

УДК 538.945

С.В.Барышев (асп., ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН), А.В.Бобыль, д.ф.-м.н., проф.,  
Ю.Н.Ноздрин, д.ф.-м.н., ИФМ РАН, Е.Е.Пестов, асп., ИФМ РАН,  
Д.А.Саксеев, м.н.с., ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН

### НЕЛИНЕЙНЫЙ СВЧ ОТКЛИК ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_x$

ABSTRACT: This work is devoted to the local measurements of nonlinear microwave response by near - field microwave microscopy with spatial resolve as high as 50  $\mu\text{m}$  in  $YBCO$  films. Also local investigations of  $YBCO$  microbridges by low-temperature scanning electron microscopy (LTSEM) with spatial resolution of 4–5  $\mu\text{m}$  were made. It was revealed that half-width of third harmonic peaks and EBIV (electron beam induced voltage) curves correlate with average grain size. It is demonstrated that one of the main mechanisms affecting the widening of the third harmonic and EBIV signals is fluctuation of microstress in grain interior. The possibility of sufficient narrowing of the temperature range of high microwave losses with increasing average grain size was demonstrated.

Методами рентгеновского дифракционного анализа, ближнепольной СВЧ микроскопии и низкотемпературной сканирующей микроскопии (НСМ) были исследованы 10 высококачественных пленок  $YBa_2Cu_3O_x$ , имевших толщину 0,8 мкм.

При помощи рентгеновского анализа были определены области когерентного рассеяния (ОКР), значения параметра решетки  $c$  и величины флуктуаций микронапряжений  $\langle \varepsilon \rangle$  для каждого из образцов. Температурные зависимости сигналов третьей гармоники и полуширины пиков этих сигналов  $W_{TH}$  были получены из данных по ближнепольной СВЧ-микроскопии с пространственным разрешением порядка 50 мкм [1]. Измерения по НСМ [2] позволили определить следующие параметры пленок: полуширины EBIV сигналов – температурных зависимостей сопротивлений локальных фрагментов пленок (4 - 5 мкм); функции распределения фрагментов пленок по  $T_C - F(T_C)$ , функции распределения гранул по  $T_C - f(T_C)$ . Исходя из приближения эффективной среды при помощи функций  $F(T_C)$  и  $f(T_C)$  были построены функции распределения фрагментов по  $T_C - S(T_C)$  на масштабах измерения сигналов третьей гармоники и найдены их полуширины  $W_{EBIV}$ .

На рис. 1 показаны зависимости полуширин пиков сигналов третьей гармоники и EBIV от среднего размера гранулы  $a$ , за величину которой принимались значения ОКР для каждого конкретного образца. Видно, что полуширины сигналов, полученные независимыми методиками, уменьшаются с увеличением среднего размера гранулы.

Экспериментальные зависимости  $W_{TH}(a)$  и  $W_{EBIV}(a)$  хорошо аппроксимируются степенным законом  $W \sim 1/a^n$ . Причем, в случае нелинейного СВЧ отклика показатель степени равен  $n = 2.03$ , а в случае EBIV – сигнала он равен  $n = 1.53$ . Экспериментальные данные можно трактовать в рамках модели статистической независимости гранул по критической температуре. В этом случае величина среднеквадратичной флуктуации критической температуры системы гранул  $\langle \Delta T_C^2 \rangle$  (в нашем случае это  $W_{TH}$  или  $W_{EBIV}$ ) должна расти пропорционально числу зерен в образце  $N_G$  [3]. В трехмерном случае  $W_{TH}$  и  $W_{EBIV} \sim 1/a^{3/2}$ , т.к.  $N_G \sim 1/a^3$ .

Подтверждением нашей гипотезы о разбросе критической температуры гранул является зависимость полуширины пика сигнала третьей гармоники и EBIV – сигнала от величины

флуктуации микронапряжений  $\langle \varepsilon \rangle = \sqrt{\langle (\frac{\delta c}{c})^2 \rangle}$  в объеме гранулы (рис. 2).

Таким образом, из экспериментальной зависимости  $W_{TH}(a)$  (рис. 1) следует, что увеличение размера гранулы в 3 раза приводит к уменьшению ширины пика нелинейности на порядок величины, что, тем самым, приводит к уменьшению СВЧ потерь в области низких температур ( $\sim 77$  К) и увеличивает температурный диапазон применения ВТСП пленок.

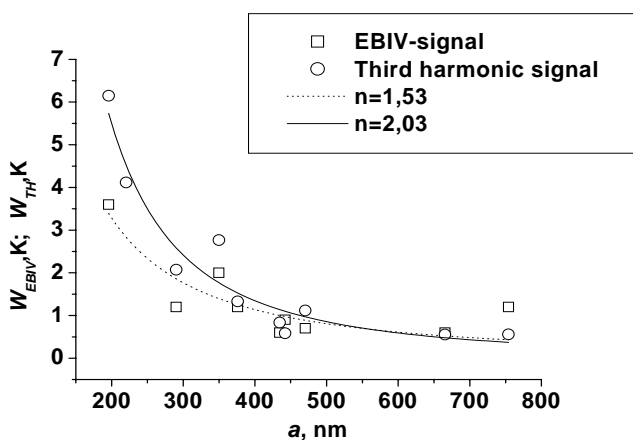


Рис. 1. Зависимость полуширины пика температурной зависимости сигнала третьей гармоники  $W_{TH}$  и полуширины функции  $S(T_C) - W_{EBIV}$  от среднего размера гранулы  $a$ .

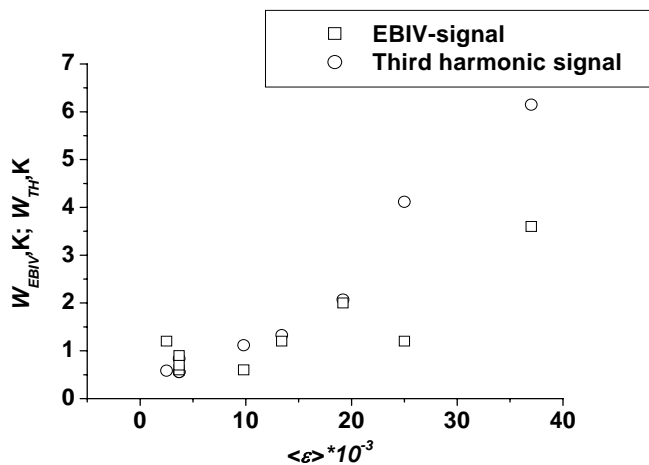


Рис. 2. Зависимость полуширины пика температурной зависимости третьей гармоники  $W_{TH}$  и EBIV-сигнала  $W_{EBIV}$  от флуктуации микронапряжений.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. E.E.Pestov, V.V.Kurin, Yu.N.Nozdryn, IEEE Trans. on Appl. Supercond. 11, 131 (2001).
2. M.E.Gaevski, A.V.Bobyl, S.G.Konnikov, D.V.Shantsev, V.A.Solov'ev, R.A.Suris, Scanning Microsc. 10, 679 (1996).
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лившиц, Статистическая физика, том 5, стр. 22, Москва (1988).