

Sr_2YSbO_6 como potencial sustrato para la deposición de películas superconductoras de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Omar Ortiz Diaz^{1,*}, J. Albino Aguiar², David A. Landínez Téllez¹

¹ Grupo de Física de Nuevos Materiales, Universidad Nacional de Colombia

² Departamento de Física, Universidad Federal de Pernambuco, Brazil

Resumen

Se sintetizó un nuevo material y por medio de la técnica de difracción de rayos X se encontró que su ordenamiento estructural corresponde al de una perovskita compleja del tipo $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$ con valor de parámetro de red 8,2561 Å. Este estudio junto con un análisis EDX permitieron asignar a este compuesto la fórmula Sr_2YSbO_6 . Se elaboraron mezclas homogéneas de este material con $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ compactando luego las muestras en forma de pastilla para someterlas a un tratamiento térmico a 900° C durante diez horas. Los estudios de difracción de rayos X y magnetización para temperaturas entre 5 y 300 K sobre estas mezclas permitieron determinar que Sr_2YSbO_6 no reaccionó químicamente con el $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ y no altero el valor de la temperatura de transición del superconductor a pesar del tratamiento térmico. Estos estudios permitieron determinar que el nuevo material Sr_2YSbO_6 podría ser utilizado como sustrato para el crecimiento epitaxial de películas superconductoras de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

Palabras claves: superconductores de H-T_c , sustratos, caracterización, perovskitas

Abstract

A new material has been synthesized, by X-ray diffraction method we have found that this material has an structural ordering characteristic of $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$ perovskites with lattice constant 8,2561 Å. Based on this study besides the EDX analysis, we can to assign the Sr_2YSbO_6 formula to new material. Several homogeneous mixtures of Sr_2YSbO_6 with $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ in pellet shape were produced. The samples were calcined at 900° C for 10 hours. The X-ray diffraction studies and magnetization measurements for temperatures between 5 to 300 K on Sr_2YSbO_6 - $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ composites reveal that Sr_2YSbO_6 is chemically stable with $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ and there is not change of critical temperature value of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ due to the Sr_2YSbO_6 addition, despite of heat treatment. These studies show that Sr_2YSbO_6 could be a potential candidate as substrate material for deposition of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ superconducting films.

* ortizo@linuxmail.org

1. Introducción

El desarrollo de materiales superconductores de alta temperatura crítica adecuados para diferentes aplicaciones ha progresado enormemente en los últimos años en distintas direcciones. Pero las aplicaciones usando películas delgadas han resultado ser las más exitosas, pues con ellas se pueden obtener excelentes propiedades superconductoras tales como: temperatura crítica $T_c > 90$ K, densidad de corriente crítica $J_c > 10^6$ A/cm² (77 K, 0 T); resistencia superficial $R_s < 500 \mu\Omega$ (a 77 K y 10 GHz), haciéndolas valiosas para dispositivos de microondas [1]-[5]. Para el crecimiento de películas de alta calidad, la escogencia del material que hace de sustrato es de vital importancia. Un buen sustrato debe presentar estabilidad química con el superconductor a la temperatura de procesamiento de la capa superconductora, adecuado ajuste de los parámetros de red y no debe deteriorar las propiedades superconductoras de la película, en particular no debe disminuir el valor de T_c .

Entre los diferentes cupratos superconductores el $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ es el preferido para la deposición de películas delgadas. Sin embargo, los sustratos disponibles más comunes usados para ello presentan muchos problemas técnicos. Por ejemplo, SrTiO_3 , un material químicamente compatible con esos superconductores, tiene la desventaja de altos valores de constante dieléctrica y factores de pérdida, lo cual restringe su uso como sustrato para aplicaciones en microondas [6]. LaAlO_3 , otro material comúnmente usado como sustrato, ha sido reportado como un material problemático para la deposición de películas superconductoras de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ [7]. El MgO es utilizado como sustrato por presentar baja constante dieléctrica y bajos valores de factor de pérdidas, pero en las películas de la familia $\text{TRBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (donde TR es un elemento de la familia de las tierras raras) depositadas sobre este material a una temperatura superior a 700°C se presenta una pequeña capa de sales de bario en la interfase entre los dos materiales que deteriora las propiedades superconductoras.

