

05,4; 12

© 1992

СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУР В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ БЕЗ ДЕГРАДАЦИИ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ПЛЕНОКЕ.В. Ильичев, Ю.И. Коваль,
А.А. Иванов, А.П. Минушенков

Для успешного решения задач криоэлектроники необходимой является отработка технологии получения структур на основе ВТСП пленок с характерными размерами порядка одного микрометра и меньше без деградации их сверхпроводящих свойств. Для достижения желаемых результатов были опробованы несколько способов. Применение наиболее легкодоступной технологической схемы изготовления микроструктур – фотолитография – жидкостное химическое травление, в значительной степени затруднено из-за низкой разрешающей способности травления и деградации свойств пленок при контакте с агрессивной водной средой [1]. Авторы работы [2] показали возможность использования лазерного скрайбирования. Однако следует отметить, что как фотолитография, так и лазерное скрайбирование при переходе к размерам структур менее 1 мкм становятся практически непригодными. Травление остросфокусированным ионным пучком [3] обладает значительно большим потенциалом в плане разрешающей способности, однако в настоящее время метод является достаточно экзотическим из-за труднодоступности необходимого оборудования. С нашей точки зрения, технологически оправданными и перспективными для изготовления структур в ВТСП пленках являются достаточно широко распространенные методы микроструктурирования – электронно-лучевая литография и последующее ионное травление. Перспективность этих методов должна проявиться особенно сильно при переходе к субмикронным размерам структур. На наш взгляд, это связано в основном с двумя факторами: высокой разрешающей способностью и возможностью предотвратить деградацию пленок в процессе технологической обработки достаточно простым способом – пассивацией поверхности серебром.

В данной работе представлен технологический процесс формирования микромостика на основе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ пленки и его вольт-амперная характеристика (ВАХ). Эпитаксиальные тонкие пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ были синтезированы (*in situ*) методом импульсного лазерного напыления [4]. Синтез проводился в вакуумной камере, откачиваемой до остаточного давления воздуха ≈ 1 мм рт. ст. Мишень из спеченной керамической таблетки стехиометрического состава расплывалась излу-

чением эксимерного лазера KrF ($\lambda = 248$ нм, плотность энергии ≈ 3 Дж/см²). Распыляемое вещество осаждалось на нагретую до 750°C подложку $SrTiO_3$ (100) до образования пленки толщиной ≈ 2000 Å. По окончании напыления в вакуумную камеру подавался воздух до давления 1 атм, пленка в течение 1 ч охлаждалась до комнатной температуры. Для защиты пленки от воздействия агрессивной среды на ее поверхность был нанесен слой серебра толщиной ≈ 1000 Å [5]. Критическая температура пленки составляла 90 К с шириной перехода менее одного градуса. Критическая плотность тока в жидком азоте была порядка $10^5 - 10^6$ А/см².

Получение структур с размерами порядка одного микрометра в ВТСП пленках представляет собой сложную задачу. В основном это связано с двумя особенностями: во-первых, пленки имеют неровную поверхность, а высота неровностей соизмерима с толщиной пленок, во-вторых, пленки чувствительны к воздействию химически активных сред, при взаимодействии с которыми сверхпроводящие свойства могут ухудшаться вплоть до полной деградации. Неровная поверхность пленок ухудшает разрешение фото- и электроннолучевой литографии, особенно когда размеры получаемых структур и неровностей пленки становятся соизмеримыми (≤ 1 мкм). Подробное описание причин влияния рельефа поверхности на разрешение литографии можно найти в работе [6]. Кроме того, неровная поверхность предъявляет особые требования к анизотропии последующего травления при переносе изображения в пленку. Анизотропия должна быть достаточно высокой, чтобы при локальном перетраве края структуры оставались ровными.

В настоящей работе для того, чтобы избежать влияния рельефа ВТСП пленок при формировании на них структур были использованы система трехслойного резиста и ионно-лучевое травление (ИЛТ). Выбор ИЛТ обусловлен высокой анизотропией, присущей этому методу. При этом для переноса рисунка в ВТСП пленку необходимо иметь достаточно толстую маску, способную выдержать двух-, трехкратный перетрав. Трехслойный резист позволяет не только сгладить поверхность для возможности проведения высокоразрешающей литографии, но и дает достаточно толстую маску (равную толщине планаризирующего слоя).

В качестве планаризирующего слоя трехслойного резиста был использован фоторезист АЖ 1350J, задубленный при температуре 200°C в течении 40 мин. Толщина резиста составляла $\approx 1,5$ мкм. На планаризирующий слой термическим испарением наносился переходный слой Al толщиной 0,2 мкм, который сверху закрывался электронным резистом ЭПП-9 толщиной 0,8 мкм.

