la calidad de la capa y sus propiedades, sin embargo esto está cambiando drásticamente en los últimos años [15]. Algunos ejemplos de este método son el *metal organic decomposition*, el *metal organic chemical vapor deposition*, *liquid phase epitaxy* y el *chemical beam epitaxy*.

El crecimiento texturizado de los granos superconductores

Como se ha mencionado arriba, el interés está centrado en el crecimiento de capas por métodos químicos [7, 8]. Para conseguirlo, se preparó una mezcla estequiométrica a partir de acetatos de itrio, $Y(OOCCH_3)_3 \cdot H_2O$, bario, $Ba(OOCCH_3)_2$, y cobre, $Cu(OOCCH_3)_2 \cdot H_2O$. Posteriormente se procedió a la

preparación de una solución alcohólica de ácido oxálico $HCOO-COOH$.

Luego, a través de una reacción de metátesis entre la solución de acetatos y la solución de ácido oxálico con agitación magnética, se logra la formación de oxalatos de Y, Ba y Cu en fase de precipitación coloidal. Durante el proceso de precipitación, es ideal que todos los cationes precipiten de forma simultánea y cuantitativa, sin la segregación de cualquiera de los constituyentes en particular.

La promoción de la precipitación simultánea de varias especies es debido al uso de los oxalatos; notar que estos compuestos son multifuncionales y por lo tanto pueden coordinar con más que un ión metálico a la vez, tres en el caso del YBCO. El siguiente paso consistió en recubrir con la ayuda de una pipeta el sustrato monocristalino tipo perovskita, $SrTiO_3$ o $LaAlO_3$, con una(s) gota(s) de la solución. Dicha solución es solamente un vehículo para depositar los elementos deseados sobre el sustrato.

A continuación prosiguieron las tres etapas de los tratamientos térmicos denominados (a) precursor, (b) calcinado y (c) sintetizado, que tiene por finalidad cristalizar el coloide de acetatos precipitados, como se esquematiza en la figura 3a.

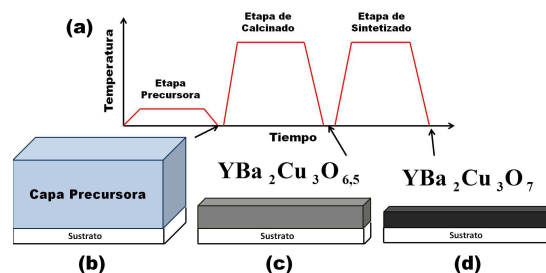
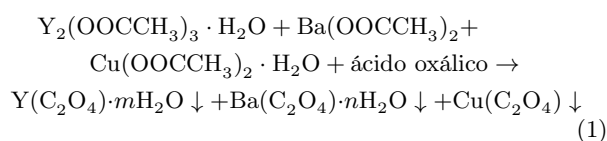


Figura 3: Perfil de los tratamientos térmicos precursor, calcinado y sintetizado.

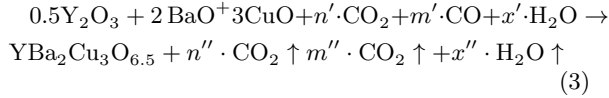
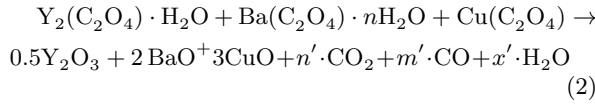
La etapa de los precursores

Es el primer tratamiento térmico donde se procede al secado del producto obtenido a la temperatura de $40^\circ C$ [7, 8]. Se propone una ecuación para la formación de oxalatos [16] al finalizar esta etapa, la cual está descrita por la ecuación (1), la parte derecha de esa ecuación representa los oxalatos de Y, Ba y Cu.



