

05.4;07;09

©1995

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ
ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ С РАЗНЫМ СВЧ
ПОВЕРХНОСТНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ
МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ
ДИФРАКТОМЕТРИИ В ПЛОСКОСТЯХ,
НЕПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ ОСИ c

*О.Г.Вендик, Е.К.Гольман, А.Г.Зайцев,
П.К.Петров, С.В.Разумов*

В последнее время в ряде публикаций сообщается об исследованиях, направленных на нахождение зависимости между микроструктурой пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) и их свойств как на постоянном токе [1,2], так и в СВЧ диапазоне [3].

Пленки YBCO, исследуемые в данной работе, были получены из мишени стехиотерического состава (диаметр 76 мм) в параллельной магнетронной системе на постоянном токе в среде чистого кислорода. Пленки с одинаково хорошими критическими параметрами на постоянном токе (критическая температура $T_c = 89-91$ К, критическая плотность тока $j_c = (1-3) \cdot 10^6$ А/см² при 77 К) и разным СВЧ поверхностным сопротивлением $R_{пов}$ были получены на подложках (001) $LaAlO_3$ размером 1×1 см при технологических режимах, выбранных случайно в следующих диапазонах: ток разряда 150–300 мА, давление рабочего газа 0.5–2 Тор, температура подложки $T_{подл} = 665$ °С.

Полученные пленки YBCO имели хорошо ориентированную орторомбическую структуру с осью c , перпендикулярной к поверхности подложки. Толщина, измеренная оптическим интерферометром, составляла около 3000 Å. Параметр c , измеренный для этих пленок, был 11.67 Å, что является стандартным для высококачественных пленок YBCO.

СВЧ поверхностное сопротивление образцов измерялось при температуре 77 К на 60 ГГц в цилиндрическом медном резонаторе [4]. Нужно отметить, что данный метод измерения не позволяет измерить поверхностное сопротивление ниже, чем $R_{пов}$ меди (≈ 50 мОм при 77 К).

Рентгеновские дифрактограммы снимались дифрактометром "Geigerflex" серии $D/\max - Rc$ Rigaku. Съёмка проводилась на $Cu K_\alpha$ ($\lambda = 1.5418$ Å) излучение с монохроматором.

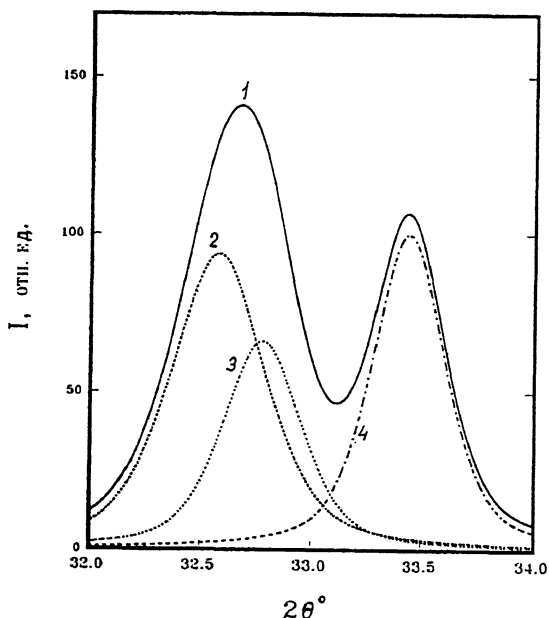


Рис. 1. Кривые качания для образца № 160 ($R_{\text{пов}} < 0.05 \text{ Ом}$):
 1 — экспериментальная кривая, 2 — кривая, рассчитанная для пика (013) YBCO, 3 — кривая, рассчитанная для пика (110) YBCO, 4 — кривая, рассчитанная для пика (110) LaAlO₃.

Исследования микроструктуры пленок YBCO методом рентгеновской дифрактометрии в плоскости (00l) показали наличие зависимостей между параметрами рефлексов, наблюдаемых на рентгенограмме при $\theta-2\theta$ — сканировании (положение максимума пиков, их форма, интегральная интенсивность и т.д.) и электрическими свойствами пленок на постоянном токе (T_c, j_c) [1,3]. В [2] было также отмечено, что имеется зависимость между отношением интегральных интенсивностей (00l)/(005) и насыщенностью структуры кислородом. Однако зависимость между величинами параметров рефлексов (измеренных в направлении оси c) и СВЧ поверхностным сопротивлением не найдена [3].

Поэтому в данной работе измерения проводились в плоскостях с индексами (0kl) и (hkl) (т.е. в плоскостях, перпендикулярных оси c).

Кривую качания снимали в диапазоне (32–34) 2θ градуса. В этом диапазоне должны наблюдаться два пика для пленки YBCO ((013) и (110)) [5] и пик (110) для подложки LaAlO₃. Экспериментально полученная кривая (рис. 1, сплошная линия), была подвергнута компьютерной обработке по стан-

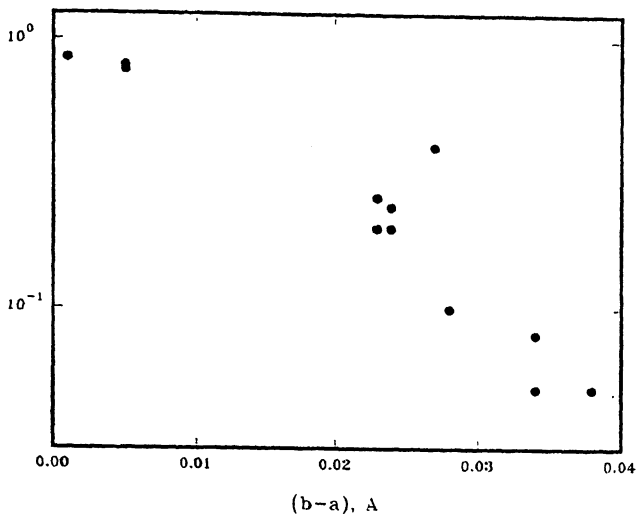


Рис. 2. Зависимость между СВЧ поверхностным сопротивлением $R_{\text{пов}}$ и степенью орторомбичности YBCO пленок.

