

05.4;12

## Влияние деградации на спектр флуктуаций напряжения в толстых пленках высокотемпературных сверхпроводников

© О.В. Геращенко

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова РАН

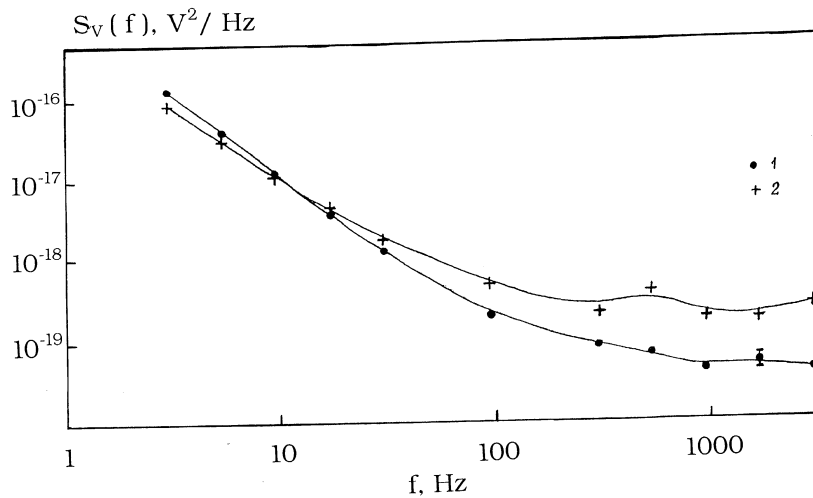
Поступило в Редакцию 16 мая 1997 г.

Изучались шумовые параметры высокотемпературных сверхпроводников (иттрий-бариевых купритов) до и после деградации. Образцы представляли собой толстые пленки —  $10.5 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm} \times 8 \text{ }\mu\text{m}$ , полученные магнетронным распылением на подложке ZrO. Предложена модель возникновения флуктуаций напряжения. Результаты измерений подтверждают представление о том, что наблюдаемый шумовой спектр связывается с флуктуациями сопротивления.

Известно, что конденсация паров воды на поверхности высокотемпературных сверхпроводников — иттрий-бариевых купритов — при термоциклировании приводит к ухудшению (деградации) сверхпроводящих свойств, поэтому изучение влияния деградации на электрофизические характеристики материала представляет большой интерес. В работе изучались шумовые параметры сверхпроводника до и после деградации.

Исследованные образцы представляли собой толстые пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  высокотемпературного сверхпроводника с размерами  $10.5 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm} \times 8 \text{ }\mu\text{m}$ , полученные магнетронным распылением на подложке ZrO.

Образец находился в электромагнитном экране в атмосфере гелия и охлаждался в нулевом магнитном поле до температуры жидкого азота. Постоянное магнитное поле  $H$  прикладывалось перпендикулярно как плоскости образца, так и постоянному току  $j$ , который пропусклся вдоль длинной стороны образца. Измерения проводились по стандартной четырехконтактной схеме. Напряжение  $V(t)$  с потенциальных контактов, расстояние между которыми  $d = 1.5 \text{ mm}$ , через повышающий трансформатор подавалось на усилитель, фильтр низких частот и аналогово-цифровой преобразователь в составе персонального компьютера. Спектральная плотность мощности флуктуаций напряжения  $S_V(f)$  (равная

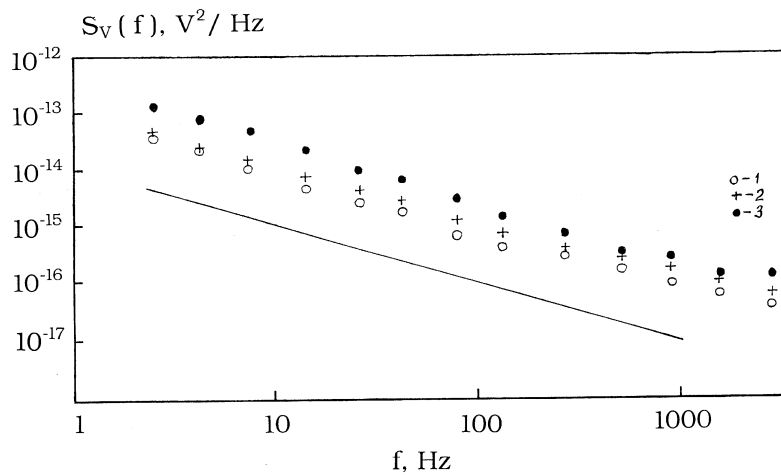


**Рис. 1.** Спектральная плотность мощности флуктуаций напряжения при  $H = 0$  Ое (1) и  $H = 318$  Ое (2) и плотности транспортного тока  $j = 1.43$  А/см<sup>2</sup>.  $T \approx 78$  К. Образец до деградации.