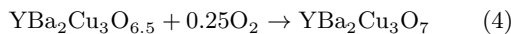
La etapa del calcinado

Es el segundo tratamiento térmico donde se realiza la descomposición térmica y la remoción de los hidrocarburos volátiles residuales, sin que exista el riesgo de posibles burbujas de CO_2 queden atrapadas en la matriz. La reacción química durante la etapa de calcinado se describe mediante la ecuación(2), obteniéndose una mezcla nominal de óxidos de itrio, bario y cobre (Y_2O_3 , BaO y CuO). Además, durante esta etapa se inicia el crecimiento de los granos epitaxiales a escala nanométrica en la interface capa-sustrato. Al finalizar esta etapa, el volumen de la capa se reduce drásticamente (figuras 3b-3c). La microestructura consiste en un irregular arreglo poroso de pequeños cristalitas (~ 2 nm) químicamente ligados unos a otros, similar a un polvo compactado parcialmente denso; la ecuación (3) describe el compuesto resultante [16]:



La etapa del sinterizado

Es el tercer tratamiento térmico, donde se realiza la conversión de la fase tetragonal no superconductora $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.5}$ a la fase ortorrómbica superconductora $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$. Mediante un proceso térmico a alta temperatura ($>800^\circ\text{C}$) en una atmósfera oxidante, se promueve el crecimiento cristalino, la cual está descrita por la ecuación(4). Las altas temperaturas son necesarias a fin de densificar la capa y permitir a los granos epitaxiales crecer hacia la superficie, consumiendo otros granos desorientados en una fase termodinámicamente estable. Se logra una estructura perovskita, epitaxialmente nucleada en la intercara de la capa-sustrato. Este tratamiento térmico adicional es necesario para obtener una capa totalmente densa a través del usual fenómeno de *transporte de masa* asociada con la densificación.



Al finalizar el último tratamiento térmico, la capa que cristaliza sobre el sustrato puede poseer, dependiendo de la temperatura de síntesis, presión de oxígeno, $P(\text{O}_2)$, presión de vapor de agua $P(\text{H}_2\text{O})$, etc, tres orientaciones de crecimiento extremos: a) aleatoria, b) orientado en el eje a/b y c) orientado en el eje- c , como

se muestra en la figura 4. La obtención de las orientaciones intermedias es muy probable si no nos encontramos en la ventana de crecimiento adecuada para promover el crecimiento eje- c .

El principal objetivo durante el crecimiento de capas superconductoras texturizadas es favorecer preferentemente el crecimiento con orientación eje- c con adecuados parámetros de síntesis. Por ejemplo, en el patrón de difracción de rayos X $\theta/2\theta$ respectivo en geometría Bragg-Brentano observaríamos la reflexión (103) intensa para el primer caso, pero nula para las otras dos orientaciones. Para estos dos últimos casos la reflexión (005) y (200) son las más intensas, respectivamente.

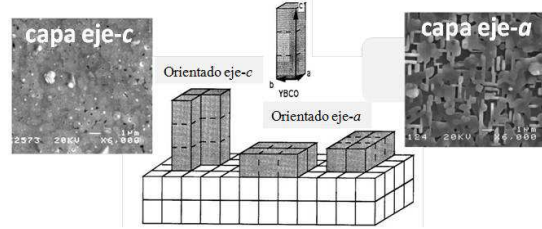


Figura 4: Dos orientaciones de crecimiento de los granos de YBCO, orientado en el eje- c y orientado en el eje- a .

Sin embargo durante el crecimiento de las capas texturizadas, un gran número de diferentes fenómenos afectan la epitaxia, estas pueden ser: la preparación de distintas soluciones químicas precursoras pueden utilizarse para producir el mismo material inorgánico, las diferentes capas precursoras pueden tener propiedades dispares que incluyen diferentes comportamientos reológicos y que influyen en el recubrimiento de la superficie del sustrato, propiedades mecánicas desiguales que afectan el agrietamiento durante el procesado, y la descomposición de productos que pueden alterar la composición inicial durante el calcinado. Por cuanto, el material inorgánico está formado después de la fase de calcinado a temperaturas donde la difusión está limitada cinéticamente, las fases metaestables pueden cristalizar afectando la epitaxia durante su transformación a una fase estable, como por ejemplo Y_2BaCuO_5 o BaCuO_2 .