La manera de evitar esos problemas es escoger un material libre de todas las desventajas mencionadas y usarlo como una capa amortiguadora sobre MgO , SrTiO_3 , LaAlO_3 , etc. Por ejemplo, se ha reportado que el crecimiento epitaxial de películas de $\text{NdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ sobre una capa amortiguadora de $\text{Ba}_2\text{NdTaO}_6$ con MgO [1] permite obtener, a pesar del ligero desajuste de parámetros de red (la constante de red de $\text{Ba}_2\text{NdTaO}_6$ es $a = 8,54$ Å), películas con excelentes propiedades superconductoras.

En los últimos años se ha venido investigando la conveniencia de usar perovskitas cúbicas complejas ordenadas como sustratos para películas superconductoras de alta temperatura crítica [6]-[14]. Esas perovskitas de fórmula

general A₂BB'O₆, con un arreglo ordenado de los cationes B y B' presentan una creciente complejidad de la celda unitaria, que permite la producción de una gran variedad de tales materiales con una continua progresión de parámetros de red y logra el ajuste requerido para la deposición de películas superconductoras de buena calidad. Los estudios realizados sobre estas perovskitas revelan que cumplen los requisitos mínimos para ser propuestas como sustratos: tienen buen ajuste de parámetros de red con los de YBa₂Cu₃O_{7-δ}, son químicamente compatibles con el superconductor, no disminuyen el valor de T_c y el valor de la constante dieléctrica los hace apropiados para aplicaciones en filtros y resonadores para microondas. En algunos de estos trabajos se ha realizado la deposición de películas con valores de J_c del orden de MA/cm²

Vale la pena mencionar que la tecnología de potencia eléctrica usando superconductores requiere otra forma de elaboración de estos materiales. Los alambres fabricados con superconductores convencionales se han utilizado con éxito (en cuanto a costos y funcionamiento) en la construcción de dispositivos como magnetos para generar campos magnéticos altos. Sin embargo, su uso es muy limitado pues deben operar a temperaturas de pocos Kelvin. No pasó mucho tiempo después del descubrimiento de los superconductores de alta T_c para que se fabricaran los primeros alambres con este tipo de materiales, que consistían en un sistema compuesto de Bi₂Sr₂CaCu₂O_{8+x} y Ag. Con estos alambres se obtenían densidades de corriente crítica hasta de $1,2 \times 10^3$ A/cm² a 77 K y cero campo magnético. Con campo magnético aplicado se lograban esas densidades de corriente pero a temperaturas muy bajas, $J_c \sim 1,5 \times 10^4$ A/cm² (4.2 K, 26 T) [15]. Con estos resultados nacía la primera generación de alambres y cintas formadas por metal y superconductor de alta T_c , con la mira puesta en la obtención de altas densidades de corriente crítica aún en presencia de campos magnéticos. Los métodos de fabricación de ésta primera generación de alambres superconductores han evolucionado y, aunque ya la densidad de corriente crítica es del orden de MA/cm², aún la temperatura de operación en presencia de campo magnético es inferior a la de nitrógeno líquido.

Mientras tanto, ha surgido la *segunda generación* de cintas conductoras recubiertas con YBa₂Cu₃O_{7-δ} y óxidos de la familia TRBa₂Cu₃O_{7-δ}, que ha resultado muy atractiva desde el punto de vista tecnológico, pues se consiguen densidades de corrientes de MA/cm² que se mantienen sobre una gran longitud de cinta en presencia de campos magnéticos y a temperatura de nitrógeno líquido. La arquitectura básica de estas cintas, mostrada en la figura 1, consiste de una cinta metálica que se cubre con una capa amortiguadora de un óxido como CeO₂, SrTiO₃, LaAlO₃, etc, luego sobre ésta se deposita una capa de YBa₂Cu₃O_{7-δ} y finalmente una delgada capa protectora de plata. Para la

deposición de la capa superconductora se han probado los mismos métodos usados en el procesamiento de las películas delgadas y se tienen problemas similares con los sustratos. Se dedican enormes esfuerzos a la investigación sobre los métodos de procesamiento de estas cintas que permitan una alta tasa de producción a nivel industrial y a bajos costos. La investigación se lleva a cabo a través de grandes proyectos patrocinados por los gobiernos de Japón [16] y Estados Unidos [17], con la cooperación de las compañías fabricantes de conductores. Sin embargo, no conocemos hasta la fecha ningún trabajo sobre la investigación de las perovskitas de la familia $A_2BB'O_6$ como posible material de la capa amortiguadora en estas cintas.

