

- [8] Смирнов А.П. // Оптика и спектроскопия. 1987. Т. 62, В. 3. С. 636-643.
- [9] Епишин В.А., Неофитный М.В. // Оптико-механическая промышленность. 1989. № 4. С. 4-5.

Харьковский государственный  
университет им. А.М. Горького

Поступило в Редакцию  
25 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 18

26 сентября 1990 г.

05.4; 12

© 1990

### НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ШУМ ТОЛСТЫХ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ СЛОЕВ

В. П а л е н с к и с, З. Ш о б л и ц к а с,  
Р. С и м а н а в и ч ю с, Б. В е н г а л и с

Исследование флуктуационных процессов в пленках высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) ведется в основном по двум направлениям: флуктуациям магнитного потока и токовому шуму. Эти измерения имеют не только большую научную значимость для понятия физических явлений ВТСП, но и большое практическое значение при создании очень чувствительных приборов криоэлектроники и приемников инфракрасного и микроволнового излучения. Спектральная плотность флуктуаций напряжения (при протекании постоянного тока) для ВТСП пленок в большинстве случаев (например, для пленок  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  [1] и  $ErBa_2Cu_3O_7$  [2]) увеличивается с возрастанием сопротивления в области перехода из сверхпроводящего состояния в нормальное, а далее или насыщается [2], или возрастает, причем это наблюдается даже до комнатных температур [1] и выше [3]. Монотонный рост низкочастотного шума типа  $1/f$  с температурой объясняется увеличением доли нормальных участков, структурные дефекты которых обуславливают появление избыточного шума, как это имеет место для неоднородных материалов.

В настоящей работе исследованы зависимости сопротивления и спектральной плотности флуктуаций напряжения от величины постоянного тока, слабого магнитного поля и температуры в области сверхпроводящего перехода толстых ( $\sim 22$  мкм) поликристаллических  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  слоев. Исследуемые  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  слои изготовлены на керамических подложках диэлектрического соединения  $Y_2BaCuO_5$ . На поверхность таблеток  $Y_2BaCuO_5$  наносили порошки смеси окислов  $BaO$  и  $CuO$  в молярном соотношении 3:5; при температуре 1200 К обеспечивалось протекание реакции:  $Y_2BaCuO_5 + 3BaO + 5CuO \rightarrow 2YBa_2Cu_3O_{7-x}$ . Методика приготовления таких слоев

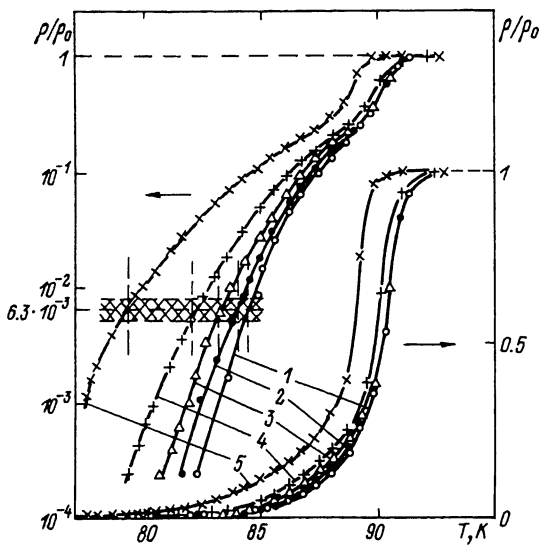


Рис. 1. Изменение относительного сопротивления (образец № 1) в области температур сверхпроводящего перехода в линейном и полулогарифмическом масштабах при различных протекающих постоянных токах.  $I$ , мА: 1 - 11, 2 - 15, 3 - 19, 4 - 26, 5 - 44.

более подробно представлена в [4]. Исследуемые образцы представляли прямоугольники: длина - от 10 до 12 мм, ширина - от 3.6 до 4.4 мм. Спектральную плотность шумов измеряли четырехзондовым методом. В качестве контактов служили взрывным образом напыленные серебряные пленки.