La complejidad y los límites de la estabilidad

Los compuestos superconductores de óxido de cobre poseen enlaces oxígeno-metal relativamente fuertes, por lo cual para su procesamiento se requiere de altas temperaturas para poder movilizar las especies para su cristalización, crecimiento epitaxial así como crecimiento cristalino másico.

El rango de la estabilidad termodinámica del YBCO limita los parámetros de síntesis y de crecimiento cristalino. El $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ sintetizado a altas temperaturas ($\sim 900^\circ\text{C}$) tiene valores de x de 0.7 a 1, es tetragonal, y

no superconductor. Al oxidarlo, x es reducido de 0.1 a 0, y durante el enfriamiento pasa por el rango de transición de fase (alrededor de 700°C [17]), obteniendo una estructura ortorrómbica. Solamente esta fase oxidada es superconductor bajo una $T_c \sim 92$ K. Los límites de estabilidad termodinámica de las fases ortorrómbica y tetragonal del YBCO son función de la temperatura y la presión parcial de oxígeno, como se ilustra en el diagrama de la figura 5. En este diagrama se insertan las condiciones de crecimiento epitaxial por los métodos de deposición físicos y químicos. Como una aproximación podemos utilizar las relaciones de estabilidad de Scheel [18] adaptada en la figura 5.

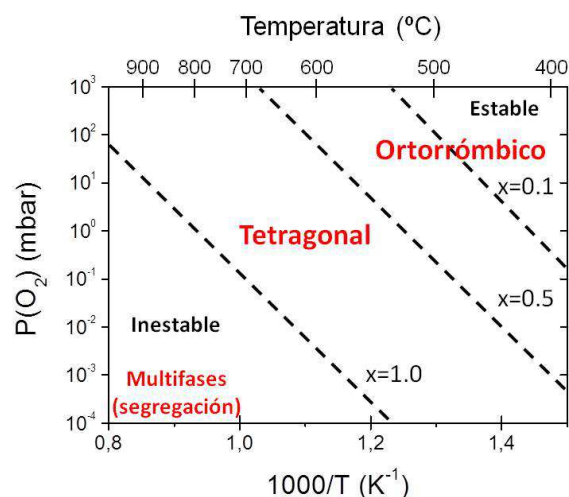


Figura 5: Límites de la estabilidad termodinámica del $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ [18].

Las relaciones de la estabilidad del YBCO son más complejas que las mostradas en la figura 5. Un detallado conocimiento de las relaciones de fase es beneficioso para el desarrollo de los polvos y las capas cerámicas superconductoras de alta pureza, el cual es esencial para conocer las óptimas condiciones de sinterizado y así obtener el crecimiento cristalino y para discutir los problemas de segregación. El superconductor YBCO es un material multicationico, por lo cual es posible estabilizar la reacción en otras fases estables. Esto se debe a la difusión de los átomos de oxígeno que se encuentran con frecuencia débilmente enlazados a la estructura durante el tratamiento térmico a altas temperaturas ($\sim 900^\circ\text{C}$). La estabilización en otras estructuras dependerá del número y del ordenamiento de los sitios vacantes de oxígeno (tetraédrico u octaédrico). En el diagrama de fase del YBCO a 800°C [19] se reporta la formación de fases estables de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$, $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$, las fases secundarias BaCuO_2 , $\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{O}_5$, Y_2BaCuO_5 , así como las fases precursoras de CuO , BaO e Y_2O_3 , y las fases inestables BaCu_2O_2 y $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6-x}$.