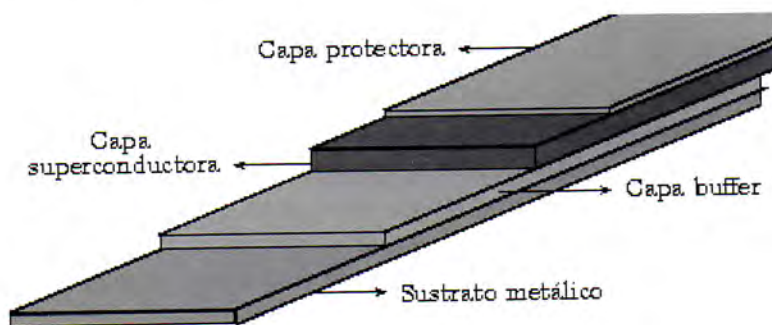


Figura 1. Arquitectura básica de una cinta superconductora.

En este contexto, se sintetizó el nuevo material Sr_2YSbO_6 mediante el proceso de reacción de estado sólido, y se ha estudiado su ordenamiento estructural a través de difracción de rayos X. Se encontró que éste corresponde al de una perovskita cúbica compleja de la familia $A_2BB'O_6$, con parámetro de red $a = 8,2561\text{\AA}$, lo que significa un buen ajuste de parámetros de red entre $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ y Sr_2YSbO_6 . Se prepararon distintas muestras de material compuesto $Sr_2YSbO_6-YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, diferenciadas en las proporciones volumétricas de los dos materiales. Se realizó un estudio de la estabilidad química entre $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ y Sr_2YSbO_6 por medio de difracción de rayos X que reveló la existencia de las dos fases separadas, a pesar de haber estado en contacto durante varias horas a 900°C . Por medio de medidas de magnetización en función de la temperatura se determinó que no se afecta la temperatura de transición al estado superconductor debido a la presencia de Sr_2YSbO_6 en las muestras.

2. Detalles experimentales

El nuevo material Sr₂YSbO₆ fue preparado por el método de reacción de estado sólido. Cantidades adecuadas de los constituyentes químicos Y₂O₃, SrO y Sb₂O₃ fueron mezcladas cuidadosamente, fabricando muestras en forma de pastilla que fueron calcinadas a 1100° C durante 18 horas. El material calcinado fue pulverizado, mezclado, prensado en forma de pastillas y sinterizado a 1090° C durante 135 horas.

El material superconductor YBa₂Cu₃O_{7-δ} fue preparado mediante la técnica de reacción de estado sólido. Los compuestos Y₂O₃, BaCO₃ y CuO, en cantidades estequiométricas fueron mezclados cuidadosamente. La mezcla en forma de polvo fue calcinada a 900° C durante 24 horas en atmósfera ambiente. El material calcinado fue mezclado, prensado en forma de pastillas y sinterizado a 930° C por 24 horas. El proceso continuó con un enfriamiento lento hasta 500° C durante 13 horas y un calcinado a esa temperatura por 24 horas en atmósfera de O₂. Finalmente el material se enfrió hasta temperatura ambiente en un lapso de 12 horas.

Para el estudio de las características estructurales de los materiales se registraron (en el departamento de física de la Universidad Federal de Pernambuco, Brasil), los patrones de difracción de rayos X de las muestras con un difractómetro Siemens D5000, usando la radiación Cu-Kα ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$).

Se llevó a cabo un análisis composicional elemental del material Sr₂YSbO₆ mediante la técnica EDX (Energy Dispersive X-ray) usando el microscopio electrónico de barrido Quanta 200 SEM de la Universidad Nacional de Colombia.

Para el estudio de la compatibilidad química y física entre el nuevo material y el superconductor YBa₂Cu₃O_{7-δ}, se sintetizaron compósitos Sr₂YSbO₆-YBa₂Cu₃O_{7-δ} con fracciones volumétricas de Sr₂YSbO₆ entre 15 % y 90 %. Para sintetizar los compósitos, los materiales fueron mezclados en forma de polvo en las razones requeridas y prensados en forma de pastilla. Esas pastillas fueron sometidas a un tratamiento térmico a 900° C durante 10 horas en atmósfera de O₂ y enfriadas lentamente a una rata de 0,5° C/min.

