

- [1] В и н о к у р о в Г.Н. – Оптика и спектроскопия, 1971, т. 31, № 3, с. 472.
- [2] А н д р е е в В.С., Е г о р о в М.П., Т о р о п и н В.А. – Радиотехника и электроника, 1983, т. 28, № 11, с. 2286–2288.
- [3] Р о д и н а Л.П., Ш о ш и н С.А. – Изв. вузов, Радиоэлектроника, 1986, т. 29, № 1, с. 44–48.
- [4] А ф р а й м о в и ч В.С., Ш и л ь н и к о в Л.П. Методы качественной теории дифференциальных уравнений. Горький, 1983, с. 3–25.
- [5] А н и щ е н к о В.С. Стохастические колебания в радиофизических системах, Саратов: СГУ, 1985, ч. 1, 2.
- [6] А н и щ е н к о В.С. – ЖТФ, 1986, т. 56, в. 2, с. 225–237.
- [7] Б о ч а р о в Е.П., К о р о с т е л е в Г.Н., Х р и п у н о в М.В. – Радиотехника и электроника, 1985, 1985, т. 30, № 8, с. 1670–1672.
- [8] Ц а р а п к и н Д.П. Генераторы СВЧ на диодах Ганна, М.: Радио и связь, 1982. 112 с.
- [9] Ф о м и н Н.Н. Синхронизация диодных генераторов СВЧ, М.: Связь, 1974. 72 с.

Харьковский государственный
университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию
27 июля 1987 г.
В окончательной редакции
27 ноября 1987 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 10

26 мая 1988 г.

СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК
СИСТЕМЫ γ -Ва-См-О, ПОЛУЧЕННЫХ
МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Е.А. А н т о н о в а, В.Л. Р у з и н о в, С.Ю. С т а р к

Вскоре после открытия в 1986 г. высокотемпературной сверхпроводимости в окисных керамических системах [1] стало ясно, что одной из наиболее актуальных задач является создание покрытий и тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников, способных нести высокие плотности критического тока, отсутствующие в изготовленных по керамической технологии объемных образцах из-за наличия слабых связей между сверхпроводящими гранулами. Однако получение пленок и покрытий высокотемпературных сверхпроводников натолкнулось на ряд трудностей, из которых самой существенной оказалась необходимость отжига нанесенной пленки

в кислородной атмосфере для формирования сверхпроводящей фазы и достижения необходимой концентрации в ней кислорода.

К настоящему времени известно несколько работ, в которых пленки системы $Y-Ba-Cu-O$ получены методами вакуумного испарения, ионно-плазменного и лазерного распыления [2-4], при этом удовлетворительные сверхпроводящие параметры достигаются только в результате отжига напыленных пленок в кислородной атмосфере.

Целью настоящей работы являлось исследование электрофизических свойств и структуры пленок $Y_1Ba_2Cu_3O_z$, полученных магнетронным распылением на постоянном токе в едином технологическом цикле без разрыва вакуума и дополнительного отжига, в зависимости от кристаллической структуры и химического состава подложки.

Для напыления пленок был использован плоский магнетрон постоянного тока. Мишень, изготовленная из предварительно синтезированного и спрессованного порошка фазы $Y_1Ba_2Cu_3O_z$, распылялась в смеси аргона и кислорода при рабочем давлении $5 \cdot 10^{-3} - 10^{-1}$ мм. рт. ст. со скоростями осаждения 0.5-1 нм/с. Исследования проводили на пленках толщиной 150-200 нм. Температурные зависимости электросопротивления измеряли четырехзондовым методом на автоматизированной установке на базе микро-ЭВМ „Искра-226“. Температуру определяли по германиевому термометру с точностью не хуже 0.5 К в диапазоне от 4.2 до 100 К. Структурные исследования на дифрактометре ДРОН-3 показали, что пленки толщиной 1 мкм состоят в основном из фазы $Y_1Ba_2Cu_3O_z$. Изучение структуры пленок толщиной 150-200 нм было проведено на электронографе ЭГ-100 М.

Для исследования зависимости электрофизических и структурных свойств пленок от материала подложки были использованы монокристаллический чистый и окисленный кремний, поли- и монокристаллическая окись алюминия (поликор, сапфир), поли- и монокристаллический титанат стронция ($SrTiO_3$), монокристаллический ZrO_2 , стабилизированный иттрием. Как и следовало ожидать, исходя из различий в кристаллической структуре, составе, теплопроводности и коэффициенте температурного расширения используемых подложек, не только режимы получения, но и свойства пленок существенно различны. Режимы распыления мишени и получения пленок выбирали, исходя из задачи достижения максимальной температуры перехода в сверхпроводящее состояние T_c и минимальной ширины перехода ΔT_c .

