

05.4;12

©1995

ДЕГРАДАЦИЯ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ПРИ ПРОПУСКАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

М.В.Павловская, С.В.Разумов

Перспективы практического применения сверхпроводниковых устройств зависят не только от совершенствования технологии пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, но и от стабильности свойств готовых пленок. В качестве причин высокой склонности к деградации соединений $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ обычно называют следующие факторы [1]:

— высокая концентрация вакансий в кислородной подрешетке;

— высокий окислительный потенциал $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ фаз, связанный с присутствием в составе ионов Cu^{+3} ;

— наличие в составе соединений иона щелочно-земельного металла Ba^{+3} , индивидуальные гидроксиды и карбонаты которого имеют высокие значения энтальпий образования;

— метастабильность сверхпроводниковой орторомбической фазы в нормальных условиях.

Деградация может происходить при взаимодействии соединений $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с окружающей средой, это так называемая химическая деградация. Другим типом является деградация при внешних воздействиях: тепловых, электрических, радиационных, механических и т.д.

Как было показано в ряде работ [2-8], при длительном пропускании тока (токовые испытания) происходит деградация соединений $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Этот эффект наблюдается как при температурах выше T_c ($T > T_c$), так и при $T < T_c$. В резистивном состоянии деградация происходит вследствие эффекта электромиграции (ЭМ), который связан с накоплением и истощением материала вдоль проводников при электродиффузии. Экспериментальные исследования ЭМ проводились как для объемных [2], так и для пленочных образцов [3,4].

Отдельно можно выделить группу работ [5-8], где токовые испытания проводились при низких температурах 78 и 4.2 К при плотности тока существенно ниже критической. Исследования были выполнены для единичных образцов пленок большой площади. В указанных работах основные

повреждения, наблюдаемые в материале, связаны с локальными изменениями химического, фазового состава и миграцией ионов кислорода, меди, бария. Кроме того, известна работа [9], где деградации эпитаксиальных пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ после пропуска тока не наблюдалось.

Целью настоящей работы являлось исследование влияния пропуска тока высокой плотности при $T = 78$ К на электрофизические свойства пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$. Фиксировались следующие параметры: $\rho(300\text{ К})$, T_c , ΔT_c , I_c , для чего проводились измерения температурной зависимости сопротивления $R(T)$ в интервале температур 78–300 К стандартным четырехзондовым методом на постоянном токе. Измерение статических вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводилось на характеристикографе Л2-56А.

В работе использовались блочно-эпитаксиальные пленки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, полученные методом магнетронного распыления керамической мишени на подложку Al_2O_3 (r -срез) с подслоем SeO_2 . Толщина пленок составляла 0.1–0.2 мкм. По данным рентгеноструктурного анализа пленки имели c -ориентацию с параметром элементарной ячейки $c = 11.66(7)\text{ \AA}$. Температура перехода в сверхпроводящее состояние составляла 90–91 К; ширина перехода 0.5–1 К; плотность критического тока (по критерию 1 мкВ) более 10^6 А/см^2 .

Изготовление тестовых структур проводилось методом фотолитографии. Внешний вид структуры и размеры рабочих полосок показаны на рис. 1,а. На одной подложке формировалось два элемента. Каждый элемент имел несколько потенциальных выводов для контроля за изменением сопротивления вдоль полоски, что позволяет исследовать зависимость изменения свойств от расстояния. Контактные площадки из серебра наносились методом термического вакуумного испарения и дополнительно отжигались. Внешние проводники присоединялись сваркой. Исследования выполнены для пяти образцов.

Для проведения токовых испытаний образец крепился на медный держатель и погружался в жидкий азот. На образец и последовательно включенное с ним добавочное сопротивление ($R = 10\text{ Ом}$) подавалось переменное напряжение с частотой 100 Гц. Для получения однополярного тока в цепь включался диод. Значения падения напряжения на R и образце определялись по осциллографу. Увеличение напряжения, а следовательно, и тока через образец позволяло переключить пленку из S в N состояние.

В исходном состоянии при $T = 300\text{ К}$ сопротивления разных участков полоски 2-3 и 3-4 (см. рис. 1,а) равны. Температурные зависимости сопротивления и ВАХ, снятые на