среднему квадрату  $\overline{V^2}(f)$  в полосе частот 1 Hz) рассчитывалась методом быстрого преобразования Фурье. Критический ток сверхпроводника определялся в линейной области вольт-амперной характеристики по отсечке к нулю напряжения. После проведения измерений образец отогревался на воздухе при комнатной температуре (19°C), нормальном давлении и влажности (около 60%). Спустя примерно 10 h измерения повторялись.

На рис. 1 показана спектральная плотность флуктуаций напряжения  $S_V(f)$  образца до деградации. В низкочастотной области интенсивность спектра возрастает, это связано с шумом установки, поскольку в этой области частот мало отношение сигнал/шум и, следовательно, при вычитании собственного шума установки из измеренной спектральной плотности имеется большая ошибка.

Видно, что при  $f \geq 100$  Hz  $S_V(f)$  представляет собой "белый" шум. Если полагать, что флуктуации напряжения порождаются независимым движением квантов магнитного потока  $\Phi_0$  под действием силы Лоренца



**Рис. 2.** Спектральная плотность мощности флуктуаций напряжения при  $H = 96$  Ое (1),  $H = 194$  Ое (2) и  $H = 400$  Ое (3). Плотность транспортного тока  $j = 1.43$  А/см<sup>2</sup>.  $T \approx 78$  К. Образец после деградации. Прямая проведена с наклоном  $\gamma = -1$ .

(см., например, [1,2]), то в низкочастотном пределе (когда  $f \ll \tau^{-1}$ , где  $\tau \sim (dwB)/\bar{V}$  — время перехода вихрем образца,  $\bar{V}$  — среднее падение напряжения на потенциальных контактах,  $d$  — расстояние между ними,  $w$  — ширина образца,  $B$  — магнитная индукция) получим  $S_V(0) = 2\Phi_0\bar{V}$ . В нашем случае оказалось, что плотность критического тока  $j_c(H = 0) \approx 30$  А/см<sup>2</sup>,  $\tau^{-1} \sim 10^4$  Hz. Для спектральной плотности получается  $S_V(0) = 2.4 \times 10^{-20}$  V<sup>2</sup>/Hz для  $H = 0$  Ое и  $S_V(0) = 7 \times 10^{-19}$  V<sup>2</sup>/Hz при  $H = 318$  Ое. Измеренные в "белой" части спектра интенсивности флуктуаций оказались того же порядка (отличие не превышало двухкратного). Поэтому мы полагаем, что модель возникновения флуктуаций напряжения в результате независимого движения вихрей магнитного потока можно использовать для приближенной оценки интенсивности флуктуаций изученных толстопленочных высокотемпературных сверхпроводников.

После отогрева образца на воздухе и выдержки около 10 h эксперименты были повторены. Оказалось, что образец сохранил свои

сверхпроводящие свойства, но плотность критического тока многократно уменьшилась и составила  $j_c \approx 1 \text{ A/cm}^2$ . На рис. 2 приведены спектры флуктуаций напряжения того же образца при той же величине транспортного тока.

Видно, что, во-первых, произошло абсолютное увеличение интенсивности флуктуаций (более чем на три порядка по сравнению с величиной до деградации и на два порядка для  $f = 1 \text{ kHz}$  по сравнению с модельной  $S_V(0) = 2\Phi_0\bar{V} \sim 10^{-18} \text{ V}^2/\text{Hz}$ ). Необходимо также отметить увеличение относительной интенсивности флуктуаций, например для  $f = 1 \text{ kHz}$  имеем  $S_V/\bar{V}^2 \sim 10^{-11} \text{ Hz}^{-1}$  до деградации и  $\sim 10^{-9} \text{ Hz}^{-1}$  после деградации.

Во-вторых, кардинально изменилась частотная зависимость спектра. Теперь  $S_V(f) \sim 1/f^\gamma$ , где  $\gamma \approx 1$ . При этом осталась чувствительность интенсивности спектра к внешнему магнитному полю (что также указывает на сохранение образцом сверхпроводящих свойств). Отметим, что  $1/f$ -спектр часто наблюдается при изучении высокотемпературных сверхпроводников (см., например, [3,4]) и связывается с флуктуациями сопротивления. Мы также склоняемся к этому мнению, поскольку деградация приводит к увеличению доли несверхпроводящей фазы в образце и, следовательно, к большей неоднородности (гранулированности) сверхпроводника, что может служить источником  $1/f$ -шума.

Автор выражает благодарность М.А. Пустовойту и А.И. Сибилеву за помощь в проведении работы.

## Список литературы

- [1] *Thompson J.D., Joiner W.C.H.* // Phys. Rev. B. 1979. V. 20. N 1. P. 91.
- [2] *Безруков С.М., Сибилев А.И.* // Препринт ЛИЯФ. № 1478. Л., 1989.
- [3] *Noise in physical systems and 1/f fluctuations.* AIP Conference Proceedings 285/Eds. P. Handel and A.L. Chung. AIP. New York, 1993.
- [4] *Noise in physical systems and 1/f fluctuations.* Proceedings of the 13th International Conference / Eds. V. Bareikis and R. Katilius. Palanga, Lithuania, 1995.