La estabilidad química de Sr₂YSbO₆ con el YBa₂Cu₃O_{7-δ} fue examinada por medio de difracción de rayos X sobre los diferentes compósitos Sr₂YSbO₆-YBa₂Cu₃O_{7-δ}.

El efecto de la presencia del material Sr₂YSbO₆ sobre la superconductividad del material YBa₂Cu₃O_{7-δ} se examinó a través de medidas de magnetización en el rango de temperaturas de 5 a 300 K sobre algunos de los compósitos, usando un magnetómetro Quantum Design SQUID, en el departamento de física de la Universidad Federal de Pernambuco, Brasil.

3. Resultados y discusión

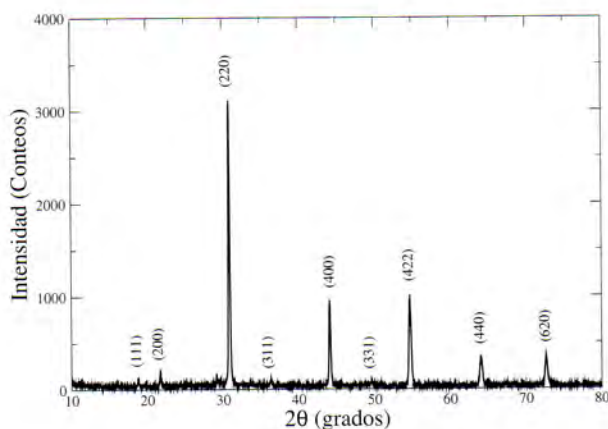


Figura 2. Patrón de difracción de rayos X del material Sr_2YSbO_6 .

El patrón de difracción de rayos X de Sr_2YSbO_6 para 2θ entre 10 y 80 grados, tomado a un tiempo de barrido de 2 segundos, es mostrado en la figura 2. En él se observan picos intensos característicos de una perovskita cúbica simple además de otros de menor intensidad indicativos de la formación de una superestructura. En el patrón no se observa ninguna evidencia de distorsión de la perovskita cúbica. La composición básica de una perovskita es ABO_3 , donde A y B son cationes. El ión A, rodeado de 12 oxígenos según se indica en la figura 3(a), es de mayor radio iónico y se ubica en el centro del cubo, mientras que los iones B de menor tamaño están coordinados a seis oxígenos cada uno, de manera que forman octaedros con los oxígenos ubicados en los vértices y el catión B en el centro como se aprecia en la figura 3(b).

La perovskita cúbica compleja, de fórmula $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$, se forma cuando los sitios de algunos cationes B son ocupados de manera ordenada por cationes B' de radio iónico semejante como aparece ilustrado en la figura 4. Por ejemplo en el Sr_2YSbO_6 , Sr^{2+} (1,18 Å) con el mayor radio iónico ocupa la posición A, los cationes Y^{3+} (0,95 Å) y Sb^{5+} (0,62 Å) ocupan las posiciones B y B' en el sitio B debido a su radio iónico menor comparado con el de Sr^{2+} . Debido al ordenamiento de los cationes B y B' sobre los vértices de la celda primitiva ABO_3 existe un doble espaciamiento en la nueva perovskita compleja. Por lo tanto, su parámetro de red tendrá un valor $a \approx 2a_p$, donde a_p es el parámetro de red de la celda de la perovskita básica ABO_3 .

La presencia de los picos (111) y (311) en el patrón de difracción de

Sr_2YSbO_6 de la figura 2 es la señal de la formación de la estructura ordenada de una perovskita cúbica compleja. El patrón de difracción de la figura 2 es similar al de las perovskitas de la familia $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$ como Ba_2YNbO_6 , $\text{Ba}_2\text{ErSbO}_6$, $\text{Ba}_2\text{DyNbO}_6$ y otras reportadas en los archivos JCPDS a juz-