La cuantificación de la textura

La textura en las capas se puede cuantificar mediante difracción de rayos-X de dos formas distintas. La primera es promediar sobre un gran volumen de un agregado policristalino, mientras el segundo método mide las orientaciones de los cristales individualmente. Sin embargo, comparando estas dos formas con los métodos másicos o de polvo, la estadística de tales medidas resultaría pobre, por ejemplo, pocos perfiles de difracción. Una muestra en polvo posee una orientación al azar de los cristalitas, donde las intensidades relativas son las mismas para todas las orientaciones de la muestra, porque éstas son debidas a la estructura cristalina. Sin embargo, en un material texturado, existe una sistemática desviación de la intensidad. Este efecto de orientación puede ser fácilmente reconocido en un patrón de difracción $\theta/2\theta$ (como se ilustra en la figura 6) por una pronunciada intensidad de ciertas reflexiones de Bragg en el caso de una capa texturizada de YBCO superconductor. Por un lado en la figura 6a observamos la intensidad máxima del patrón de difracción en la reflexión (103), mientras por otro lado en la figura 6b la reflexión más intensa es el perfil (005), además de una acusada presencia de reflexiones (00l) [10, 20].

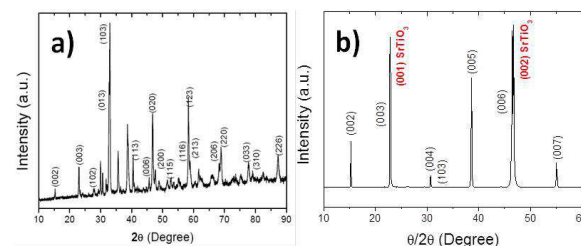


Figura 6: Patrones de difracción de rayos X de YBCO en forma de: (a) polvo, y (b) capa texturizada (YBCO/SrTiO₃).

Se utilizan muchas técnicas experimentales para determinar la textura en capas, tales como los ópticos, la difracción de rayos-X (figura de polos, ω -scans (*rocking curves*) o ϕ -scans) [21], el microscopio electrónico de barrido con detector de difracción de electrones retrodispersados [22], el microscopio electrónico de transmisión (difracción de electrones) [23]; y para algunas aplicaciones particulares, los rayos-X de luz sincrotrón [24] y la difracción de neutrones [25].

En la figura 7 podemos visualizar la desorientación entre los granos caracterizada por una torsión y una inclinación. La inclinación está relacionada con la desviación de la orientación de la dirección fuera del plano o denominada textura fuera-del-plano (eje z' del sustrato), mientras que la torsión indica la rotación de los

granos en el plano del sustrato o también llamada textura en-el-plano (eje x' e y' del sustrato). Estas orientaciones son observadas mediante la DRX a través de las denominadas ω -scan y ϕ -scan, respectivamente.

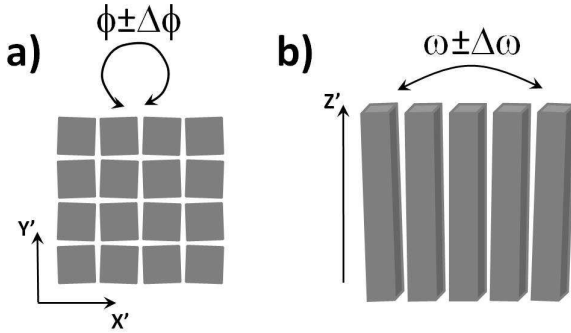


Figura 7: Esquema de las torsiones (textura en-el-plano) e inclinaciones (textura fuera-del-plano) en una estructura columnar de base cuadrada vista desde (a) arriba, y (b) de lado, con respecto a los eje x' , y' , z' del sustrato monocristalino.