Зависимости относительного изменения сопротивления в области температур сверхпроводящего перехода (для образца № 1), измеренные при различных постоянных токах, показаны на рис. 1. На том же рисунке для большей наглядности изменение сопротивления от температуры показано в полулогарифмическом масштабе (левая шкала). Эти эксперименты указывают на сильную зависимость сопротивления в области температур сверхпроводящего перехода от протекающего постоянного тока, что может быть использовано в различной измерительной технике. Значение специфического сопротивления  $\rho_0$ , соответствующее началу сверхпроводящего перехода, равно  $1.6 \cdot 10^{-5}$  Ом·м и находится в интервале значений, характерных объемному керамическому  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Пояснение заштрихованной области будет дано ниже.

Измерения спектра шумов в диапазоне частот 20 Гц - 1 кГц показали, что для рассматриваемых слоев шум имеет спектр типа  $1/f$ . На рис. 2 показана зависимость спектральной плотности флук-

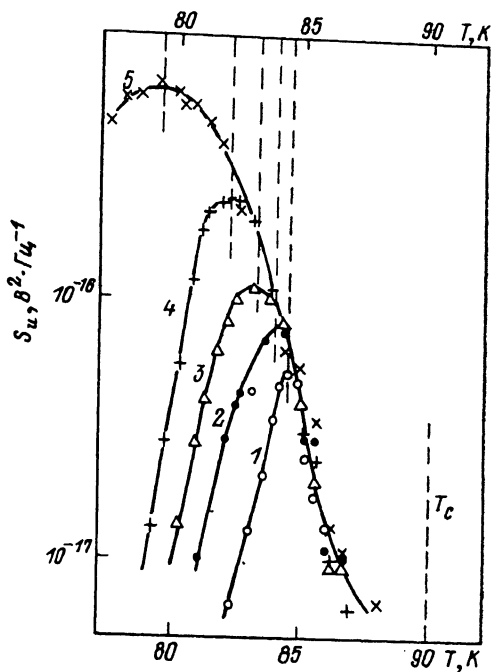


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности флуктуаций напряжения  $S_u$  от температуры в области сверхпроводящего перехода (образец № 1) на частоте 30 Гц при различных токах.  $I$ , мА: 1 - 11, 2 - 15, 3 - 19, 4 - 26, 5 - 44. Пунктирные линии обозначают положение максимумов на температурной шкале.

туаций напряжения от температуры в области сверхпроводящего перехода на частоте 30 Гц при различных значениях протекающего постоянного тока. Эта зависимость имеет ярко выраженный максимум: при увеличении протекающего постоянного тока максимум интенсивности шума увеличивается и смещается в сторону более низких температур. Шум в области температур, соответствующих нормальному металлическому состоянию слоев, является незначительным и неподдается измерению.

Так как сопротивление пленок сильно зависит от величины магнитного поля, было интересно рассмотреть влияние магнитного поля на уровень низкочастотного шума. На рис. 3 приведено изменение сопротивления и спектральной плотности флуктуаций напряжения от температуры в отсутствие и присутствии постоянного магнитного поля ( $B_{\perp} = 0.7$  мТ, образец № 2), перпендикулярно направленного на поверхность пленки. Видим, что магнитное поле несколько

