

05.4:09

Получение толстых пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ методом ДС магнетронного напыления

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

С.-Петербургский государственный электротехнический университет

Поступило в Редакцию 10 апреля 1998 г.

В работе получены пленки ВТСП толщиной до $3.6 \mu\text{m}$ и исследованы их свойства, необходимые для создания приборов СВЧ диапазона. Показана возможность получения пленок YBCO, толщина которых превышает $3 \div 5 \lambda_L$ для использования в СВЧ диапазоне.

Введение

Для создания приборов СВЧ диапазона на основе высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ требуются пленки, обладающие высоким структурным совершенством и критическими параметрами. При этом для локализации поля в пленке и уменьшения СВЧ потерь толщина пленки должна превосходить несколько лондоновских глубин проникновения λ_L . Для идеального кристалла $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, ориентированного осью c элементарной ячейки перпендикулярно поверхности (c -ориентация), величина λ_L составляет по разным данным от 1400 до 1800 Å [1] и увеличивается при наличии любых дефектов структуры в реальной пленке — таких, например, как включения зерен другой ориентации. Это означает, что для СВЧ применений необходимо получать пленки толщиной не менее $0.5 \mu\text{m}$.

В предыдущих работах [2,3] рассмотрены проблемы, возникающие при получении толстых пленок YBCO, и приведены результаты исследования пленок толщиной $0.1\text{--}2.6 \mu\text{m}$, полученных магнетронным напылением на постоянном токе. В данной работе представлены результаты для пленок YBCO толщиной до $3.6 \mu\text{m}$, полученных магнетронным распылением при скорости осаждения $\sim 15 \text{ \AA}/\text{min}$. Пленки были исследованы методами рентгеновской дифрактометрии, электронной микроскопии и резерфордского обратного рассеяния.

Эксперимент

Исследуемые пленки были нанесены в планарной магнетронной системе на постоянном токе. В качестве подложки использовался сапфир с подслоем диоксида церия [4]. Давление рабочего газа — кислорода — составляло 1 Торг. Температура подложкодержателя поддерживалась на уровне 650°C и не изменялась в течение процесса. Ток разряда увеличивался от 100 до 600 мА в первые 30 min процесса и далее не менялся. Время напыления пленок составляло от одного до 40 h. Толщина полученных пленок измерялась профилометром Dektak-3030. Оцененная таким способом скорость роста пленки составила $15 \text{ \AA}/\text{min} \pm 5\%$. Параметры пленок приведены в таблице.

№ образца	Ток разряда, мА	Время напыления, h	Толщина, μm
654	600	20	1.8
656	600	14	1.26
657	600	1	0.1
665	600	6.2	0.56
667	600	40	3.6

Результаты и обсуждение

Структурное совершенство полученных образцов было исследовано методом рентгеновской дифрактометрии ("Geigerflex" серии D/max-RC Rigaku на $\text{Cu K}\alpha$ излучении с $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$). На дифрактограммах пленок видны все (00*l*) рефлексы, что свидетельствует о совершенной *c*-ориентированной структуре. Рефлексы (*h*00), показывающие наличие *a*-ориентированных зерен, наблюдаются только в рентгенограмме образца толщиной 0.1 μm , что подтверждает тот факт, что качество пленок, полученных при описанных выше режимах, улучшается с увеличением толщины с точки зрения преимущественной ориентации [2].

Зависимость ширины пика (005) на полувысоте от максимума (FWHM) представлена на рис. 1. Тенденция уменьшения ширины пика при увеличении толщины пленки, наблюдаемая до толщины $\sim 1.3 \mu\text{m}$,

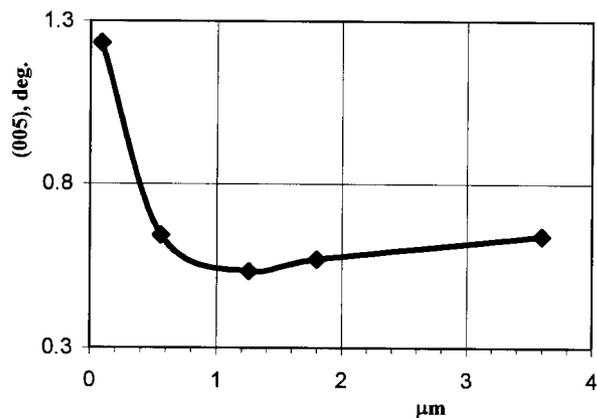


Рис. 1. FWHM пика $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (005) по кривой качания ($\Delta\omega$) в зависимости от толщины пленки.