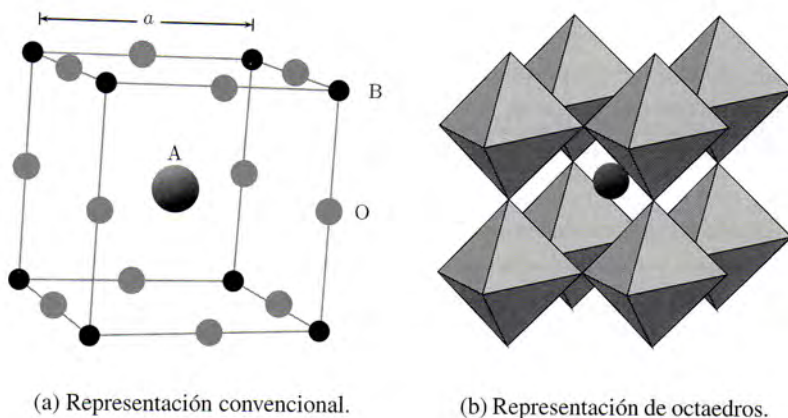


Figura 3. Representación de una perovskita cúbica simple con $\text{X} = \text{O}$

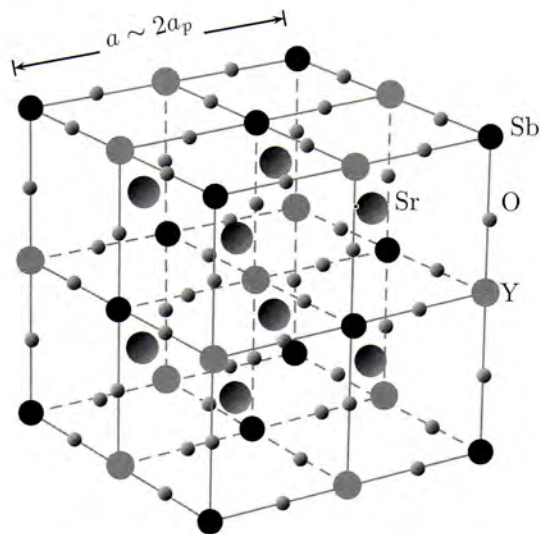


Figura 4. Estructura de una perovskita cúbica compleja de la familia $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$. En este caso $\text{A} = \text{Sr}$ $\text{B} = \text{Y}$ y $\text{B}' = \text{Sb}$

gar por la similitud en los espaciamentos d y en las razones de intensidad de los picos. Con base en un refinamiento efectuado con el software PCW (Powder Cell for Windows) se obtuvo el valor del parámetro de red $a = 8,2561 \text{ \AA}$. Así, la densidad del material Sr_2YSbO_6 es $5,6859 \text{ g/cm}^3$

Teniendo en cuenta el doble espaciamiento del parámetro de red con respecto al de la perovskita básica, la constante de red $a = 8,2561 \text{ \AA}$ (o equivalentemente $a/2 = 4,128 \text{ \AA}$) de Sr_2YSbO_6 es comparable a las constantes a y b ($a = 3,8214 \text{ \AA}$ y $b = 3,8877 \text{ \AA}$) de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Como se muestra en la tabla 1, dentro del grupo de las perovskitas $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$, Sr_2YSbO_6 tiene un parámetro de red que presenta uno de los mejores ajustes con los parámetros a y b de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, siendo apenas superado por el material $\text{Sr}_2\text{AlTaO}_6$

Tabla 1. Constante de red a de algunas perovskitas de la familia $\text{A}_2\text{BB}'\text{O}_6$.

Perovskita	a (Å)	$a/2$ (Å)	Desajuste (%)	Referencia
$\text{Ba}_2\text{NdTaO}_6$	8.54	4.27	11.7	[1]
$\text{Ba}_2\text{LaNbO}_6$	8.60	4.30	12.5	[6]
$\text{Ba}_2\text{YbNbO}_6$	8.39	4.20	9.5	[8]
$\text{Ba}_2\text{DySnO}_{5,5}$	8.520	4.26	11.5	[9]
$\text{Ba}_2\text{HoNbO}_6$	8.439	4.22	10.4	[11]
$\text{Ba}_2\text{DyZrO}_{5,5}$	8.398	4.20	9.5	[10]
$\text{Ba}_2\text{HoHfO}_{5,5}$	8.316	4.16	8.8	[12]
$\text{Ba}_2\text{HoSbO}_6$	8.3712	4.19	9.5	[13]
$\text{Sr}_2\text{AlTaO}_6$	7.84	3.92	2.6	[18]
Sr_2YSbO_6	8.2561	4.13	8.1	Este trabajo

Tabla 2. Análisis químico elemental de Sr_2YSbO_6 con EDX.

