

УДК 537.311.33

© 1993

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ ПЛЕНКИ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ НА (110) YAlO_3 Ю. А. Бойков, З. Г. Иванов,¹ Дж. Брорсон,¹ Е. Олсон,¹ Т. Клаесон¹

Показана возможность выращивания методом лазерного распыления эпитаксиальных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ на поверхности (110) YAlO_3 , для которых ось C перпендикулярна плоскости подложки. На поверхности исследованных слоев имелось большое количество характерных углублений. Получены данные об изменении с температурой удельного сопротивления и плотности критического тока.

Монокристаллы из галлатов и алюминатов редких земель по своим диэлектрическим и кристаллографическим параметрам являются одними из основных кандидатов для использования в качестве подложек при формировании пленочных элементов СВЧ техники из ВТСП материалов. Среди указанной группы соединений LaAlO_3 (LAO) и YAlO_3 (YAO) обладают низкими значениями диэлектрической проницаемости ϵ и $\text{tg } \delta$ [1]. Монокристаллические пластины LAO широко и успешно используются для выращивания эпитаксиальных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) и BiSrCaCuO [2]. В то же время исследованию ВТСП пленок на подложках из YAO посвящено только несколько работ [1, 3], несмотря на то что данный материал обладает более низкими значениями ϵ и $\text{tg } \delta$ по сравнению с LAO и может быть получен свободным от двойников.

В [1] исследованы структура и параметры тонких слоев $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, сформированных на (001) YAO. Плотность критического тока в исследованных пленках имела более низкие параметры по сравнению с соответствующими эпитаксиальными пленками на подложках (100) SrTiO_3 и (100) LaAlO_3 . Авторы [1] отмечают блочность приготовленных слоев, причем блоки взаимно разориентированы на 90° .

YAO обладает ромбоэдрической структурой $a = 0.5179$ нм, $b = 0.5329$ нм, $c = 0.737$ нм [4]. Параметры кристаллической решетки и диэлектрические свойства YAO могут изменяться контролируемым образом при введении Ce или Nd. В данной работе в качестве подложек для YBCO пленок использованы пластины (110) YAlO_3 , допированные 0.5 ат. % Nd. При сопряжении плоскостей (110) YAlO_3 и (001) YBCO может быть обеспечено рассогласование в параметрах решетки порядка 3–4%. Существующее незначительное различие между $c/2$ и $(a^2 + b^2)^{1/2}/2$ в YAlO_3 может способствовать четкой ориентации осей [110] и [010] в формируемой пленке YBCO относительно выделенного направления в плоскости подложки.

Пленки YBCO приготавливались методом лазерного распыления [5]. Сформированные пленки YBCO имели толщину 200 нм. Температура подложки при конденсации варьировалась в пределах 730–770 °C.

Ось C в сформированных пленках YBCO была четко ориентирована перпендикулярно плоскости подложки. На рис. 1 приведена дифрактограмма ($\theta \sim 2\theta$) для пленки YBCO, сформированной на (110) YAO. Параметр c , рассчитанный

¹ Chalmers University of Technology, S-41296, Goteborg, Sweden.

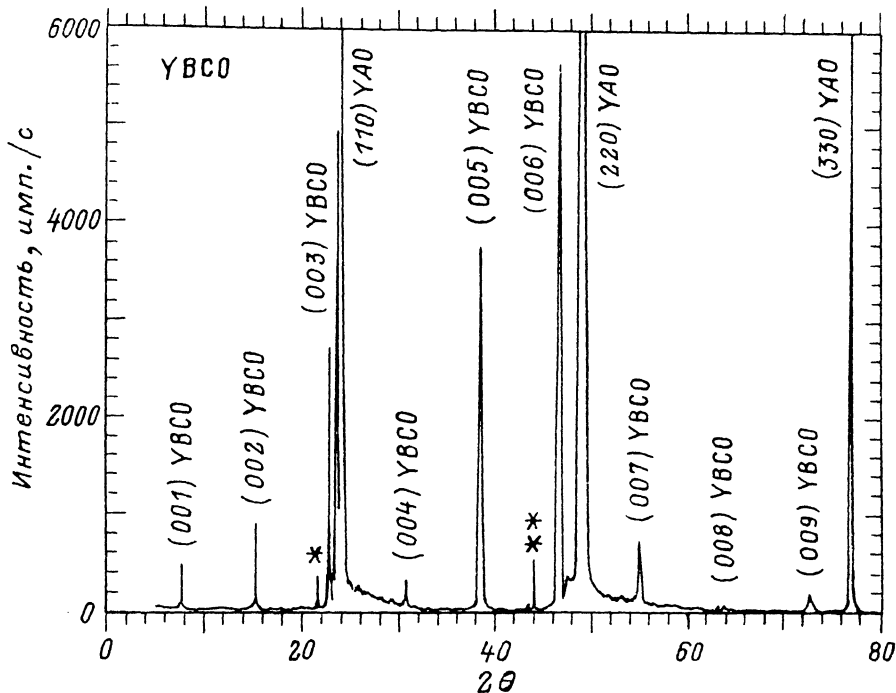


Рис. 1. Дифрактограмма ($\theta - 2\theta$) для пленки YBCO, сформированной на (110) YAO. Звездочками отмечены рефлексы от подложки.

с использованием данных по рефлексу (009), имел значение 11.682 \AA . Азимутальная ориентация кристаллографических осей в пленках YBCO относительно подложки определялась с помощью микродифракционного исследования образцов, приготовленных из поперечных срезов. Четко прослеживались следующие взаимные ориентации: $[010] \text{ YBCO} \parallel [110] \text{ YAO}$ и $[100] \text{ YBCO} \parallel [001] \text{ YAO}$; в результате двойникования в YBCO пленке возможно наличие областей, для которых $[010] \text{ YBCO} \parallel [001] \text{ YAO}$ и $[100] \text{ YBCO} \parallel [110] \text{ YAO}$.

