

05.4;11;12

Получение толстых пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ на сапфире с подслоем оксида церия

© Е.К. Гольман, В.И. Гольдрин, В.Е. Логинов,
Д.А. Плоткин, С.В. Разумов, А.В. Тумаркин

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Поступило в Редакцию 6 декабря 1996 г.

В работе содержатся результаты экспериментов по получению пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ на $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$ толщиной до 2.6 мкм с высоким структурным совершенством и электрофизическими параметрами.

Пленки высокотемпературного сверхпроводника YBCO являются многообещающим материалом для применения в технике СВЧ. Однако для изготовления электронных приборов СВЧ-диапазона (фильтры, фазовращатели и т. п.) требуются пленки высокого структурного совершенства и критических параметров, при этом толщина пленок должна быть больше лондоновской глубины проникновения, которая тем больше, чем менее совершенна структура пленки. Минимальная толщина пленки YBCO для использования в СВЧ электронике по оценке, приведенной в [1], составляет 0.5 мкм. Однако увеличение толщины пленки ведет к появлению блочной структуры, в которой блоки с осью c кристалла, перпендикулярной поверхности (c_{\perp}), начиная с некоторой толщины вытесняются блоками с осью c , параллельной поверхности (c_{\parallel}). Пленки, ориентированные c_{\parallel} , характеризуются более низкими критическими параметрами по сравнению с c_{\perp} , наличие блоков с различной ориентацией ведет к анизотропии свойств пленки в плоскости, параллельной поверхности, и повышению величины поверхностного сопротивления. Для различных подложек и методов напыления толщина, при которой преимущественно c_{\perp} -ориентированный рост меняется на c_{\parallel} -рост, лежит в диапазоне 0.3–1.5 мкм [1–3]. Этот переход может быть связан с охлаждением поверхности пленки при росте толщины [1,3], с релаксацией напряжений несоответствия пленка–подложка [4], а также с тем, что c_{\parallel} -рост кинетически предпочтителен. Зародившиеся на подложке c_{\parallel} -зерна постепенно занимают всю поверх-

ность растущей пленки и при толщине ~ 1 мкм практически вся пленка является c_{\parallel} -ориентированной [2]. Общим во всех экспериментальных наблюдениях и предложенных подходах является то, что концентрация c_{\parallel} -ориентированной фазы всегда растет с толщиной пленки.

В настоящей работе, целью которой является исследование возможностей получения пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ толщиной свыше 0.5 мкм, с высокими электрофизическими характеристиками и структурным совершенством, будут представлены результаты, показывающие возможность получения пленок толщиной 2.6 мкм полностью c_{\perp} -ориентированных.

При получении пленок многокомпонентных оксидов, в частности сверхпроводников YBCO, наряду с ростом основной фазы образуются и другие соединения. Эти соединения, в случае YBCO представляющие собой диэлектрические оксиды Y, Ba и Cu, формируют включения в виде островков в пленке осаждаемого материала. Диэлектрические включения могут не только не ухудшать, но и повышать сверхпроводниковые свойства пленок [5], что определяется их диэлектрическими свойствами, размерами и концентрацией. Помимо этого, диэлектрические включения могут положительно влиять и на структурное совершенство основной фазы, играя роль стоков для дефектов и сверхстехиометричных атомов. В работе [6] было показано, что на начальных стадиях роста пленки концентрация диэлектрических включений немонотонно изменяется в диапазоне от $< 10^7$ до 10^9 см $^{-2}$ и определяется рядом условий напыления.

Исследуемые пленки YBCO были напылены в планарной магнетронной системе постоянного тока в атмосфере O_2 (100 Па) на подложках Al_2O_3 [1102] с подслоем SeO_2 смешанной (001)/(111) ориентации [7]. Температура подложки поддерживалась около 650 °C и не возрастала с ростом толщины пленки, ток разряда изменялся в течение первых 30 мин напыления от 100 до 400 мА и затем поддерживался на этом уровне. Время напыления составляло от 5 до 40 ч.

Толщина полученных пленок, измеренная профилометром DekTak-3030, составляла 0.29, 0.62, 0.94, 1.3 и 2.6 мкм для пленок, напыленных в течение 5, 10, 15 и 20 и 40 ч соответственно. Таким образом, скорость осаждения пленок была оценена как 10.7 Å/мин $\pm 5\%$.

Структурное совершенство полученных образцов было исследовано методом рентгеновской дифрактометрии ("Geigerflex" серии D/max-RC Rigaku на $Cu K_{\alpha}$ излучении с $\lambda = 1.5418$ Å). Дифрактограммы всех пленок свидетельствуют о достаточно хорошо упорядоченной

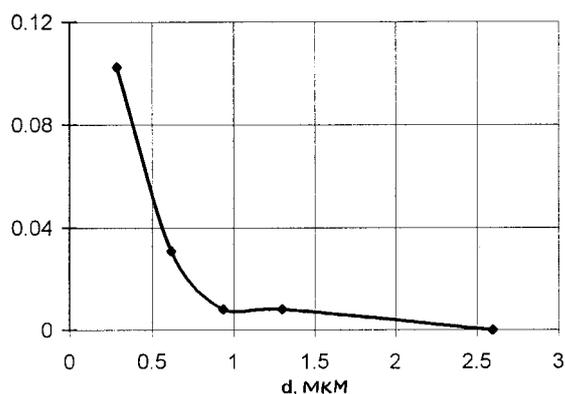


Рис. 1. Относительный объем c_{\parallel} -ориентированной фазы в зависимости от толщины пленки d .

c_{\perp} -ориентированной структуре: видны все $(00l)$ рефлекссы, ширина на полувысоте FWHM пика (005) по кривой качания $(\Delta\omega)$ не более 1.1° . Наблюдаются также несколько пиков $(h00)$ (рис. 1), свидетельствующих о наличии в пленке зерен c_{\parallel} -ориентированной фазы.

