

УДК 537.312.62

© 1991

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВИСМУТСОДЕРЖАЩИМИ ПЛЕНКАМИ ВТСП

Ю. А. Кумзеров, М. Е. Лещенко, С. Г. Романов, А. В. Суворов

Измерен отклик на излучение в оптическом диапазоне  $\text{Bi}$ -содержащей пленки ВТСП состава 2212. Полученные результаты указывают на то, что детектирование осуществляется в области слабых межгранулярных связей.

Представляет практический интерес использование гранулированных пленок высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в качестве видео-детекторов, охватывающих широкий диапазон частот от радиоволн до оптического излучения. Естественно, что функционирование такого широкополосного детектора обеспечивается последовательной по мере увеличения частоты излучения сменой механизмов детектирования — джозефсоновского, квазичастичного, болометрического [1]. В свою очередь конкретная структура и фазовый состав пленок ВТСП могут вносить особенности во взаимодействие детектора с электромагнитным излучением.

В настоящее время достаточно подробно изучено воздействие оптического излучения на пленки  $\text{YBaCuO}$ . Для них наряду с тривиальным болометрическим откликом обнаружен отклик, связанный с генерацией квазичастиц за счет фотоэффекта из полупроводниковых фаз, имеющих в составе пленок [2, 3], и отклик, возникающий за счет подавления параметра порядка в сверхпроводящих гранулах в результате разогрева светом газа нормальных электронов [4, 5]. Значительно меньше данных имеется относительно детектирования оптического излучения  $\text{Bi}$ -содержащими пленками [6].

Открытым до настоящего времени остается вопрос о роли слабых межгранулярных связей во взаимодействии оптического излучения с многосвязной джозефсоновской средой (МДС), каковой является гранулированная пленка, в особенности в случае, когда она находится в резистивном токовом состоянии.

В настоящей работе приведены предварительные результаты исследования оптического отклика  $\text{Bi}$ -содержащих пленок и проведено сравнение оптического отклика с откликом на микроволновое излучение. Полученные данные указывают на то, что сигнал детектора возникает в области межгранулярных контактов.

Пленки, использованные в работе, были получены ионным распылением мишени состава  $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}$  и содержали после отжига в потоке кислорода до 90 % фазы 2212 и 5–10 % иных фаз. Исследованные образцы предста-

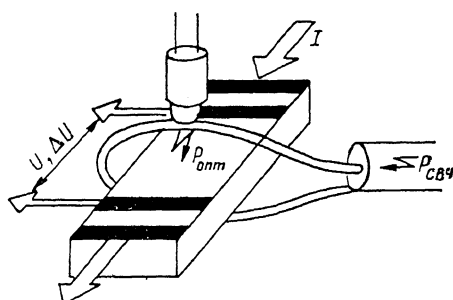


Рис. 1. Схема эксперимента.

вляли собой пленки толщиной 0.3—0.9 мкм, нанесенные на плоскопараллельные подложки из MgO, с четырьмя напыленными золотыми контактами. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) измеряли четырехконтактным методом в режиме источника тока, напряжение снимали с потенциальных контактов. В качестве источника излучения был использован светодиод с длиной волны около 800 нм, установленный непосредственно над пленкой. Кроме того, была возможность одновременно с оптической засветкой прикладывать СВЧ поле с частотой 0.5—10 ГГц посредством охватывающей образец петли, замыкающей коаксиальный тракт (рис. 1). Отклики  $\Delta U_{\text{опт}}$  и  $\Delta U_{\text{СВЧ}}$ , соответствующие искажению ВАХ под действием

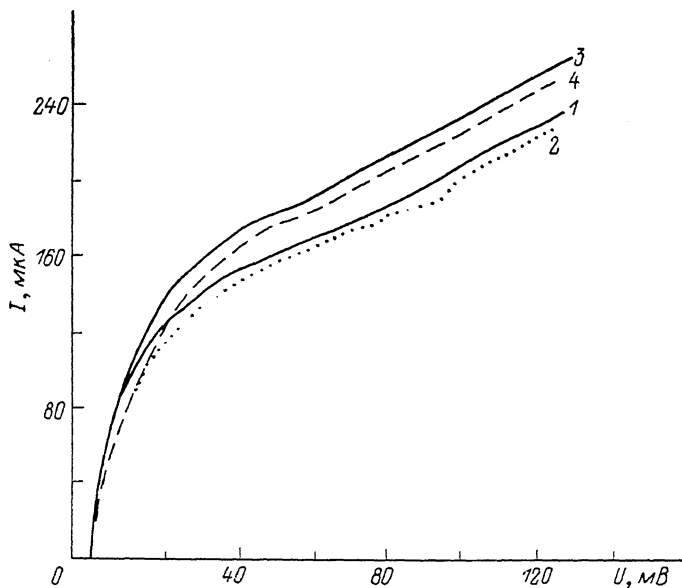


Рис. 2. ВАХ пленки при 77 К.