Elemento	% Peso	% Atómico
Y	21.09	11.15
Sr	35.52	19.06
Sb	22.60	8.73
O	20.78	61.07
Total	100.00	100.00

Los resultados del análisis EDX sobre el material sintetizado se muestran en la tabla 2. No se observa evidencia de ninguna traza de impureza en el material.

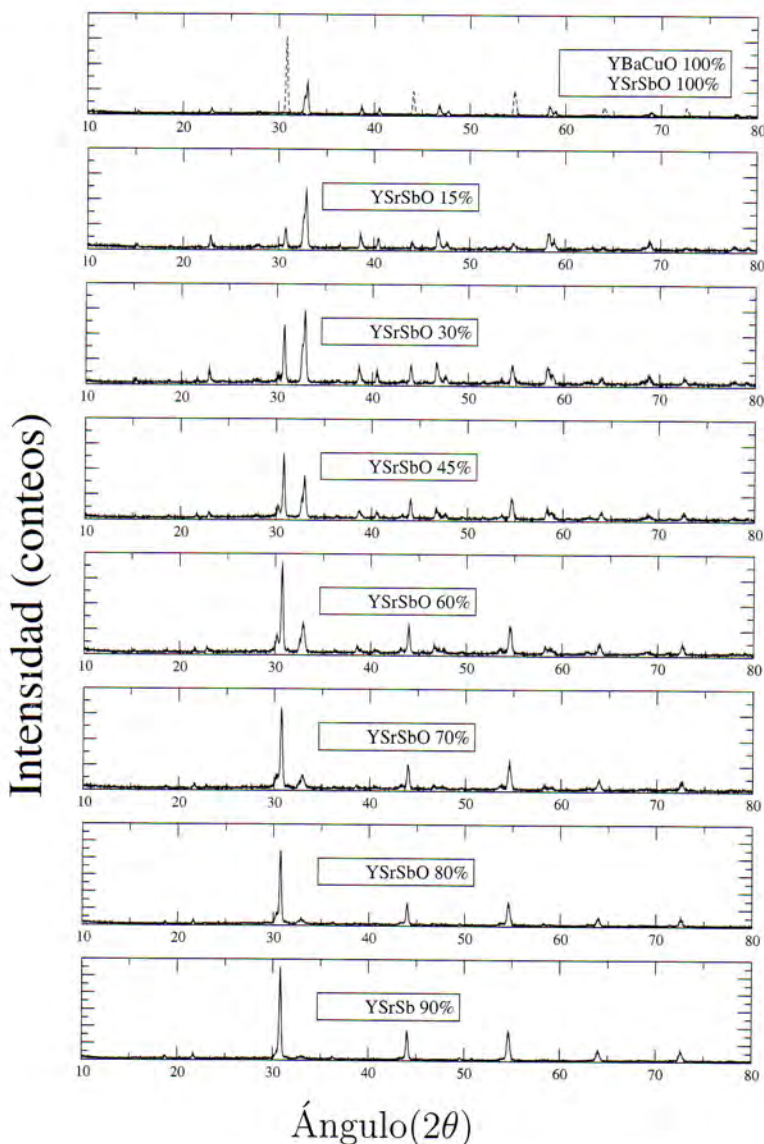


Figura 5. Patrones de difracción de rayos X de los compósitos Sr_2YSbO_6 - $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

Con el fin de estudiar la estabilidad química de Sr_2YSbO_6 con el superconductor $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$, investigamos la reactividad entre ellos a través de difracción de rayos X. Se mezclaron cantidades adecuadas de los dos materiales $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ y Sr_2YSbO_6 para producir muestras con fracciones vo-

lumétricas de Sr_2YSbO_6 entre 15 y 90 %, que fueron tratadas térmicamente durante 10 horas a 900°C . Con este procedimiento los granos de los dos materiales, mezclados de manera homogénea en los compósitos y muy próximos entre sí, son sometidos a un tratamiento severo en comparación al que se efectuaría en un eventual proceso de deposición de una película de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ sobre un sustrato de Sr_2YSbO_6 . Si no hay reacción química entre los dos materiales bajo estas condiciones, es poco probable que exista en el proceso de deposición de la película.