Los ω -scan y ϕ -scan deben considerarse como una distribución de las orientaciones de los granos de YBCO y proporcionan la información cuantitativa a través de su anchura a media altura, *Full Width at Half Maximum*, FWHM, de la textura fuera- y en-el-plano. La figura 8 muestra ejemplos para las capas epitaxiales del YBCO con una buena y mala textura en-el-plano como fuera-del-plano, utilizando las reflexiones (103) e (005), respectivamente. En un cristal ideal, donde todos los granos están muy bien alineados, las anchuras a media altura serían las correspondientes funciones delta de Dirac. Para obtener el primer patrón de difracción es necesario un difractómetro de cuatro círculos, mientras para el segundo patrón de difracción se puede utilizar un difractómetro de polvos que tenga desacoplados los ángulos θ (ω) y 2θ .

Finalmente, el análisis de una figura de polos de rayos-X, también denominada simplemente figura de polos, permite adquirir toda la información espacial de las orientaciones de los granos. Una figura de polos muestra la distribución estadística de una familia de planos atómicos seleccionados en relación a la normal del sustrato. Una figura de polos se determina colocando un haz de rayos-X fijo, la posición del detector fijo y moviendo la muestra. El barrido es llevado a cabo rotando la muestra en una configuración de espiral para tomar en cuenta todas las posibles orientaciones de los granos en las tres dimensiones del espacio. La intensidad de los rayos-X obtenida en cualquier posición en el espacio está relacionada al número de planos en tal posición, y por lo tanto es una medida de la densidad del polo. Si la muestra está bien texturizada, las posicio-

nes de mayor intensidad en la figura de polos revelarán la simetría cristalina del material. Un ejemplo típico se muestra en la figura 9 para una capa de YBCO texturizada, es una figura de polos de la familia de los planos (103) a $2\theta \sim 32^\circ$. La anchura a media altura de los perfiles en las direcciones cristalográficas, φ (dirección circunferencial o polar) y χ (dirección radial), revelarán el desalineamiento de los granos en las direcciones en-el-plano y fuera-del-plano de la muestra.

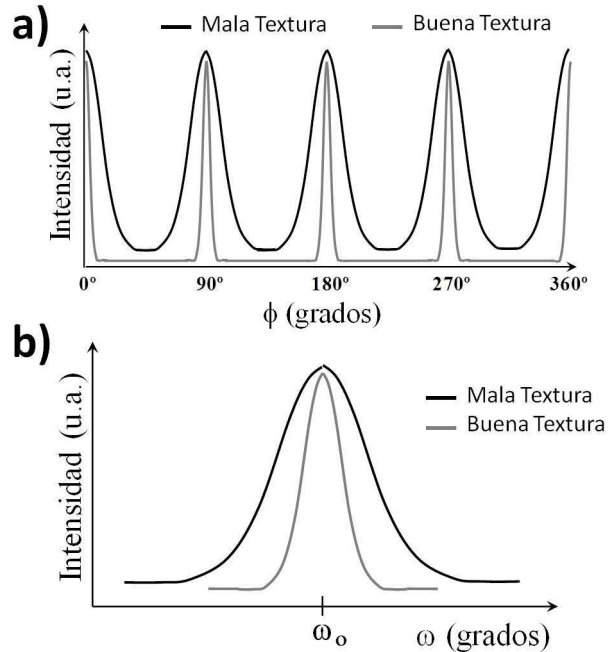


Figura 8: Esquemas exagerados de DRX ilustrando textura (a) en-el-plano, y (b) fuera-del-plano del sustrato.

Un corte radial de algunos pocos grados a través de uno de los picos, para un φ constante, proporcionaría la información equivalente a una *rocking curve*. Una sección circunferencial o polar de 360° a través de todos los perfiles, para un ángulo χ constante, sería equivalente a un φ -scan, en el cual se comprueba el alineamiento de los granos en-el-plano. Frecuentemente el nivel de la textura en una muestra se reporta mostrando solamente el φ -scan, como se detalla en la figura 8a, el cual es un φ -scan del perfil (103). Claramente toda la información de la textura de la capa no está representada aquí, solamente se caracteriza la dispersión de los granos con textura en-el-plano, los cuales están bien alineados con respecto al plano del sustrato. Los φ -scans son más útiles cuando se sabe que la textura global en la muestra es muy alta, como por ejemplo en capas epitaxiales del YBCO.