1 — без внешних воздействий, 2 — в магнитном поле 135 Э, 3 — под действием оптического излучения, 4 — под действием оптического излучения в магнитном поле 135 Э.

излучения, измеряли по стандартной модуляционной методике. 100 %-ную модуляцию интенсивности излучения светодиода осуществляли путем питания его импульсами напряжения с частотой около 8 кГц, амплитудную модуляцию СВЧ сигнала глубиной до 50 % осуществляли синусоидальным сигналом той же частоты. Для выявления тонкой структуры ВАХ был использован метод аналогового дифференцирования; напряжения  $U_{\omega}$  и  $U_{2\omega}$ , пропорциональные первой и второй производной ВАХ, были измерены при модуляции тока смещения образца малым синусоидальным сигналом звуковой частоты. Внешнее магнитное поле, перпендикулярное транспортному току, создавали посредством соленоида, охватывающего образец.

Исследованные образцы имели растянутый от 90 до 60 К сверхпроводящий переход. ВАХ (на рис. 2 приведен начальный участок) имеет вид, характерный для джозефсоновского перехода при учете влияния флуктуаций [1]. Магнитное поле и СВЧ излучение в этом случае подавляют сверхпроводимость. Оптическое же излучение, наоборот, уменьшает сопротивление слабых связей (поскольку именно они определяют сопротивление образца). Такое уменьшение сопротивления вряд ли можно объяснить за счет фотопроводимости, поскольку, во-первых, образец имеет металлический характер температурной зависимости сопротивления, во-вторых, в таких соединениях неизвестны полупроводниковые фазы и, в-третьих, эффект наблюдается только в области сверхпроводящего перехода. Этот эффект как качественно, так и по величине подобен хорошо известному эффекту стимулирования сверхпроводимости СВЧ излуче-

нием [7]. Естественно, что механизм стимулирования сверхпроводимости излучением в оптическом диапазоне должен быть другим. Возможно, что такое поведение образца отражает эффект стимуляции сверхпроводимости, предсказанный в [8], физическим механизмом которого является уменьшение времени жизни квазичастиц при воздействии излучения с энергией, большей щели в случае токового состояния сверхпроводника.

При температуре, много меньшей критической (4.2 К), ВАХ исследованных образцов (рис. 3, 1) имеет вид, характерный для неупорядоченных МДС с большим разбросом параметров слабых межгранулярных связей, контролирующих протекание тока в пленке. Оптическое излучение мощ-

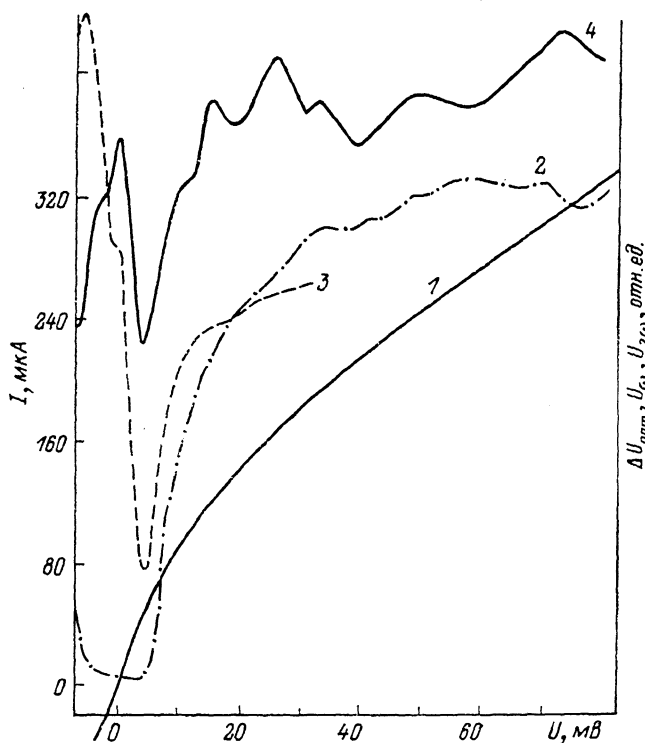


Рис. 3. Электрические характеристики пленки с  $R_N=230$  Ом при 4.2 К.

1 — ВАХ, 2 —  $U_\omega \sim dU/dI$ , 3 —  $U_{2\omega} \sim d^2U/dI^2$ , 4 —  $\Delta U_{\text{опт}}$  — отклик на оптическое излучение.