говорит о росте кристаллического совершенства пленок. Дальнейшее уширение пика и соответствующее ухудшение структуры можно связать, по-видимому, с развитием рельефа поверхности пленок, что становится особенно заметным на больших толщинах (см. рис. 3).

На рис. 2 представлена зависимость c -параметра пленок, рассчитанная по пику (0011), от толщины в сравнении с данными для пленок, полученных при скоростях осаждения 3 и 10 $\text{\AA}/\text{min}$ [2,3]. Общая тенденция увеличения значения c -параметра с толщиной позволяет судить о содержании кислорода в пленке $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ и сделать вывод о том, что с точки зрения соответствия потоков Y, Ba и Cu потоку кислорода предпочтительными представляются условия, обеспечиваемые при скорости осаждения 10 $\text{\AA}/\text{min}$.

Морфология поверхности пленок исследовалась методом сканирующей электронной микроскопии. Представленные на рис. 3 фотографии иллюстрируют изменение поверхности пленки с ростом толщины: развитие рельефа — увеличение размера пор в пленке и доли площади пленки, занятой порами, при этом концентрация включений остается приблизительно неизменной. В наших предыдущих работах [2,3] было сделано предположение о том, что улучшение качества пленок с толщиной связано с образованием макродефектов — пор и диэлектрических

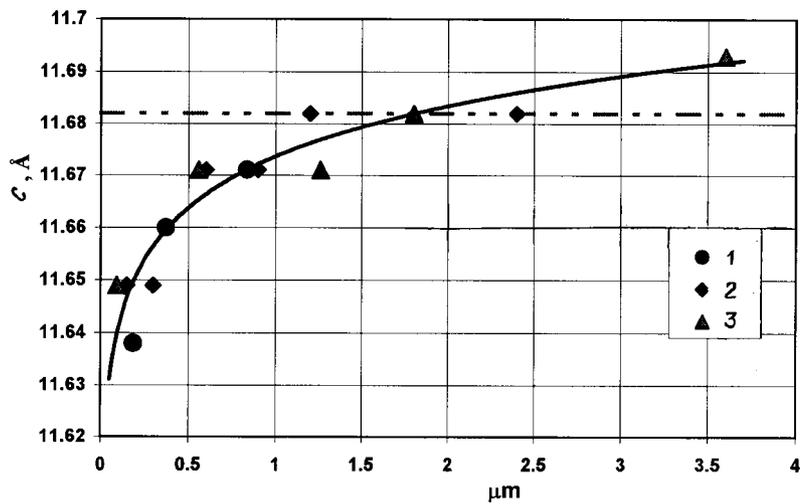


Рис. 2. Зависимость c -параметра от толщины пленки. Скорость осаждения: 1 — 3, 2 — 10, 3 — 15 $\text{\AA}/\text{min}$.

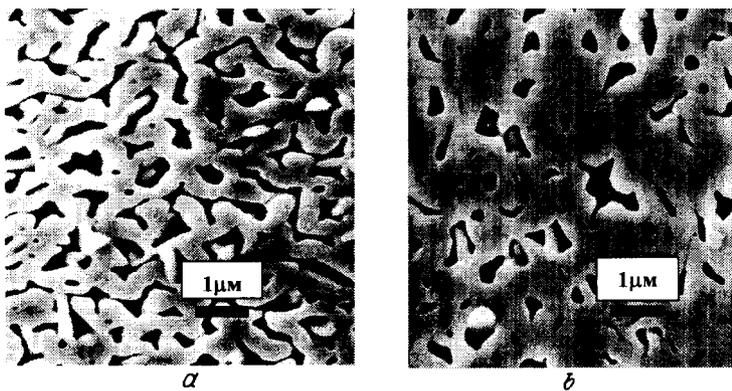


Рис. 3. Микрофотографии поверхности пленок разной толщины (a — образец толщиной 1.8 μm , b — образец толщиной 1.26 μm).

