

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

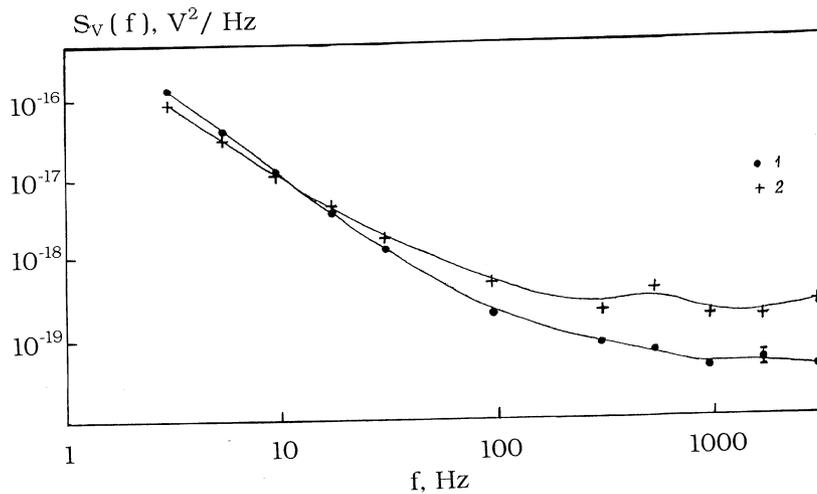


Рис. 1. Спектральная плотность мощности флуктуаций напряжения при $H = 0$ Ое (1) и $H = 318$ Ое (2) и плотности транспортного тока $j = 1.43$ А/см². $T \approx 78$ К. Образец до деградации.

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 Φ_0 под действием силы Лоренца

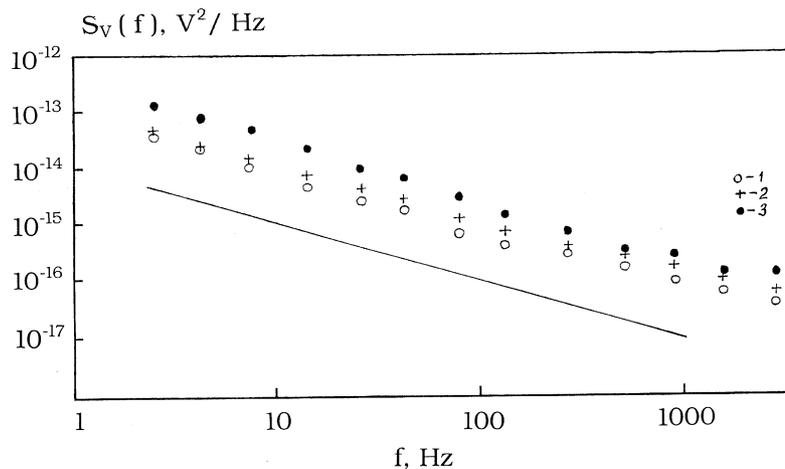


Рис. 2. Спектральная плотность мощности флуктуаций напряжения при $H = 96$ Ое (1), $H = 194$ Ое (2) и $H = 400$ Ое (3). Плотность транспортного тока $j = 1.43$ А/см². $T \approx 78$ К. Образец после деградации. Прямая проведена с наклоном $\gamma = -1$.

(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/см², $\tau^{-1} \sim 10^4$ Hz. Для спектральной плотности получается $S_V(0) = 2.4 \times 10^{-20}$ V²/Hz для $H = 0$ Ое и $S_V(0) = 7 \times 10^{-19}$ V²/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.