

05.4;07;09

©1995

НИЗКОЧАСТОТНЫЙ ШУМ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОПТИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

А.И.Грачев, А.П.Паугурт, И.В.Плешаков, С.Г.Шульман

Исследования низкочастотных шумов высокотемпературных сверхпроводников установили, что уровень $1/f$ -шума в этих материалах примерно на 5–7 порядков выше, чем в обычных металлах. Причина этого до сих пор до конца не ясна, но в большинстве существующих моделей она связывается с присущей высокотемпературным сверхпроводникам неоднородностью и несовершенством структуры. Так, в [1] $1/f$ -шум объясняется флуктуациями высоты внутренних потенциальных барьеров (а следовательно, условий туннелирования через них), которые вызваны процессами захвата и освобождения носителей заряда на уровнях прилипания в области барьера. Очевидно, что в этом случае особый интерес представляют эксперименты по световому воздействию на процессы захвата-освобождения, поскольку они могли бы уточнить справедливость указанной модели шума и дать дополнительную информацию о влиянии неоднородностей на транспортные свойства меднооксидных сверхпроводников.

В настоящей работе исследовался низкочастотный шум сверхпроводящей пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ($T_c \simeq 88$ К), нанесенной методом лазерного испарения на подложку из NdGaO_3 . Образец представлял собой гранулированную пленку с преимущественной ориентацией оси гранул перпендикулярно плоскости подложки. Образец имел размеры 7×2 мм², толщина его составляла 1000 Å. На него были нанесены индиевые контакты (токовые и потенциальные). При комнатной температуре полное сопротивление пленки составляло около 90 Ом, между потенциальными контактами — 60 Ом, а сопротивление каждого контакта — менее 1 Ома. Транспортный ток, равный 20 мА, вводился в образец от независимого источника питания через балластное сопротивление 500 Ом. Шумовой сигнал (который исследовался при комнатной температуре) с потенциальных контактов через согласующий трансформатор и предусилитель поступал на вход селективного нановольтметра и далее на устройство,

позволявшее проводить накопление и цифровую обработку сигналов. Специально было проверено, что шум создается образцом, а не контактами.

Свет от галогенной лампы мощностью 100 Вт фокусировался на торце волоконно-оптического жгута, другой конец которого через расположенную между потенциальными контактами и закрывающую их маску был прислонен к образцу. Максимальная интенсивность света, падающая на образец, составляла около 10 Вт/см^2 . Поскольку характерная глубина проникновения света в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ $\lambda \simeq 300\text{--}1000 \text{ \AA}$ [2], можно считать, что свет поглощался практически по всей толщине образца.

На рис. 1, а показана спектральная плотность шума образца $S_v(\omega)$. Видно, что кроме обычно наблюдаемой шумовой компоненты со спектром типа $1/f$ в образце присутствует дополнительный шум. Поскольку спектральные плотности шумов аддитивны, из данных рис. 1, а легко получить, что спектр дополнительной компоненты $S_\tau(\omega)$ в первом приближении описывается выражением $S_\tau(\omega) \propto \tau / (1 + \omega^2 \tau^2)$ (спектр релаксационного типа), где τ — некоторое характерное время релаксации, связанное с физической природой процесса. В соответствии с упомянутой выше моделью механизм $1/f$ -шума в ВТСП связан с процессами захвата-освобождения носителей заряда с уровней прилипания, локализованных в области барьера. Как известно [3], для получения $1/f$ -зависимости необходимо предположить существование барьеров, времена релаксации заряда на уровнях прилипания которых распределены равномерно в достаточно широком интервале. В рамках такого подхода появление релаксационной компоненты шума означает наличие некоего преобладающего типа барьеров или ловушек на них, вносящих основной вклад во флуктуации тока. В пользу указанной интерпретации наших данных свидетельствуют результаты работы [4], где шумовой спектр такого же вида наблюдался в пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ с бикристаллическим микромостиком, сформированным границей одной гранулы. Отметим, что результаты работы [4] получены в условиях, существенно отличающихся от наших (в [4] измерялись низкочастотные шумы сквидов на базе микромостиков при температуре жидкого гелия).

На то, что спектр дополнительной компоненты шума относится к релаксационному типу, указывает и приведенное на рис. 1, б относительное изменение спектральной плотности шумов при освещении образца. Видно, что оно неравномерно по частоте, при этом в целом характер зависимости достаточно хорошо описывается разностью двух релакса-