Пленки, напыленные на чистые и окисленные монокристаллические кремниевые подложки не оказывались сверхпроводящими ни при каких условиях приготовления, имели большое электросопротивление $R_{D300} > 2$ кОм (где R_{D300} сопротивление квадрата пленки при 300 К), и ярко выраженный полупроводниковый характер температурной зависимости электросопротивления.

Электросопротивление пленок, выращенных на подложках из окиси алюминия (поликор, сапфир), удавалось варьировать в широких пределах в зависимости от условий приготовления. Для пленок с

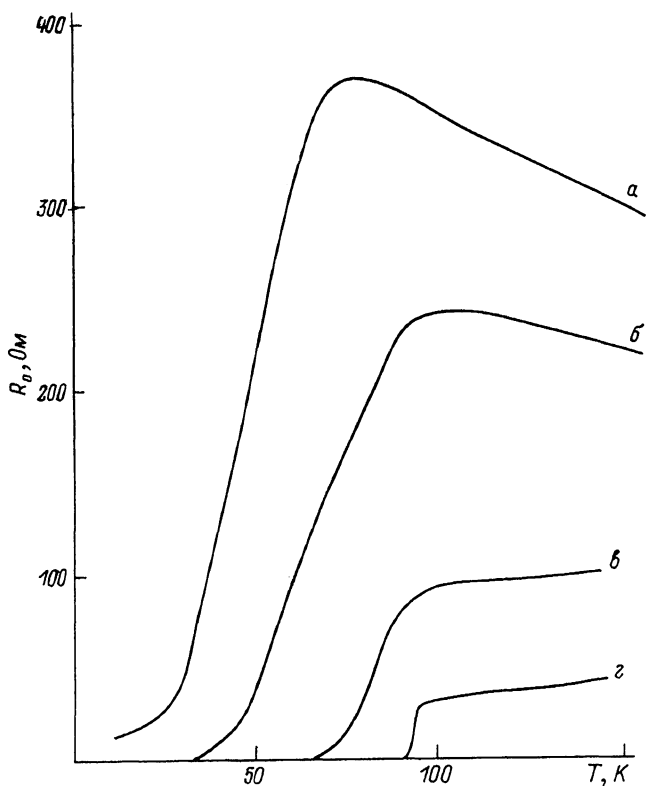


Рис. 1. Температурные зависимости электросопротивления пленок системы $Y-Ba-Cu-O$.

$R_{D300} > 200$ Ом всегда наблюдалась полупроводниковая температурная зависимость электросопротивления, причем пленки с большим отношением $R_{100}/R_{300} > 3-4$ (R_{100}/R_{300} - отношение электросопротивлений пленки при 100 и 300 К) не переходили в сверхпроводящее состояние вплоть до 4.2 К (рис. 1, кривые а и б). Лучшие пленки на подложках из окиси алюминия имели металлический характер зависимости $R(T)$, $R_{D300} \approx 50$ Ом, $R_{100}/R_{300} \approx 0.7$ и переходили в сверхпроводящее состояние при 70–75 К с началом перехода при 88–92 К (рис. 1, кривая в). Критическая плотность тока таких пленок при $T=4.2$ К составляет 10^4 А/см². Значимых отличий в свойствах пленок, выращенных на моно- и поликристаллическом Al_2O_3 , не обнаружено.

Пленки с наивысшими сверхпроводящими свойствами были получены на подложках из монокристаллических $SrTiO_3$ и ZrO_2 . Ширина перехода в сверхпроводящее состояние таких пленок состав-