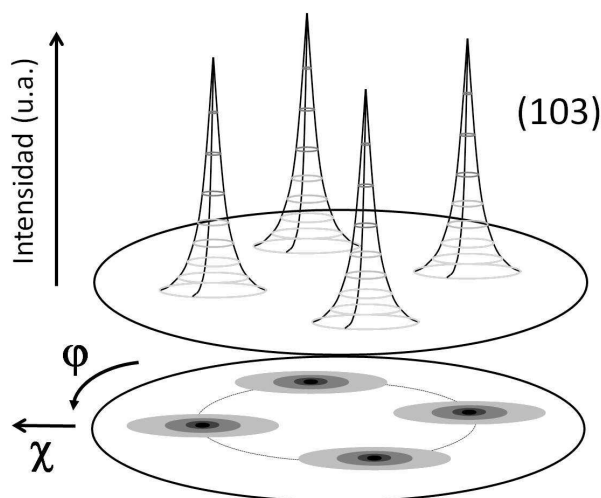


Figura 9: Esquema de una figura de polos de la familia de planos (103) del YBCO.

Conclusiones

La mayor parte del éxito de la metodología de la deposición de solución química surge de la utilización

eficaz de los precursores de oxalatos de Y, Ba y Cu para el crecimiento de las capas texturizadas del YBCO. Esta ruta química ha demostrado ser una metodología muy fiable y prometedora para alcanzar altos rendimientos a bajo costo. Nuestros constantes progresos realizados se dirigen a la comprensión de los complejos procesos, que van desde la preparación de la solución, el recubrimiento, hasta el crecimiento epitaxial de la capa superconductora. A pesar que la ruta de reacción exacta involucrada en el proceso es todavía desconocida. Abordamos el tema del estudio de la textura principalmente a través de la difracción de rayos-X, que nos permitirá en el futuro diseñar de forma controlada capas superconductoras para determinadas aplicaciones tecnológicas.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la UNMSM a través del Proyecto Nro 111301071. L. De Los Santos Valladares agradece al Programa Nacional de Pos-Doctorado CAPES-PNPD/2011. Finalmente, J. C. González agradece al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España) por su contrato JAE-Doc (2009-2012) en el Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Universidad de Sevilla.

Referencias

- [1] H. R. Wenk; *Preferred orientation in deformed metals and rocks: An introduction to modern texture analysis*, Academic Press Inc. (1985).
- [2] D. Larbalestier, A. Gurevich, D. Matthew Feldmann y A. Polyanskii. *Nature* **414**, 368 (2001).
- [3] M. Chen, L. Dozel, M. Lakner, y W. Paul; *J. Eur. Ceram. Soc.* **24**, 1815 (2004).
- [4] Dossier: *High Performance YBCO-coated superconductor wires*. *MRS Bull.* **29**, 543 (2004).
- [5] J. C. González y colaboradores. En preparación. *Rev. Inv. Fis.* (2012)
- [6] H. R. Wenk y P. Van Houtte; *Rep. Prog. Phys.* **67**, 1367 (2004).
- [7] J. García D, A. Bustamante, L. De Los Santos V., J. C. González, L. León F., J. Flores S., A. M. Osorio, J. Albino A. En preparación: *Rev. Inv. Fis.* **15** (2012).
- [8] A. Bustamante, A. Osorio, L. León, J. García, J. Flores S., M. Pillaca, L. De Los Santos V., D. W. Lee and J. C. González. *Epitaxial growth of YBa₂Cu₃O₇ films onto LaAlO₃ (100) by using oxalates*. Abstract booklet. European Conference on Applied Superconductivity (EUCAS 2011). The Hague – The Netherlands. September 2011.
- [9] T. Puig, J. C. González, A. Pomar, N. Mestres, O. Castaño, M. Coll, J. Gázquez, F. Sandiumenge, S. Piñol y X. Obradors; *Supercond. Sci. Technol.* **18**, 1141 (2005).
- [10] O. Castaño, A. Palau, J. C. González, S. Piñol, T. Puig, N. Mestres, F. Sandiumenge, X. Obradors. *Physica C* **372-376**, 806 (2002).
- [11] O. Castaño, A. Cavallaro, A. Palau, J. C. González, M. Rossell, T. Puig, F. Sandiumenge, N. Mestres, S. Piñol, A. Pomar y X. Obradors; *Supercond. Sci. Technol.* **16**, 45 (2003).
- [12] J. Gázquez, J. C. González, M. Coll, O. Castaño, N. Romà, A. Pomar, F. Sandiumenge, N. Mestres, T. Puig and X. Obradors. *J. Phys.: Conf. Series* **43**, 321 (2006).
- [13] Z. Z. Wang, J. Claybold, N. P. Ong, J. M. Ta-