Исследование образцов, приготовленных из поперечных срезов пленок, на просвет в электронном микроскопе показало наличие на границе пленка—подложка небольших зерен, в которых ось *C* параллельна плоскости подложки. В отличие от эпитаксиальных пленок YBCO, сформированных на SrTiO_3 , MgO и т. д., зародыши зерен с указанной выше ориентацией, сформировавшись на межфазной границе, не разрастались в сторону свободной поверхности пленки.

На рис. 2 приведен снимок свободной поверхности пленки YBCO/YAO, полученный с использованием сканирующего электронного микроскопа. На поверхности пленки имеется значительное число «pin-holes», причем между дном «pin-hole» и поверхностью подложки имеется четко ориентированный слой YBCO, не содержащий включений второй фазы.

Измерение плотности критического тока проводилось на мостиках шириной 3 и длиной 20 мкм, сформированных с использованием ионного травления. Для пленок YBCO, сконденсированных при $T_n = 730\text{--}770 \text{ }^\circ\text{C}$, температура сверхпроводящего перехода $T_{c(R=0)}$ имела значения 89—91 К. На рис. 3 приведены температурные зависимости удельного сопротивления ρ и плотности критического тока J_k для пленки YBCO, полученной при

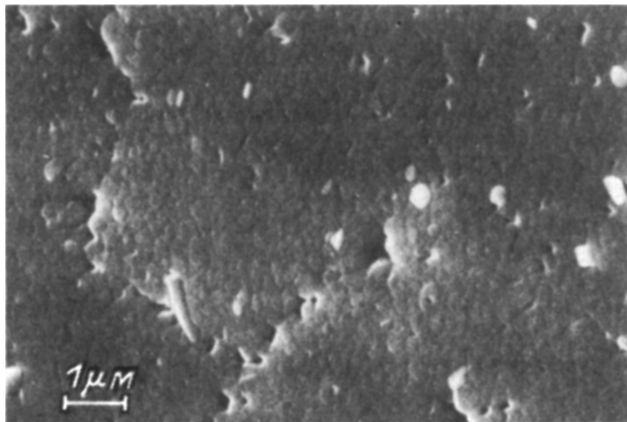


Рис. 2. Снимок поверхности пленки YBCO на (110) YAO, полученный с использованием сканирующего электронного микроскопа.

$T_n = 750^\circ\text{C}$. Разброс в значениях плотности критического тока для трех мостиков, сформированных из одной пленки YBCO/YAO, не превышал 15%. Значения J_k для исследованных образцов находятся на уровне лучших данных для пленок YBCO, сформированных на монокристаллических подложках SrTiO_3 , MgO . Некоторый разброс в значениях J_k для сформированных мостиков с указанными геометрическими размерами может быть связан с наличием в пленках «pin-hole».

Проведенное исследование позволяет говорить о перспективности использования монокристаллических пластин (110) YAO в качестве подложек для ВТСП пленок. В настоящее время исследуется возможность использования тонких пленок YAO в качестве изолирующих промежуточных слоев в SIS системах на основе YBCO.

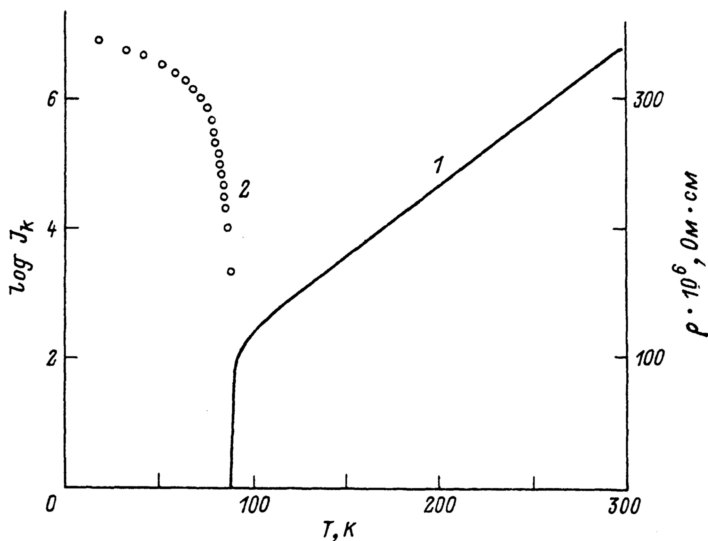


Рис. 3. Изменение с температурой удельного сопротивления ρ (1) и плотности критического тока J_k (2) для пленки YBCO, сконденсированной при $T_n = 750^\circ\text{C}$ (110) YAO.

Список литературы

- [1] Asano H., Kubo S., Michikami O., Satoh M., Konaka T. // Jpn. J. Appl. Phys. 1990. V. 29. N 8. P. L1452—L1454.
- [2] Philips J. M., Siegal M. P., Perry C. L., Marshall J. H. // IEE Trans. Magnetics. 1991. V. 27. N 2. P. 1006—1008.
- [3] Tsukada I., Uchinokura K. // Jpn. J. Appl. Phys. 1991. V. 30. N 8B. P. 1468—1470.
- [4] Wyckoff R. W. G. Crystal Structure. V. 2. Second Edition. Interscience Publishers. N. Y., 1964. P. 395.
- [5] Brorsson G., Ivanov Z., Nilsson P.-A. // Science and Technology of Thin Film Superconductors 2/Ed. R. D. McConnel and R. Noufi. Plenum. N. Y., 1990. P. 169.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
3 сентября 1992 г.