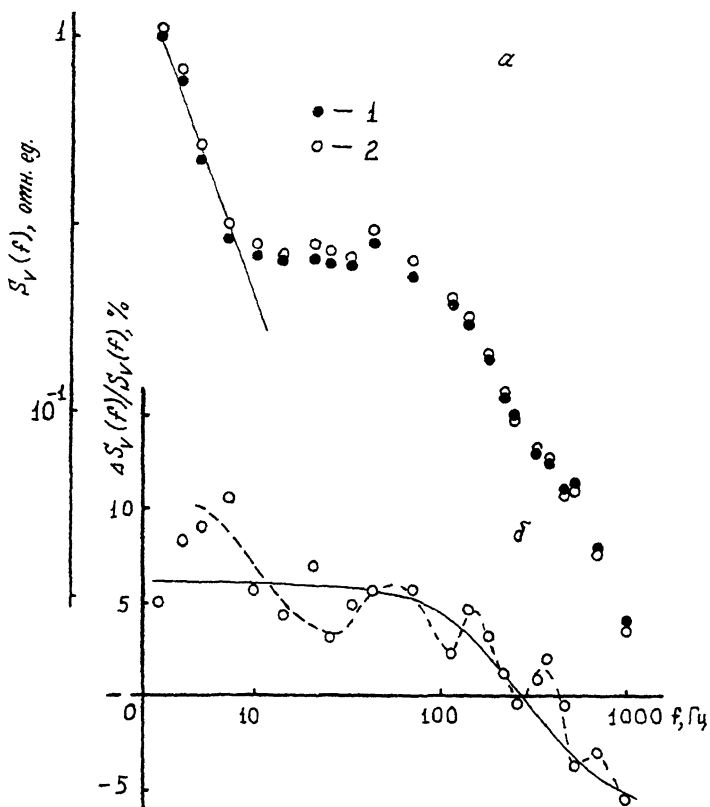


Рис. 1. Спектральная плотность низкочастотного шума пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (а) (1 — без освещения, 2 — при засветке) и его относительное изменение при освещении (б) (сплошной линией показана разность двух релаксационных спектров: $S_r(\omega)$ при $\tau = \tau' \approx \tau'' \approx 6 \cdot 10^{-4}$ с и $(\tau' - \tau'')/\tau \approx 3 \cdot 10^{-2}$; штриховой линией отмечены осцилляции, связанные с присутствием "взрывной" компоненты шума — $S_b(\omega)$).

ционных спектров со слегка различающимися значениями τ . Следовательно, освещение влияет прежде всего на релаксационную компоненту шума, вызывая рост τ . Поскольку при освещении образец нагревался (примерно на 4 К), возник вопрос о возможности теплового механизма наблюдаемого эффекта. Для выяснения этого шум был измерен при нагреве образца на 10 К. Полученное относительное изменение шума показано на рис. 2. Видно, что общий вид зависимости тот же, что и при освещении. Это указывает на

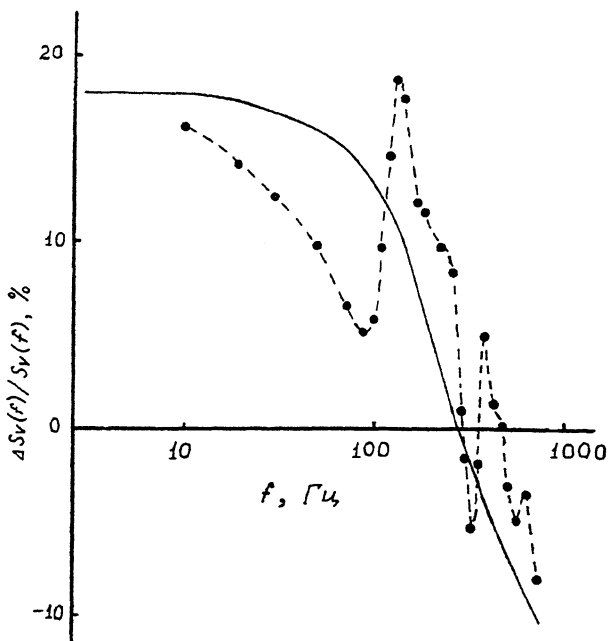


Рис. 2. Относительное изменение спектра шума при нагреве пленки на 10 К (сплошная и штриховая линии соответствуют тем же компонентам шума, что и на рис. 1, б).

сильную температурную зависимость релаксационного шума и преобладание при освещении чисто теплового эффекта. Вопрос о прямом оптическом воздействии, которое может маскироваться более сильным тепловым, требует дополнительного изучения. В связи с этим следует упомянуть, что в исследованном образце наблюдались оптически индуцированные напряжения (фотоэдс) явно нетепловой природы. Это свидетельствует о существовании оптического возбуждения электронов (дырок) в области барьеров.

При нагревании была выявлена еще одна особенность низкочастотного шума образца. Из сравнения данных на рис. 1, б и рис. 2 видно, что разброс точек относительно кривой, соответствующей разности двух релаксационных спектров (сплошная линия), не случаен. Указанные отклонения носят осциллирующий характер (штриховая линия) и достаточно хорошо могут быть описаны с учетом предположения о существовании компоненты со спектром типа $S_b(\omega) \propto \sin^2(\omega\tau_0)/(\omega\tau_0)^2$. Возможность существования шумов со спектром подобного типа была предсказана в работе [5] на основании предложенной там модели бистабильного взрывного шума для полупроводниковых приборов (транзи-

сторы на $p-n$ переходах, туннельные диоды и т. п.), принципиально включающих барьеры. Нам неизвестно, имеются ли экспериментальные подтверждения существования шума с указанным спектром в полупроводниковых устройствах, но в пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ он, по-видимому, наблюдается впервые.

Таким образом, обнаруженная в настоящей работе релаксационная компонента низкочастотного шума служит дополнительным свидетельством в пользу модели, привлекающей представление об определяющем влиянии внутренних потенциальных барьеров на процессы переноса заряда в пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, в том числе на их шумовые характеристики. Кроме того, использованная методика позволила выделить шум, подобный бистабильному взрывному, существование которого также является сильным аргументом в пользу правильности указанной модели.

Настоящая работа выполнена в рамках проекта, поддержанного грантом № R2Z000 Международного научного фонда.

Список литературы

- [1] *Yi Song, Anupam Misra, Crooker P.P. et al. // Phys.Rev. Lett. 1991.V. 66. N 6. P. 825-828.*
- [2] *Garriga M., Vekateswaran U., Syassen K. et al. // Physica C. 1988. V. 153-155. P. 643-644.*
- [3] *Букингем М. Шумы в электронных приборах и системах. М.: Мир. 1986. 398 с.*
- [4] *Gross R., Mayer B. // Physica C. 1991. V. 180. N 1-4. P. 235-241.*
- [5] *Hsu S.T., Whittier R.J. // Solid State Elect. 1969. V. 12. N 11. P. 867-878.*

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
21 февраля 1995 г.