

Особенности двойниковой структуры эпитаксиальных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

© И.К. Бдикин, А.Д. Маштаков*, П.Б. Можжев*, Г.А. Овсянников*

Институт физики твердого тела Российской академии наук,
142432 Черноголовка, Московская обл., Россия

*Институт радиотехники и электроники Российской академии наук,
103907 Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 15 сентября 1997 г.
В окончательной редакции 18 ноября 1997 г.)

Методами рентгеновской дифракции исследованы пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) на NdGaO_3 (110) и гетеро-структуре (100) $\text{CeO}_2/(1-102)\text{Al}_2\text{O}_3$. Для получения дифракционных спектров от различных кристаллографических плоскостей применялись симметричная, несимметричная и аксиальная геометрии рентгеновского сканирования θ и $\theta/2\theta$. Определены ориентационные и количественные характеристики двойникового пленок. При близости кристаллографических параметров этих двух типов пленок (пленки c -ориентированы с $c = 11.67 \text{ \AA}$) в структуре двойникового они имеют различия. В частности, особенности структуры NdGaO_3 приводят к возникновению угла, отличного от 90° (90.20°), между возможными плоскостями двойникового (110) и (1-10) в пленке YBCO и различному количеству двойниковых компонент в каждой системе двойников. Из анализа уширения рефлексов, чувствительных к двойникованию, для пленки YBCO на Al_2O_3 с буферным слоем CeO_2 сделан вывод об отсутствии двойникового для 60% пленки.

Современная технология напыления сверхпроводящих тонких пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (YBCO) позволяет получать пленки с кристаллической структурой, слабо отличающейся от структуры монокристаллов. Так же как и в монокристаллах, двойникование в пленках происходит по схеме $\{110\}/(1-10)$ с углов двойникового около 1° [1,2]. В данной работе представлены результаты сравнительных исследований двойниковых структур для двух близких по кристаллографическим параметрам c -ориентированных пленок YBCO.

Пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ были выращены методом катодного распыления на постоянном токе [3]. В качестве подложек использовались безблочные кристаллы NdGaO_3 (110) и сапфира R -ориентации (Al_2O_3 (1-102)). Подложки из сапфира покрывались буферным слоем окиси церия (CeO_2) для предотвращения подвалывающей сверхпроводимость диффузии алюминия из сапфира в пленку. Условия напыления окиси церия выбирались обеспечивающими формирование буферного слоя ориентации (001). Оптимизация процесса роста пленок YBCO проводилась изменением температуры подложки, давления и тока разряда.

Рентгеновские исследования проводились на дифрактометрах Siemens D500 и ДРОН-3М с излучением $\text{CuK}\alpha$. Использовались симметричная, асимметричная и аксиальная геометрии съемки. Для исследования двойникового в c -ориентированных пленках YBCO необходимо получать отражение от кристаллографических плоскостей, наклонных к плоскости (001). В данной работе снимались рефлексы (103), (113) в аксиальной геометрии (вставка на рис. 1) — один из самых интенсивных рефлексов в структуре YBCO.

Параметры решетки пленок определялись по рефлексам (0 0 13), (3 0 10) и (0 3 10) и для исследованных пленок составили $a = 3.827(1) \text{ \AA}$,

$b = 3.889(1) \text{ \AA}$, $c = 11.674(2) \text{ \AA}$ и $a = 3.830(2) \text{ \AA}$, $b = 3.880(2) \text{ \AA}$, $c = 11.670(2) \text{ \AA}$ для пленок на NdGaO_3 и на (001) $\text{CeO}_2/(1-102)\text{Al}_2\text{O}_3$ соответственно. Величина параметра c указывает на высокое насыщение пленки кислородом для обеих пленок [4].