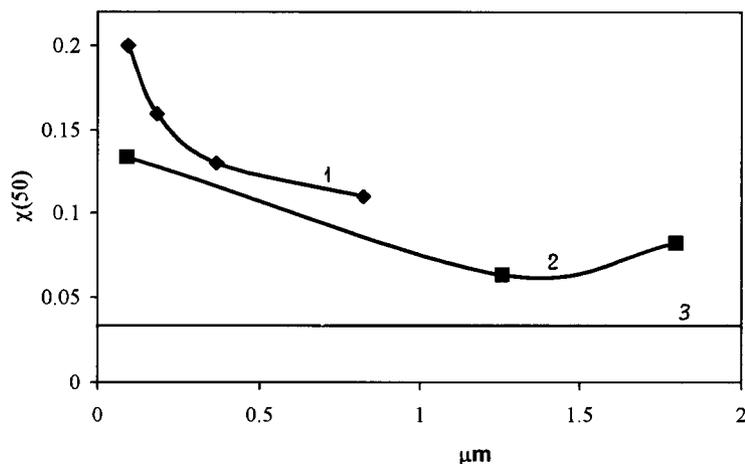


Рис. 4. Зависимость отношения случайного и каналированного сигналов RBS от толщины пленки. Скорость осаждения: 1 — 3, 2 — 15 Å/min; 3 — для монокристалла ~ 0.03 .

включений, которые могут играть роль стоков для дефектов и сверхстехиометричных атомов и улучшать электрофизические свойства [1]. Для образца толщиной $3.6 \mu\text{m}$ (рис. 3, *a*) можно сделать предположение, что наличие сильно развитого рельефа поверхности отрицательно влияет на структурное совершенство, то есть существует некоторая оптимальная концентрация макродефектов (см. соответствующие характеристики пленок на рис. 1 и 2), достигаемая на пленках толщиной порядка $1.5 \mu\text{m}$.

Поверхностный слой пленок исследовался методом резерфордовского обратного рассеяния [5], результаты приведены на рис. 4. Параметр χ , соответствующий отношению каналированного и случайного отраженных сигналов, тем больше, чем выше концентрация дефектов, межзеренных границ и разориентация решетки. Можно предположить, что диэлектрические включения оказывают влияние на отношение каналированного и случайного спектров пропорционально их концентрации и размеру. На рис. 4 приведены кривые, соответствующие зависимости параметра χ на глубине $\sim 50 \text{ nm}$ от толщины пленок, полученных

при скоростях осаждения 3 и 15 Å/min. В целом эти результаты могут служить подтверждением нашего предположения о взаимосвязи диэлектрических включений и структурных свойств пленок.

Заключение

В данной работе показана возможность получения пленок YBCO, толщина которых значительно превышает $3 \div 5\lambda_L$. Максимальная толщина пленок при удовлетворительном для СВЧ применений качестве составляет $\sim 2 \mu\text{m}$ при скорости роста 15 Å/min и времени напыления около 20 h. Достаточная для СВЧ применений толщина пленок составляет около $1 \mu\text{m}$ и, хотя такие пленки удовлетворительного качества были получены при всех исследованных режимах напыления (скорости осаждения от 3 до 15 Å/min), предпочтительным представляется режим, обеспечивающий преимущество в скорости напыления.

Работа была выполнена при поддержке BMBF/VDI проекта Nr. 029850 (Germany).

Авторы выражают благодарность И.Т. Серенкову и Р.Н. Ильину за помощь в проведении исследований и обсуждение результатов.

Список литературы

- [1] Tian Y.J., Guo L.P., Li L. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 65. N 2. P. 234–236.
- [2] Гольман Е.К., Гольдрин В.И., Плоткин Д.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. № 5. С. 39–43.
- [3] Hollmann E.K., Plotkin D.A., Razumov S.V. et al. // Physica C. 1998 (to be published).
- [4] Hollmann E.K., Zaitsev A.G., Loginov V.E. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1993. V. 26. P. 504–506.
- [5] Афросимов В.В., Гольман Е.К., Ильин Р.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1998. Т. 26. № 1. С. 91–95.