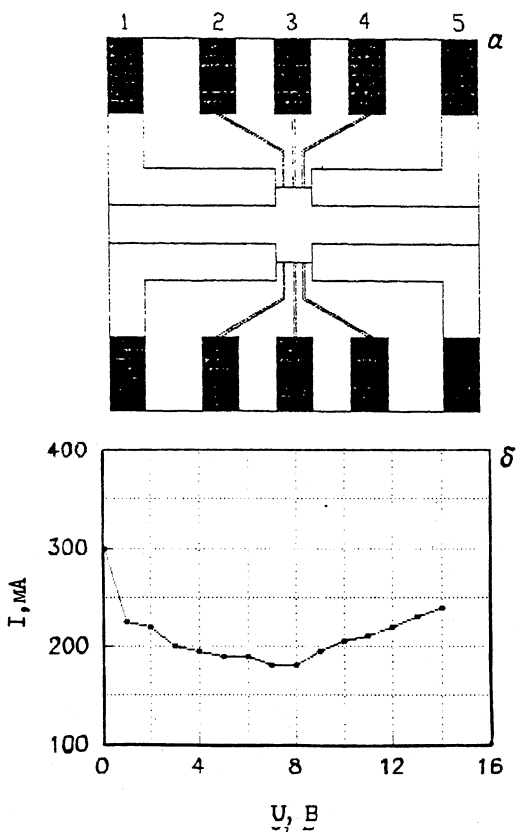
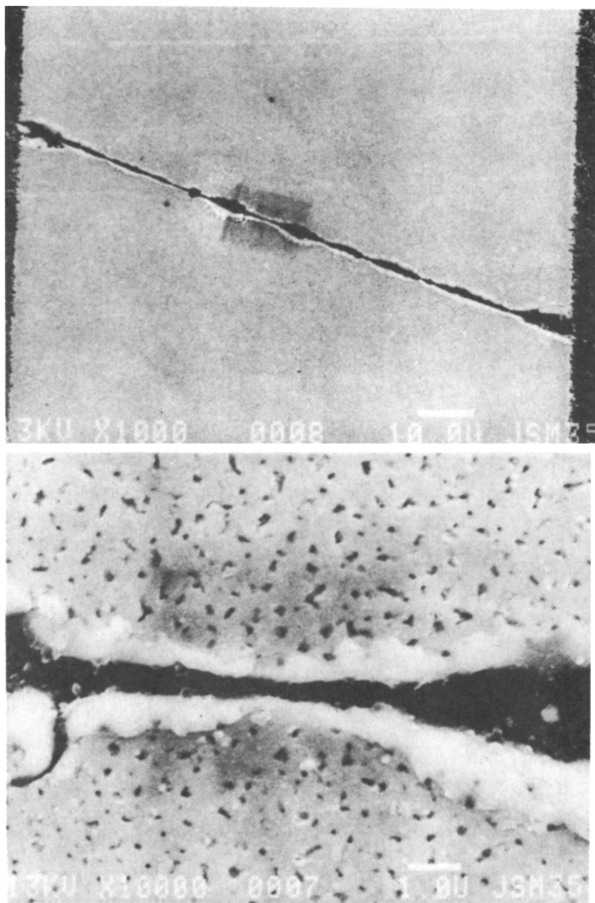


Рис. 1. Внешний вид структуры (а). Длина полоски составляет 1 мм, ширина — 50 мкм. При измерении сопротивления контактные площадки 1,5 являются токовыми, 2,3,4 — потенциальными. Типичная вольт-амперная характеристика (б).

этих участках, совпадают, что указывает на хорошую однородность пленок. Типичная ВАХ при $T = 78 \text{ K}$ показана на рис. 1,б. Величины плотности токов переключения лежат в интервале $(3-4) \cdot 10^6 \text{ A/cm}^2$.

Для трех образцов после испытаний в течение непродолжительного времени (менее 5 ч) наблюдалось явление растрескивания. Образование единичных трещин происходило либо на полоске, либо на отводах для измерения напряжения. При этом остальная часть элемента оставалась рабочей и ее свойства не изменялись. Типичная фотография такого повреждения-трещины показана на рис. 2,а,б. Для сравнения на рис. 2,в показан участок пленки с дефектами, возникшими в результате перегрева. Картина повреждений резко отлична от случая “линейного” разрыва, для которо-



а

б

Рис. 2. Фотографии повреждений пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, сделанные методом РЭМ.

го можно отметить следующие особенности: разрыв пленки происходит по всей толщине (до подложки); других повреждений материала $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ нет; отсутствуют и следы посторонних фаз. Причиной образования трещин такого типа служат линейные дефекты подложки, что наглядно иллюстрируется рис. 2,б. По-видимому, пленка $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ в месте дефекта подложки является слабым местом, по которому и происходит разрыв. Подобное явление наблюдалось и на пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, нанесенных на подложку MgO [10].