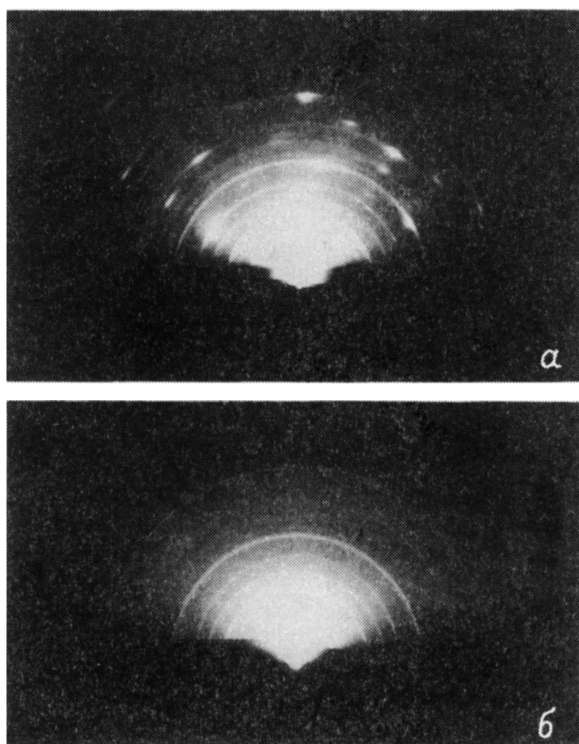


Рис. 2. Электронограммы пленок $Y_1Ba_2Cu_3O_z$ на подложках из поликора (а) и $SrTiO_3$ (б).

ляла 2–4 К с началом 88–90 К, $R_{0300} = 20\text{--}50$ Ом, зависимость электросопротивления имела ярко выраженный металлический характер $R_{100}/R_{300} = 0.4\text{--}0.5$ (рис. 1, кривая г). Плотность критического тока пленок на монокристаллическом $SrTiO_3$ при $T=77$ К составляла $4 \cdot 10^4$ А/см², а при 4.2 К – $2 \cdot 10^6$ А/см². Для выявления причин высоких критических параметров пленок на монокристаллических подложках $SrTiO_3$ были приготовлены пленки на подложках из поликристаллического титаната стронция. Свойства этих пленок практически не отличались от свойств пленок на подложках из Al_2O_3 , что свидетельствует об определяющем влиянии микроструктуры подложки на сверхпроводящие параметры пленок.

Сильная зависимость сверхпроводящих свойств пленок от типа подложки связана, очевидно, с условиями их роста, которые в первую очередь определяются параметрами решетки и микроструктурой

подложки. Электронограммы пленок, полученные на окиси алюминия (рис. 2, а) и на монокристаллическом $SrTiO_3$ (рис. 2, б) имеют существенные отличия. Видно, что у пленок на подложке из Al_2O_3 не наблюдается преимущественной ориентации, в то время как на электронограмме пленки на подложке из $SrTiO_3$ видны максимумы интенсивности, которые обычно связывают с текстурой. Следует отметить, что изменение технологических параметров приготовления пленок на подложках из $SrTiO_3$ также может приводить к размытию максимумов, что сопровождается снижением T_c , увеличением ширины перехода ΔT_c , а также заметным снижением плотности критического тока. Обнаруженная корреляция сверхпроводящих свойств со структурой пленок $Y_1Ba_2Cu_3O_z$ на различных подложках, по-видимому, может быть связана с эпитаксиальным ростом части зерен сверхпроводящей фазы на монокристаллических подложках.

Следует отметить, что предложенный метод позволяет получать сверхпроводящие пленки других соединений типа $L_1Ba_2Cu_3O_z$ (где L – редкоземельный элемент). На монокристаллической подложке $SrTiO_3$ были получены пленки $Eu_1Ba_2Cu_3O_z$ с нулевым сопротивлением при 83–84 К.

Таким образом, использование метода магнетронного распыления на постоянном токе позволяет без разрыва вакуума получать сверхпроводящие пленки $Y_1Ba_2Cu_3O_z$ с высокими критическими параметрами. Существенное влияние на структуру и свойства пленок оказывает материал и структура подложки, причем лучшие сверхпроводящие свойства имеют пленки, напыленные на монокристаллические подложки $SrTiO_3$ и ZrO_2 и обладающие выраженной текстурой.

Авторы благодарят Н.М. Котова за приготовление мишеней.

Л и т е р а т у р а

- [1] B e d n o r z I.G., M u l l e r K.A. – Z. Phys. B, 1986, v. 64.
- [2] O h B., N a i t o M., A r n a s o n S., R o s e n t a l P., B a r t o n R., B e a s l e y M.R., G e b a l l e T.H., H a m m o n ' d R.H., K a p i t u l n i k A. – Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 11, p. 852–854.
- [3] H o n g M., L i o u S.H., K w o J., D a v i d s o n B.A. – Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 9, p. 694–696.
- [4] I n a m A r u n, W u X.D., V e n k a t e s a n I., O g a l e S.B., C h a n g C.C., D i j k k a m p D. – Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 14, p. 1112–111.