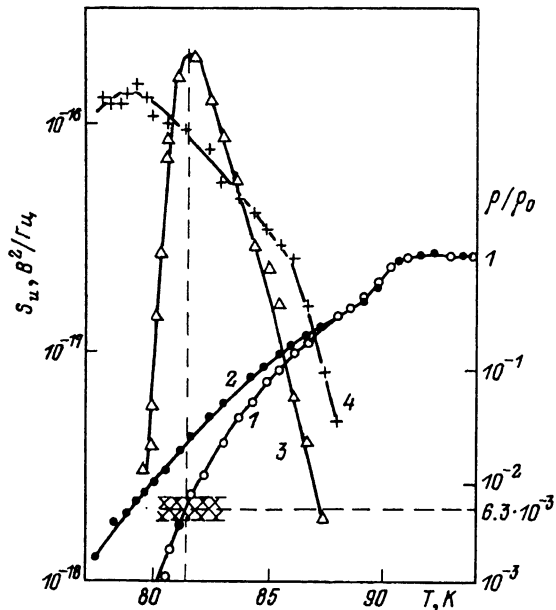


Рис. 3. Температурные зависимости относительного изменения сопротивления  $\rho/\rho_0$  (1, 2) и спектральной плотности флуктуаций напряжения  $S_u$  (3, 4) в отсутствие (1, 3) и присутствии (2, 4) постоянного магнитного поля ( $B_{\perp}=0.7$  мТ;  $I=10.5$  мА;  $f=30$  Гц; образец №2).

ко уменьшает максимальное значение шума, но зато сильно уширяет огибающую максимума.

Как было отмечено ранее, максимум интенсивности шума  $S_{u \max}$  возрастает с увеличением протекающего постоянного тока (рис. 2): величина  $S_{u \max}(f)$  с достаточно большой точностью пропорциональна квадрату постоянного тока. Если предположить, что флуктуации напряжения  $\Delta U(t)$  обусловлены нестабильностью сопротивления  $\Delta R(t)$ , то величина  $S_u(f)/I^2$  представляет спектральную плотность флуктуаций сопротивления  $S_R(f)$ , т.е.  $S_{R \max}(f) = S_{u \max}(f)/I^2$ . На рис. 4 представлена зависимость спектральной плотности флуктуаций сопротивления на частоте 30 Гц от относительного изменения сопротивления в области температур сверхпроводящего перехода при различных протекающих постоянных токах. Видим, что  $S_{R \max}(f=30 \text{ Гц})$  для различных токов примерно равна  $3 \cdot 10^{-13} \text{ Ом}^2 \cdot \text{Гц}^{-1}$ . Однако самым удивительным результатом является то, что положение  $S_{R \max}(f)$  определяется одним и тем же значением

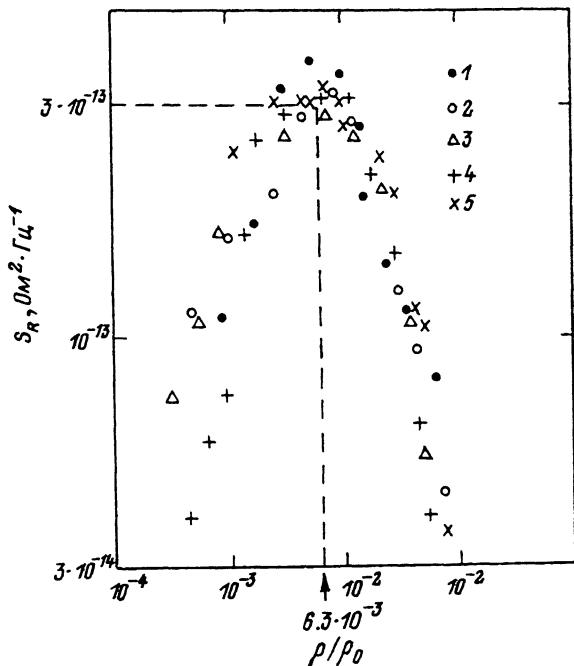


Рис. 4. Изменение спектральной плотности флуктуаций сопротивления ( $f=30$  Гц) от относительного изменения сопротивления в области сверхпроводящего перехода (образец № 1) при различных токах.  $I$ , мА, 1 - 11, 2 - 15, 3 - 19, 4 - 26, 5 - 44.