Два других образца выдержали длительные испытания. Величина пропускаемого тока составляла 0.75 тока пере-

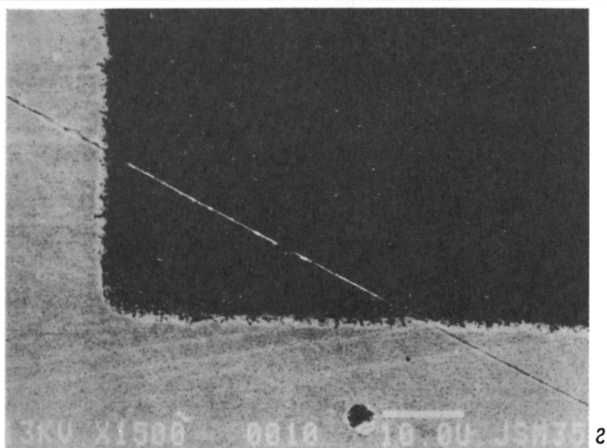
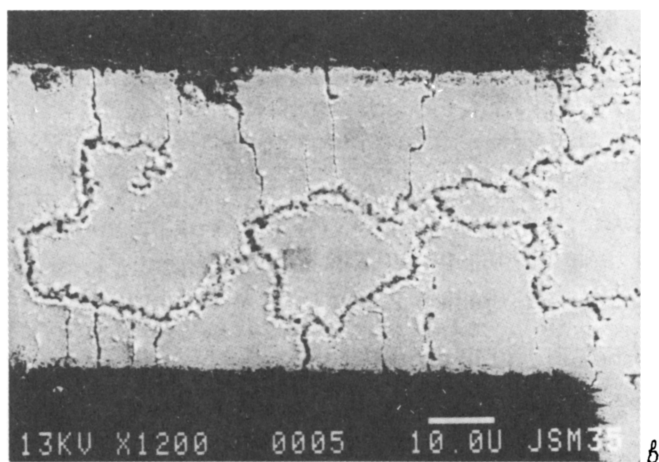


Рис. 2 (продолжение).

ключения. Суммарное время испытаний составило 100 ч, в среднем 10 циклов по 10 ч. Отогрев до комнатной температуры проводился сухим воздухом. Перед началом испытаний, после 50 и 100 ч проводился контроль параметров пленок. Контрольные измерения показали практически полное совпадение кривых $R(T)$ и ВАХ с исходными. Общее сопротивление полосок увеличилось на 3-5, и сохранилось равенство сопротивлений на участках 2-3 и 3-4. Эта стабильность свойств пленок отлична от данных, приведенных в работе [8], где представлена картина катастрофической деградации полосок после 40 ч испытаний (к сожалению, нечетко изложена методика проведения токовых испытаний).

В этой работе исследования проводились на образцах, которые имели размеры полосок и толщины пленок, подобные нашим. Таким образом, нами сообщается об относительно стабильной работе пленок ($T < T_c$) при пропускании тока высокой плотности, что согласуется с результатами работы [9]. Представленные экспериментальные результаты показывают, что одной из причин деградации пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ являются дефекты подложки. Планируется продолжение работы и исследование деградации пленок после пропускания тока различной величины.

Авторы благодарны профессору О.Г.Вендику за постоянное внимание к работе. Работа выполнена в рамках Государственной программы "ВТСП" (проекты № 93220 и № 94051). Авторы благодарят ONERA/CERT (Франция) за финансовую поддержку.

Список литературы

- [1] Еремينا Е.А., Олейников Н.Н., Нефедов В.И., Соколов А.Н. // Журнал Всесоюз. хим. общ. им. Д.И.Менделеева. 1989. Т. 34. № 4. С. 428-35.
- [2] Govinda Rajan K., Parameswaran P., Janaki J., Radhakrishnan T.S. // J. Phys. D.: Appl. Phys. 1990. V. 23. N 6. P. 694-697.
- [3] Moeckly B.N., Lathrop D.K., Buhraman R.A. // Phys. Rev. B. 1993. V. 47. N 1. P. 400-417.
- [4] Сумарков В.Н., Тарасенков В.А., Чистов А.Г. и др. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 9. С. 2081-2085.
- [5] Прохоров А.М., Гуфман Ю.М., Крапивка А.Е. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1990. Т. 51. В. 3. С. 132-134.
- [6] Михайлова Г.Н., Мухомтов В.М., Сеферов А.С. и др. // СФХТ. 1992. Т. 5. № 12. С. 2304-2309.
- [7] Головашкин А.И., Березин А.Б., Гуфман Ю.М. и др. // СФХТ. 1993. Т. 6. № 5. С. 1078-1087.
- [8] Satish Vitta, Stan M.A., Warner J.D., Alterovits S.A. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. N 7. P. 759-761.
- [9] Mogro-Campero A., Turner L.G., Peluso L.A. // Physica C. 1993. V. 214. N 1-2. P. 187-189.
- [10] Kabasawa U., Asano K., Iyory M. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1990. Pt 2. V. 29. N 3. P. 453-455.

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет

Поступило в Редакцию
5 мая 1995 г.