Относительный объем c_{\parallel} -ориентированных зерен оценивался по методике, предложенной в [1]. При этом сравниваются интенсивности пиков (005) (для c_{\perp}) и (200) (для c_{\parallel}), нормированные на соответствующие теоретические интенсивности, измеренные для порошковых образцов. Результаты приведены на рис. 2. Уменьшение относительной интенсивности пика (200) с толщиной пленки можно интерпретировать как уменьшение относительного объема c_{\parallel} -ориентированных включений. По зависимости ширины на полувысоте пика (005) (рис. 2) видно, что одновременно с уменьшением объема c_{\parallel} -ориентированных включений кристаллическое совершенство c_{\perp} -ориентированной фазы улучшается, для пленки толщиной 2.6 мкм FWHM пика (005) составляет 0.47° при отсутствии c_{\parallel} -ориентированных включений.

Можно предположить, что уменьшение относительного объема c_{\parallel} -ориентированной фазы с толщиной пленки (до полного ее исчезновения при толщине 2.6 мкм) связано с тем, что одновременно с ростом пленки происходит ее отжиг в атмосфере O_2 и потоке компонентов, при этом найденные технологические условия обеспечивают преимуще-

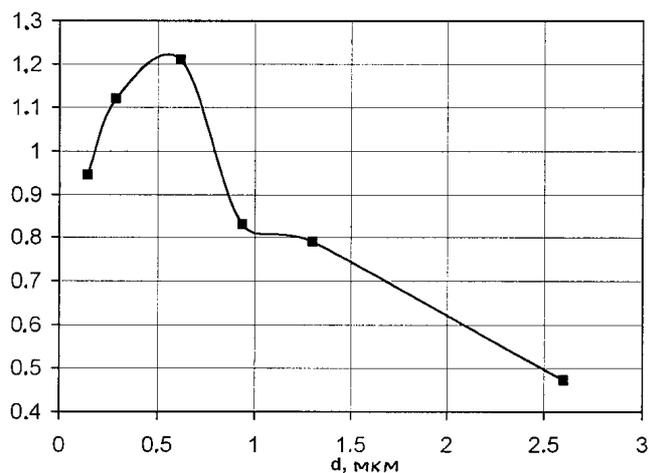


Рис. 2. FWHM пика (005) по кривой качания ($\Delta\omega$) в зависимости от толщины пленки d .

ственный рост c_{\perp} -ориентированной фазы (возможно, за счет включений посторонних фаз). Таким образом, можно сделать вывод о том, что при найденном технологическом режиме структурное совершенство пленок растет с увеличением толщины. При этом необходимо отметить, что качество "тонких" пленок (0.3 и 0.6 мкм) было невысоким. Однако стабилизация c_{\perp} -ориентации пленки и улучшение ее структурных характеристик с толщиной представляют несомненный интерес и ранее не наблюдались.

Для оценки СВЧ-свойств полученных пленок было измерено поверхностное сопротивление R_s образцов на частоте 60 ГГц при 77 К с помощью медного объемного резонатора. Все пленки показали величину $R_s < 50 \text{ mOhm}$, что является удовлетворительным для микроволновых применений, а также свидетельствует о стабилизации структуры при росте толстых пленок.

Таким образом, показана возможность получения YBCO пленок толщиной до 2.6 мкм, имеющих высокое структурное совершенство и электрофизические характеристики, приемлемые для реализации устройств СВЧ-электроники.

Работа была выполнена при поддержке BMBF/VDI проекта № 029850 (Germany).

Список литературы

- [1] *Vassenden F., Linker G., Geerk J.* // Physica C. 1991. V. 175. P. 566–572.
- [2] *Nieh C.W., Anthony L., Josefowicz J.* et al. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56. N 21. P. 2138–2140.
- [3] *Sievers S., Mattheis F., Krebs H.U.* et al. // J. Appl. Phys. 1995. V. 78. N 9. P. 5545–5548.
- [4] *Carim A.H., Basu S.N., Muenchausen R.E.* // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. N 8. P. 871–873.
- [5] *Tian Y.J., Guo L.P., Li L.* et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 65. N 2. P. 234–236.
- [6] *Гольман Е.К., Гольдрин В.И., Плоткин Д.А.* и др. // ФТТ. 1997 (в печати).
- [7] *Hollmann E.K., Zaitsev A.G., Loginov V.E.* et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1993. V. 26. P. 504–505.