Los patrones de difracción de rayos X de los compósitos se muestran en la figura 5. Como se observa en estos patrones, cada pico puede ser indexado como uno de Sr_2YSbO_6 o como uno de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ y no existen picos extras que corresponderían a una fase diferente producto de reacción química entre los dos materiales. Así, dentro de la precisión de la técnica de difracción de rayos X, los resultados muestran que no existió reacción entre los dos materiales y Sr_2YSbO_6 es químicamente compatible con el superconductor $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$.

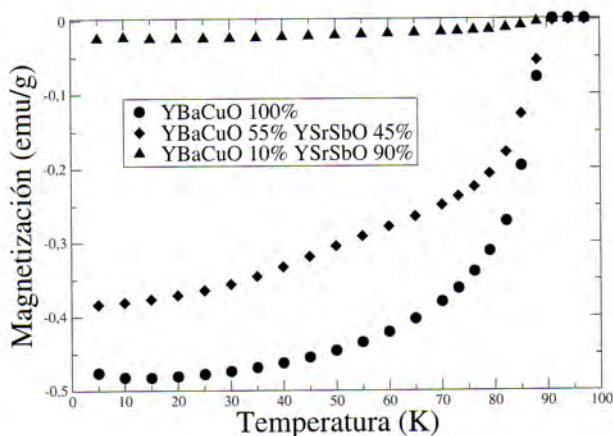


Figura 6. Magnetización en función de la temperatura para algunos compósitos Sr_2YSbO_6 - $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

El estudio del efecto de Sr_2YSbO_6 sobre el valor de la temperatura de transición (T_c) de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ al estado superconductor, se realizó a través de medidas de magnetización para temperaturas entre 5 y 300 K sobre algunos compósitos Sr_2YSbO_6 - $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. La figura 6 muestra los resultados de estas medidas para compósitos con 0, 45, y 90 % de fracción volumétrica de Sr_2YSbO_6 . Todas las muestras tienen una temperatura de transición $T_c \sim 90\text{K}$ y solamente se diferencian por la fracción Meissner.

4. Conclusión

Se ha sintetizado el nuevo material Sr₂YSbO₆, realizando algunas caracterizaciones del mismo que han permitido establecer que presenta el ordenamiento estructural de una perovskita cúbica compleja de la familia A₂BB'O₆ con parámetro de red $a = 8,2561 \text{ \AA}$. Además, un análisis químico elemental indica la presencia de los elementos Y, Sr, Sb y O, no existiendo trazas de otros elementos. Estos resultados permiten entonces asignar al nuevo material la fórmula Sr₂YSbO₆.

Las condiciones más cruciales del proceso de deposición de películas superconductoras por las técnicas de ablación laser y pulverización catódica son el contacto entre sustrato y superconductor a temperaturas del orden de 900° C. Estas condiciones fueron simuladas experimentalmente compactando mezclas homogéneas del nuevo material con YBa₂Cu₃O_{7-δ}, sometiéndolas a un tratamiento térmico a esa temperatura y haciéndolo más severo al aumentar el tiempo de calcinado a 10 horas. A pesar de haber estado en contacto durante varias horas, los dos materiales no presentaron reacción química entre ellos, como se pudo concluir al analizar los patrones de difracción de rayos X de estas mezclas y no encontrar en ellos señales de la presencia de otras fases.

Por otro lado, las medidas de magnetización en función de la temperatura revelan la transición diamagnética a $T_c \sim 90 \text{ K}$ para una muestra de YBa₂Cu₃O_{7-δ} puro, para una muestra con apenas 10 % de superconductor (y 90 % de Sr₂YSbO₆) y para otra muestra con 55 % de YBa₂Cu₃O_{7-δ} y 45 % de Sr₂YSbO₆. Así, el severo tratamiento descrito en el párrafo anterior tampoco afectó el valor de la temperatura de transición al estado superconductor.