Дифрактограмма, полученная сканированием образца вокруг оси ω при положении детектора, соответствующем рефлексу (113) пленки YBCO (рис. 1), отражает характерную картину двойникового YBCO. Кривые A и A' в этом разложении принадлежат различным двойникованным по плоскости (1-10) компонентам, кривая B принадлежит другим двум двойниковым компонентам по плоскости (110), поэтому они не имеют расщепления; кривая C соответствует (020)-плоскости NdGaO_3 . Относительное положение пиков отражает разориентации соответствующих плоскостей, поэтому по дифрактограмме можно указать величину угла двойникового и величину угла между атомными плоскостями NdGaO_3 и YBCO. Эти углы определяются по формуле

$$\delta = \alpha \cos(\gamma) + \beta \sin(\gamma), \quad (1)$$

где δ — измеряемый угол разориентации между зернами пленки, α и β — углы разориентаций между этими же зернами в заданных взаимно перпендикулярных плоскостях, γ — угол между плоскостями, соответствующими δ и α . В данном случае $\beta = 0^\circ$, $\delta = 1.39^\circ$ (определяется по дифрактограмме рис. 1 между пиками A и A'), $\gamma = 35^\circ$ (угол между плоскостями (113) и (110) в структуре YBCO), α — удвоенное значение искомого угла двойникового. Это дает угол двойникового, равный 0.85° .

Аналогично, используя формулу (1), можно определить угол между плоскостями двойникового YBCO по взаимным положениям пиков A , A' и B . Этот угол равен 90.20° . Наличие такого угла также отмечалось в работе [2] для пленки YBCO на NdGaO_3 . Возникновение

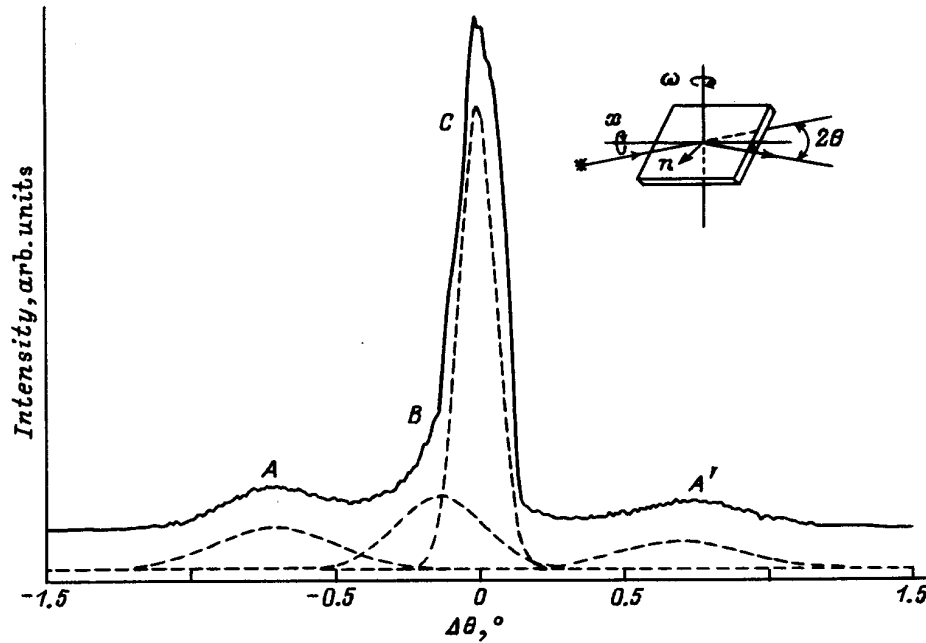


Рис. 1. Дифрактограмма сканирования вокруг оси ω рефлекса (113) в аксиальной геометрии c -ориентированной пленки YBCO на (110)NdGaO₃. На вставке — схема реализации рентгеновской дифракции в аксиальной геометрии.

угла между плоскостями двойникования, не равного точно 90° , не противоречит симметрии решетки NdGaO₃. Поскольку структурно-двойниковые компоненты не отличаются, размер A -компоненты будет больше, чем размер A' -компоненты, так как для A -компоненты меньше величина несоответствия в расположении атомов пленки и подложки. Это и наблюдается в эксперименте.