В растровом электронном микроскопе BS -300 с подсоединенной системой программного управления лучом была проведена электронно-лучевая литография. Перенос полученного в резисте рисунка в ВТСП пленку осуществлялся в установке ИЛТ, представляющей собой вакуумную камеру с подсоединенным к ней ионным источником типа Кауфмана. Весь процесс переноса изображения состоял

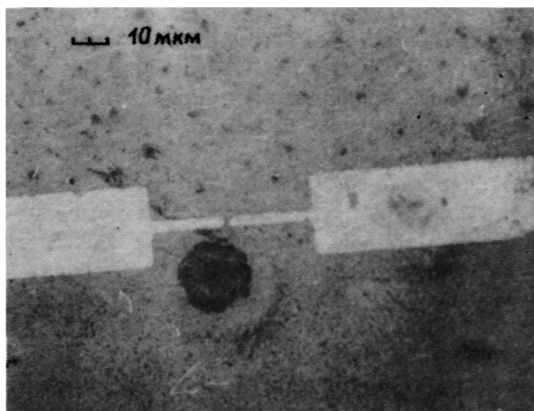


Рис. 1. Фотография микромостика в пленке $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, сформированная ионно-лучевым травлением.

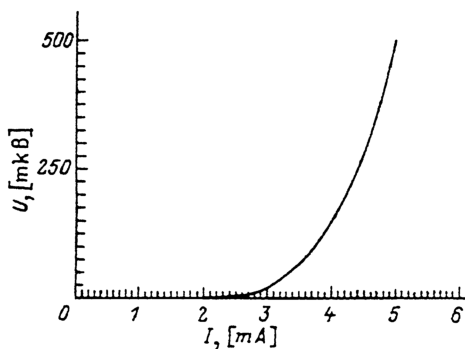


Рис. 2. Вольт-амперная характеристика микромостика в пленке $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, полученная при температуре жидкого азота.

из трех стадий. Первая стадия – травление переходного слоя Al ионами Ar^+ с энергией 1 кэВ. На второй стадии ионами кислорода с энергией 500 эВ рисунок переносился в планаризирующий слой. Маской служил переходный слой Al. На последней стадии, используя планаризирующий слой в качестве маски, ионами Ar^+ рисунок переносился в ВТСП пленку.

На рис. 1 представлена фотография изготовленного микромостика (длина 3 мкм, ширина 2 мкм). На фотографии отчетливо видно, что помимо микронеровностей, характерных для ВТСП пленок, на поверхности присутствует некоторое количество „крошек“, которые попадают на образец в процессе лазерного напыления. В частности, на фотографии справа от мостика такая „крошка“ перекрывает часть вытравленной области. На этапе травления ВТСП пленки ионами Ar^+ контроль за процессом осуществлялся с помощью измерения сопротивления образца. Мостик считался сформированным, когда сопротивление образца переставало расти. Это связано с тем, что маска из AZ 1350J защищала пленку, в то время как на незащищенных местах пленка уже отсутствовала.

На рис. 2 представлена ВАХ данного микромостика. Наилучшим способом данная характеристика аппроксимируется полиномом четвертого порядка, что соответствует результатам, полученным в [7]. Оценка критической плотности тока из ВАХ дает $j_c \approx 5 \times 10^5$ А/см² в жидком азоте, что практически соответствует плотности тока исходного образца.

Таким образом, используя стандартные технологические процессы для формирования микроструктур, была показана возможность изготовления микромостика в ВТСП пленке без деградации ее сверхпроводящих свойств.

В заключение мы хотели бы поблагодарить руководителя фирмы „Микрон“ Я.Б. Пояркова за предоставленные подложки $SrTiO_3$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Y o u r M.E., B a r m s R.L. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. № 7. P. 532.
- [2] Z h e n g J.P, at all. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. № 10. P. 1044.
- [3] H a r r i o t t L.R. at all. Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. № 5. P. 497.
- [4] I v a n o v A.A, G a l k i n S.G. et al. // Physica. 1991. С 180. P. 69–72.
- [5] П р о т а с о в Е.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 17. С. 86–90.
- [6] Плазменная технология в производстве СБИС/Под ред. Н. Айнспрука и Д. Брауна. М.: Мир, 1987, С. 94–138.
- [7] Г а п о н о в С.В. и др. // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. В. 3 С. 1086.

Поступило в Редакцию
3 июня 1992 г.