- rascon, L. H. Greene, W. R. McKinnon, y G. W. Hull; Phys. Rev. B **36**, 7222 (1987).
- [14] Y. Iijima y K. Matsumoto; Supercond. Sci. Technol. **13**, 68 (2000).
- [15] X. Obradors, T. Puig, A. Pomar, F. Sandiumenge, N. Mestres, M. Coll, A. Cavallaro, N. Roma, J. Gázquez, J. C. González, O. Castaño, J. Gutierrez, A. Palau, K. Zalamova, S. Morlens, A. Hasini, M. Gibert, S. Ricart, J.M. Moreto, S. Piñol, D. Isfort, y J. Bock; Supercond. Sci. Technol. **19**, S13 (2006).
- [16] J. C. González, A. Osorio, A. Bustamante; Rev. Soc. Quim. Per. **77**, 249 (2011).
- [17] J. D. Jorgensen, M. Beno, D. Hinks, L. Soderholm, K. Volin, C. Segre, K. Zhang, y M. Kleefisch; Phys. Rev. B **36**, 3608 (1987).
- [18] H. J. Schell, M. Berkowski y B. Chapel; J. Cryst. Growth **115**, 19 (1991).
- [19] E. Brosha, F. Garzon, I. Raistrick y P. Davies; J. Am. Ceram. Soc. **78**, 1745 (1995).
- [20] J. C. González, A. Osorio, A. Bustamante, M. Carhuanchu, A. Castro, R. Marín; Rev. Per. Quim. Ing. Quim. **9**, 11 (2006).
- [21] Y-A. Jee, B. Ma, V. A. Maroni, M. Li, B. L. Fisher y U. Balachandran; Supercond. Sci. Technol. **14**, 285 (2001).
- [22] D. Grossin, C. Henrist, J-Ph. Mathieu, S. Meslin, C. Harnois, J-G. Noudem, R. Cloots y D. Chateigner; Supercond. Sci. Technol. **19**, 190 (2006).
- [23] G. Van Tendeloo, O. Lebedev, K. Verbist, A. Abakumov, R. Shpanchenko, E. Antipov y D. Blank; *The local structure of YBCO based materials by TEM en High-Temperature Superconductors and Novel Inorganic Materials*; G. Van Tendeloo *et al* Eds. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1999).
- [24] T. Puig, A. Puig-Molina, N. Mestres, H. Van Seijen, F. Alsina, J.C. González, X. Obradors, H. Graafsma, A. Usoskin y H.C. Freyhardt; Mat. Res. Soc. Symp. **659**, II5.6.1 (2001).
- [25] Seth A. Watkins y F. Hadley Cocks; J. Mater. Res. **14**, 2773 (1999).