дартному алгоритму. Данный алгоритм базируется на методике Хинделеха и Джонсона, подробно описанной в [6], где форма пиков описывается по следующей формуле:

$$F(\theta) = f A_t \exp \left[-\ln 2 \left[2(\theta - \theta_t) / W_t \right]^2 \right] + (1-f) \frac{A_t}{1 + \left[2(\theta - \theta_t) / W_t \right]^2}, \quad (1)$$

где $F(\theta)$ — форма пика, f — коэффициент Гаусса [1] этого пика, A_t — интенсивность пика, θ_t — положение максимума этого пика, W_t — полная ширина пика на половине его максимума интенсивности.

В предыдущих экспериментах зависимость между коэффициентом Гаусса для пика (005) и СВЧ поверхностным сопротивлением $R_{\text{пов}}$ исследуемых пленок не наблюдалась. Учитывая это, для уменьшения времени компьютерной обработки коэффициент Гаусса в расчетах формы кривых был принят равным 0.5. Полученные кривые были откалиброваны по интенсивности и положению максимума пика (110) LaAlO_3 . По полученным положениям максимумов калиброванных кривых, применяя формулу Вульфа-Брэгга, находили величины межплоскостных расстояний $d_{(013)}$ и $d_{(110)}$. Затем были рассчитаны величины параметров b и a кристаллической решетки пленок YBCO по формуле,

$$\frac{b^2}{d^2} = \frac{b^2}{d^2} h^2 + k^2 + \frac{b^2}{d^2} l^2, \quad (2)$$

| Образец | 160 | 154 | 159 | 163 | 162 | 161 | 158 | 152 |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| $R_{\text{пов}}, \text{ Ом}$ | | | | | | | | |
| 60 ГГц, 77 К | < 0.05 | 0.05-0.08 | 0.10 | 0.20-0.24 | 0.24-0.26 | 0.40 | 0.77-0.80 | 0.85 |
| $d_{(013)}, \text{ \AA}$ | 2.748 | 2.746 | 2.741 | 2.741 | 2.738 | 2.746 | 2.744 | 2.743 |
| $d_{(110)}, \text{ \AA}$ | 2.732 | 2.728 | 2.720 | 2.723 | 2.719 | 2.731 | 2.736 | 2.736 |
| $c, \text{ \AA}$ | 11.668 ⁽⁹⁾ | 11.676 ⁽⁶⁾ | 11.676 ⁽⁶⁾ | 11.669 ⁽⁹⁾ | 11.663 ⁽⁶⁾ | 11.672 ⁽⁷⁾ | 11.669 ⁽¹⁾ | 11.666 ⁽²⁾ |
| $b, \text{ \AA}$ | 3.883 | 3.875 | 3.861 | 3.863 | 3.857 | 3.876 | 3.872 | 3.870 |
| $a, \text{ \AA}$ | 3.845 | 3.841 | 3.833 | 3.839 | 3.834 | 3.849 | 3.867 | 3.869 |
| $\Delta = b-a, \text{ \AA}$ | 0.038 | 0.034 | 0.028 | 0.024 | 0.023 | 0.027 | 0.005 | 0.001 |

где a , b и c — параметры кристаллической решетки пленок YBCO, h , k и l — индексы Миллера, d — межплоскостное расстояние.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Как видно из таблицы, корреляция между параметрами кристаллической решетки ($d_{(013)}$, $d_{(110)}$, c , b и a) и поверхностным сопротивлением пленок YBCO не наблюдается. Однако прослеживается тенденция уменьшения $R_{\text{пов}}$ с ростом разности величины параметров b и a кристаллической решетки, что видно на рис. 2.

Таким образом, найдена зависимость между СВЧ поверхностным сопротивлением и степенью орторомбичности YBCO пленок.

Авторы приносят благодарность М.А.Яговкиной за проведение рентгеновских исследований и помощь в интерпретации полученных результатов.

Список литературы

- [1] *Hollmann E.K., Petrov P.K., Rauser D.G., Razumov S.V., Vendik O.G., Zaitsev A.G.* // Proc. of Forth International Conference on Electron Beam Technologies. Varna, World Scientific, 1994. P. 279–283.
- [2] *Ye J., Nakamura K.* // Phys. Rev. B. 1993. V. 48. P. 7554.
- [3] *Humphrey R.* // Third Symposium on High Temperature Superconductors in High Frequency Fields. Cologne, 1994.
- [4] *Гайдуков М.М., Клименко В.Л., Козырев А.Б., Солдатенков О.И.* // СЭФТ. 1993. Т. 6. С. 336.
- [5] *Takayama-Muramachi E., Ushida Y., Matsui Y., Kato K.* // Jap. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. N 5. P. 619–620.
- [6] *Hindeleh A.M., Johnson D.J.* // J. Phys. D: Appl. Phys. 1971. V. 4. P. 259.

Поступило в Редакцию
7 декабря 1994 г.