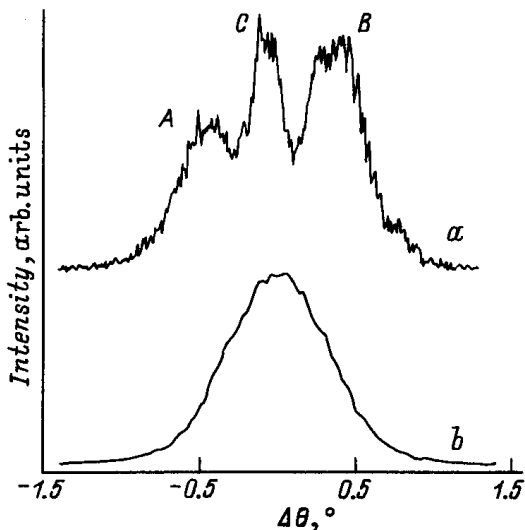


Рис. 2. Дифрактограммы сканирования вокруг оси ω рефлекса (103) в аксиальной геометрии c -ориентированной пленки YBCO на (110)NdGaO₃ (a) и c -ориентированной пленки YBCO на (1-102)Al₂O₃ с буферным слоем (100)CeO₂ (b). Пики A и B соответствуют двум ориентациям двойников по разным плоскостям двойникования (110) и (1-10), пик C соответствует положению плоскости (112) NdGaO₃.

Двойникование в пленках YBCO на Al₂O₃ с буферным слоем CeO₂ не выявляется в характерном расщеплении на двойниковые компоненты (рис. 2). Кроме того, дифракционные линии имеют меньшую ширину, чем для пленок YBCO на NdGaO₃. Анализ, проведенный по дифракционным порядкам от одной и той же плоскости, показывает, что ширина рефлексов не меняется. Это указывает на то, что уширение связано исключительно с разориентацией, а не с размером двойников или дифракционными эффектами, обусловленными дефектностью YBCO [5].

Полученные дифрактограммы были проанализированы на основании предположения о смешанном состоянии двойникованной и недвойникованной фазы YBCO в исследованной пленке. Варьировались взаимное количество двойникованной и недвойникованной фазы, степень разориентации зерен пленки и параметр орторомбичности. Наилучшее соответствие было получено при значениях параметров решетки $a = 3.830 \text{ \AA}$, $b = 3.880 \text{ \AA}$, $c = 11.670 \text{ \AA}$, уширении рефлексов, связанных с разориентацией 1.1° (этот параметр учитывает и аппаратное уширение) и концентрацией двойникованной фазы 40%. Для пленок, содержащих a -компоненту, наблюдалось понижение рассчитанной подобным образом концентрации двойникованной фазы. Это легко объясняется тем, что в смешанном состоянии a - и c -ориентированной пленки вклад a -ориентированной компоненты является вкладом недвойникованной фазы.

Наличие недвойникованной фазы в 100% c -ориентированной пленке может быть объяснено следующими причинами.

1) Протяженными двойникованными границами, в которых трансформация из одной двойниковой ориентации

в другую может происходить через фазу с меньшим углом двойникования [6].

2) Зернистостью SeO_2 , которая определяет размер зерен YBCO. Двойникование YBCO происходит в зернах с уже заданным размером. Разбиение зерен на двойники при размере зерна, меньшем, чем характерный размер двойников (500°Å), может быть энергетически менее выгодным.

Авторы благодарны Ф.В. Комиссинскому за помощь в напылении ВТСП-пленок и И.М. Котелянскому за полезное обсуждение результатов работы.

Работа частично финансировалась Российским фондом фундаментальных исследований (№ 95-02-06184) и Российской программой "Актуальные направления физики конденсированного состояния", раздел "Сверхпроводимость".

Список литературы

- [1] T. Schere, P. Marienhoff, R. Herwig, M. Neuhaus, W. Jutzi. *Physica C* **197**, 79 (1992).
- [2] T. Steinborn, G. Mische, J. Wiesner, E. Brecht, H. Fuess, G. Wirth, B. Schulte, M. Speckmann, H. Adrian, M. Maul, K. Petersen, W. Blau, M. McConnel. *Physica C* **220**, 219 (1994).
- [3] П.Б. Можаяев, Г.А. Овсянников, С.Н. Поляков, Э.К. Ковев, Н.П. Кухта. СФХТ, в печати.
- [4] M.S. Osofsky, J.L. Cohn, E.F. Skelton, M.M. Miller, R.J. Soulen, Jr., S.A. Wolf, T.O. Vanderah. *Phys. Rev.* **B 45**, 9, 4916 (1992).
- [5] J.P. Gong, M. Kawasaki, K. Fujito, R. Tsuchiya, M. Yoshimoto, H. Koinuma. *Phys. Rev.* **B 50**, 5, 3280 (1994).
- [6] Ю.А. Осипьян, Н.С. Афоникова, Т.К. Парсамян, В.Ш. Шехтман, И.М. Шмытько. *Письма в ЖЭТФ* **47**, 10, 501 (1988).