Los resultados de estos estudios se pueden englobar en una sola conclusión. El nuevo compuesto sintetizado en éste trabajo cumple con los requisitos mínimos exigidos a un material que se pretenda utilizar como sustrato para el crecimiento epitaxial de películas superconductoras de YBa₂Cu₃O_{7-δ}. Presenta un desajuste del parámetro a con los parámetros a y b de la celda unitaria de YBa₂Cu₃O_{7-δ} del 8 %, es estable químicamente con el superconductor y no altera el valor de su temperatura crítica.

La posible utilización del material Sr₂YSbO₆ no se limitaría únicamente a la deposición de YBa₂Cu₃O_{7-δ}, ya que el valor de su parámetro se ajusta también a los parámetros de otros miembros de la familia TRBa₂Cu₃O_{7-δ}. Más aún, teniendo en cuenta que aún se investigan las combinaciones adecuadas de las diferentes capas que forman las nuevas cintas recubiertas con superconductor, valdría la pena intentar aplicar el material Sr₂YSbO₆ como componente de la capa amortiguadora (figura 1) en estos conductores.

El siguiente paso es producir el material en forma de película sobre un sustrato convencional como capa amortiguadora, o en forma monocristalina para la deposición directa del superconductor.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto de la División de Investigaciones de Bogotá DIB 803640.

Debemos agradecer la valiosa colaboración de: Edgar Alfonso, Julio Evelio Rodríguez, Mónica Bolívar y Queeny Madueño en el proceso de síntesis de las muestras; German Arenas, Luis Gutiérrez y Laura T Corredor en la toma de imágenes SEM y EDX.

Referencias

- [1] J Kurian y T Morishita *Supercond. Sci. Technol.* **16** 422 (2003)
- [2] Y Takahashi, H. Wakana, A. Ogawa, T Morishita y K. Tanabe *Jpn. J. Appl. Phys.* **42** L283 (2003)
- [3] M. Barra, A. Cassinese y A. Prigobbo *Supercond. Sci. Technol.* **16** 407 (2003)
- [4] R. Hott *Materials Aspects of High-Temperature Superconductors for Applications*, Preprint, arXiv:cond-mat/0306442 (2003)
- [5] R. Hott *Application Fields of High-Temperature Superconductors*, Preprint, arXiv:cond-mat/0306444 (2003)
- [6] S.P. Pai, J. Jasudasan, P. R. Apte, R. Pinto, J. Kurian, P. K. Sajith, J. James y J. Koshy *Europhys. Lett.* **39** 699 (1997)
- [7] G. Koren y E. Polturak, *Supercond. Sci. Technol.* **15** 1335 (2002)
- [8] S. U. K. Nair, P. R. S. Warriar y J. Koshy *Bull. Mater. Sci.* **25**(2) 95 (2002)
- [9] J. Koshy, K. S. Kumar, J. Kurian, Y. P. Yadava, y A. D. Damodaran *Phys. Rev. B* **51**(14) 9096 (1995)
- [10] Y. P. Yadava, D. A. Landínez Téllez, M. T. de Melo, J. M. Ferreira, J. Albino Aguiar *Appl. Phys. A* **66** 455 (1998)

- [11] D. A. Landínez Tellez, J Albino Aguiar, Y P Yadava, E. Chavira y J Roa-Rojas *Mod. Phys. Lett. B* **15**(21) 905 (2001)
- [12] J Albino Aguiar, D. A. Landínez Tellez, Y. P Yadava y J M. Ferreira *Phys. Rev. B* **58**(5) 2454 (1998)
- [13] J Albino Aguiar, C. C. de Souza Silva, Y. P Yadava, D. A. Landínez Tellez, J M. Ferreira, J Gúzman y E. Chavira *Physica C* **307** 189 (1998)
- [14] J Kurian, Y. Takahashi, T. Amemure, T Susuki y T. Morishita *J. Phys. D. Appl. Phys.* **35** 3002 (2002)
- [15] K. Heine, J, Tenbrink y M. Thöner *Appl. Phys. Lett.* **55**(23) 2441 (1989)
- [16] T Watanabe, Y. Hiohara y T Izumi *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **12**(2) 2445 (2003)
- [17] V Matias, B J Gibbons, A. T Findikoglu, S. Kreiskott, L. Bronisz y D. Peterson *IEEE Trans. Appl. Supercond.* **12**(2) 2488 (2003)
- [18] H. Zama, Y. Takahashi, K. Tanabe y T Morishita *Jpn. J. Appl. Phys.* **40** L167 (2001)