

05.4;12

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ РОСТА ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ НА САПФИРЕ С ПОДСЛОЕМ ОКСИДА ЦЕРИЯ

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

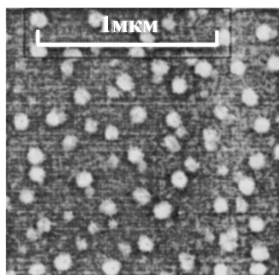
Проведены экспериментальные исследования начальных стадий роста пленок $YBCO$, получаемых методом магнетронного распыления на постоянном токе на подложках Al_2O_3 [1102] с подслоем CeO_2 . На поверхности подложек обнаружены островки фаз $YBa_2Cu_4O_8$ и CuO . Их концентрация изменяется в течение первых секунд напыления немонотонно в пределах 10^7-10^9 см⁻², средний размер островков меняется в пределах 300–500 Å.

Использование пленок ВТСП, в частности $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, в прикладных целях требует улучшения их электрофизических свойств, которые напрямую зависят от их структуры и фазового состава. По существующим представлениям структура и состав пленок во многом определяются процессами, происходящими на начальных этапах роста [1].

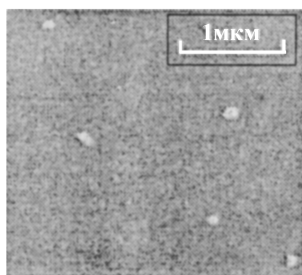
Во многих работах, посвященных изучению роста пленок $YBCO$, осаждаемых лазерным испарением и магнетронным напылением на различные подложки ($SrTiO_3$, $LaAlO_3$, $NdGaO_3$, YSZ , MgO), авторы отмечают, что наряду с основной сверхпроводящей фазой на начальных стадиях роста на поверхности подложки обнаруживаются островки посторонних (вторичных) фаз, представляющих собой диэлектрические оксиды в системе $Y-Ba-Cu-O$ [2,3]. Рост и эволюция островков связаны с ростом фазы (123) и влияют на структурное совершенство [2] и электрофизические параметры пленки [4].

Целью данной работы было изучение процессов, происходящих на поверхности подложки на начальных стадиях роста пленок $YBCO$.

Исследуемые образцы были получены в планарной магнетронной системе постоянного тока на подложках Al_2O_3 [1102] с подслоем CeO_2 [5] в атмосфере чистого кислорода при давлении 133 Па. Температура подложки поддерживалась около 650°C. Время напыления образцов варьировалось от 15 до 370 с. Пленки, напыленные в таком же режиме в течение 8 ч (толщина 3000 Å), показали удовлетворительные электрофизические характеристики: $T_c = 91$ К, $\Delta T_c = 0.5$ К, $J_c = 4 \cdot 10^6$ А/см². Скорость осаждения со-



а



б

ставляла $1.2 \text{ \AA}/\text{мин}$. Морфология поверхности полученных образцов исследовалась методом растровой электронной микроскопии с помощью электронного микроскопа JSM-35. Типичные фотографии приведены на рис. 1. Для определения концентрации и размеров объектов проводилась компьютерная обработка изображений поверхности. Фазовый состав островков изучался методом просвечивающей электронной микроскопии в режиме микродифракции.

На электронно-микроскопических изображениях поверхности хорошо видны островки размером $300\text{--}500 \text{ \AA}$ и концентрацией до 10^9 см^{-2} . Концентрация и размеры островков имеют тот же порядок величины, что и у наблюдавшихся в [2,3]. Анализ фазового состава островков показал присутствие в них двух фаз: $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ и CuO . Обе фазы определяются избыточным относительно сверхпроводящей фазы (123) количеством CuO -групп.

Время напыления, с	15	40	65	165	240	370
Концентрация включений, см^{-2}	$3.5 \cdot 10^9$	$2.4 \cdot 10^9$	$4.5 \cdot 10^7$	$3.4 \cdot 10^8$	$3.9 \cdot 10^8$	$4.6 \cdot 10^8$
Заполнение поверхности, %	9.7	10.1	0.18	0.86	0.79	2.7

Обнаружено, что в течение первых ~ 200 с напыления концентрация островков немонотонным образом изменяется в диапазоне $< 10^7\text{--}10^9 \text{ см}^{-2}$, а затем при дальнейшем напылении остается на уровне $3\text{--}5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ (см. таблицу и рисунок, а и б). Распределение островков по размерам при этом существенно не меняется. Необходимо отметить, что эффект наличия экстремумов в зависимости концентрации островков от времени напыления и последующий выход концентра-

ции на уровень насыщения не являются следствием случайной дефектности подложки, так как этот эффект устойчиво повторялся при напылении в тех же условиях на различных подложках. Колебания концентрации островков в процессе напыления наблюдались также и при более высокой скорости осаждения, однако концентрация островков менялась в меньших пределах. Кроме того, концентрация насыщения (время осаждения >200 с) близка к наблюдаемой концентрации включений на сформировавшихся (3000 \AA) пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.

Таким образом, на начальной стадии роста пленок YBCO на поверхности подложек ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CeO}_2$) образуются островки фаз $\text{YBa}_2\text{Cu}_4\text{O}_8$ и CuO . Их концентрация в течение первых ~ 200 с напыления изменяется в пределах от 10^7 до 10^9 см^{-2} , а затем остается на уровне $5 \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$. В работах [4,6] отмечается, что включения диэлектрической фазы могут служить центрами пиннинга магнитного потока, повышая электрофизические параметры пленки. Как стоки дефектов и нестехиометричных атомов они могут улучшать и структурные характеристики пленки. Управление концентрацией посторонних включений позволит улучшить свойства YBCO пленок.

Список литературы

- [1] *Технология тонких пленок: Справочник. Т. 2* / Ред. Л. Майссел, Р. Глэнг. М.: Сов радио, 1977. 768 с.
- [2] *Gong J.P., Kawasaki M., Fujito K. et al. // Phys. Rev. B. 1994. V. 50. N 5. P. 3280-3287.*
- [3] *Han Z., Selinder T.I., Helmersson U. // J. Appl. Phys. 1994. V. 75. N 4. P. 2020-2025.*
- [4] *Tian Y.J., Guo L.P., Li L. et al. // Appl. Phys. Lett. 1994. V. 65. N 2. P. 234-236.*
- [5] *Hollmann E.K., Zaitsev A.G., Loginov V.E. et al. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1993. V. 26. P. 504-505.*
- [6] *Ramesh R., Inam A., Hwang D.M. et al. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58. N 14. P. 1557-1559.*

Санкт-Петербургский
электротехнический
университет

Поступило в Редакцию
30 сентября 1996 г.