$\rho/\rho_0 \approx 6.3 \cdot 10^{-3}$ , почти независимым от протекающего постоянного тока. Температура, при которой  $S_u(f)$  (рис. 2) или  $S_R(f)$  принимает максимальное значение, определяется значением относительного изменения сопротивления  $\rho/\rho_0$  (на рис. 1 эта область заштрихована), т.е. максимум флуктуаций сопротивления в области сверхпроводящего перехода проявляется в той области температур, в которой сопротивление уменьшалось примерно 160 раз по сравнению с его значением  $\rho_0$ , которое оно имело при температуре, соответствующей началу сверхпроводящего перехода.

По-видимому, значение  $\rho/\rho_0 \approx 6.3 \cdot 10^{-3}$ , при котором наблюдается максимум флуктуаций сопротивления, является фундаментальным. Хотя сама величина  $S_{Rmax}(f)$  от образца к образцу меняется (так для образца № 2, результаты измерения которого представлены на рис. 3,  $S_{Rmax}(f) \approx 1.8 \cdot 10^{-12}$  Ом<sup>2</sup>·Гц<sup>-1</sup>), однако  $S_R(f)$  максимум проявляется при том же соотношении  $\rho/\rho_0 \approx 6.3 \cdot 10^{-3}$  (на рис. 3 эта область  $\rho/\rho_0$  заштрихована). Аналогичный результат можно усмотреть и из данных, представленных

в [1], где при  $\rho/\rho_0 < 0.01$  имеется небольшой пологий максимум  $S_{\alpha}(f)$ . Интерпретация результатов [1] затруднена большим маскирующим шумом, имеющим место в нормальном состоянии пленки. Кроме того, величина  $S_{Rmax}(f)$  зависит от абсолютного значения сопротивления  $R_H$ , при котором  $\rho/\rho_0 \approx 6.3 \cdot 10^{-3}$ , однако соотношение  $[S_{Rmax}(f)]^{1/2}/R_H$  не является постоянной величиной, оно примерно находится в пределах  $10^{-5}-10^{-4} \Gamma_{ц}^{-1/2}$  и зависит от структуры и толщины ВТСП пленки.

Особое внимание обращает и другой факт (рис. 4): зависимость  $S_R(f)$  от относительного изменения  $\rho/\rho_0$  имеет примерно одинаковый ход при всех постоянных токах.

То, что максимум флуктуаций сопротивления в области температур сверхпроводящего перехода имеет место при определенном соотношении  $\rho/\rho_0$ , и то, что ход  $S_R(f)$  от  $\rho/\rho_0$  имеет примерно одинаковый характер, по-видимому, можно объяснить определенным соотношением между сверхпроводящей и остаточной нормальной фазами исследуемого образца: с увеличением результирующего объема сверхпроводящих включений в пленке флуктуации их параметров приводят к увеличению флуктуаций сопротивления пленки в целом, однако дальнейшее быстрое приближение  $\rho$  к нулю обуславливает уменьшение абсолютных значений флуктуаций сопротивления. Очевидно, сама величина флуктуаций сопротивления для каждой конкретной пленки будет определяться ее дефектностью.

Кроме того, как показывают предварительные измерения, исследуемые сверхпроводящие слои могут найти широкое применение в различной измерительной технике, так как максимумы болометрической и магнитной чувствительности не совпадают с максимумом шума,

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гапонов С.В., Калягин М.А., Краюхин М.Б., Малышева Л.В., Павлов П.А., Павелъев Д.Г., Ткаченко А.Д., Хребтов И.А., Чурин А.Ю. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 12. С. 62-67.
- [2] Richards P.L., Verghese S., Geballe T.H., Spielman S.R. // IEEE Trans. Magn. 1989. V. 25. N 2. P. 1335-1338.
- [3] Davidson A., Pedersen N.F., Palevski A., Scheuermann M.R. // IEEE Trans. Magn. 1989. V. 25. N 2. P. 2230-2232.
- [4] Wang W.N., Lu H.B., Lin H.J., Yao R.C., Hsu H.E., Tai M.F., Ku H.C. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 7. P. L1268-L1270.

Поступило в Редакцию  
8 января 1990 г.