ностью до 10 мВт в этом случае вызывает слабовыраженные изменения ВАХ пленки, по-видимому, связанные с подавлением сверхпроводимости. На рис. 3, 4 приведена зависимость отклика  $\Delta U_{\text{опт}}$  от положения рабочей точки на ВАХ для образца, имевшего за счет формирования между потенциальными контактами токоведущей «змейки» сопротивление нормальной ветви ВАХ  $R_N=230$  Ом ( $I_c=0$ ). Симметрия отклика относительно смены направления тока смещения аналогична симметрии первой производной ВАХ  $U_\omega$  (рис. 3, 2). Следует отметить, что отклик на микроволновое излучение  $\Delta U_{\text{свч}}$  изменяет знак при смене полярности напряжения смещения пропорционально ходу второй производной ВАХ  $U_{2\omega}$  (рис. 5, кривая г; рис. 3, кривая е).

В целом оптический отклик состоит из широкого максимума, на фоне которого видна более тонкая структура. Максимум  $\Delta U_{\text{опт}}$  расположен при значительно большем напряжении смещения, чем область максимальной кривизны ВАХ, соответствующая положению максимума  $U_{2\omega}$ , т. е. квадратичный механизм детектирования при этом исключается. Аналогичный по характеру бесструктурный максимум оптического отклика наблюдается и на пленках  $YBaCuO$  [5].

Тонкая структура ВАХ и оптического отклика не совпадает, что следует из сопоставления зависимостей  $\Delta U_{\text{опт}}$ ,  $U_{\omega}$  и  $U_{2\omega}$  (рис. 3, 2—4). Особенности оптического отклика в области напряжения смещения от 0 до 4 мВ соответствует участку ВАХ с постоянным наклоном. Она присуща только образцам с  $I_c=0$ , имеющим включения несверхпроводящей фазы на токоведущем пути. Поведение  $\Delta U_{\text{опт}}$  в этой области резко отличается от поведения отклика, соответствующего остальной части ВАХ.

С уменьшением мощности падающего излучения амплитуда распределенного максимума отклика падает (рис. 4). При этом вольт-ваттная чувствительность спадает быстрее, чем мощность излучения, что, возможно, свидетельствует о неболометрической природе отклика.

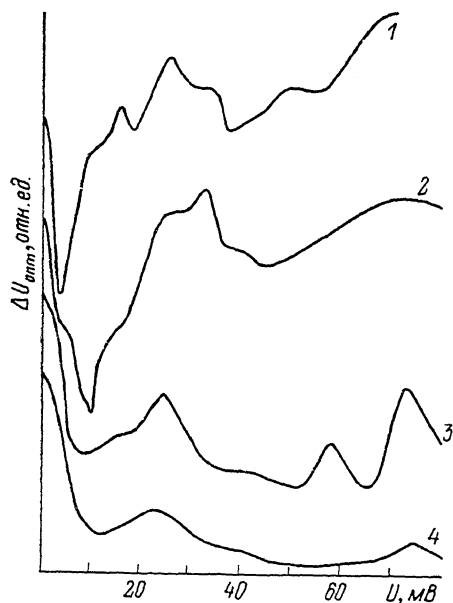


Рис. 4. Отклик пленки ВТСП на оптическое излучение  $\Delta U_{\text{опт}}$  при различных мощностях излучения  $P$  ( $P_1:P_2:P_3:P_4 = 2.5:2:1.5:1$ ).

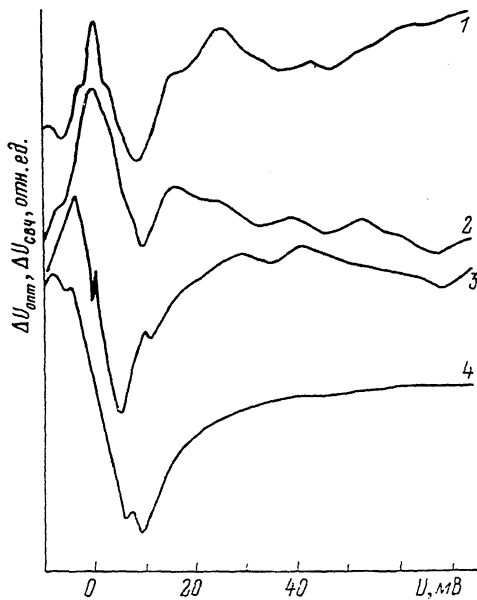


Рис. 5. Изменение  $\Delta U_{\text{опт}}$  при внешнем воздействии.

1 — без дополнительных воздействий, 2 — в магнитном поле 10 Э, 3 — при подсветке немодулированным СВЧ излучением, 4 — отклик на СВЧ излучение.

На наш взгляд, представляется возможным связать наблюдаемый детекторный отклик  $\Delta U_{\text{опт}}$  с процессами, происходящими в межгранульных слабых связях. Во-первых, наблюдается подавление отклика в слабых магнитных полях с напряженностью начиная с 10 Э (слишком слабых для того, чтобы повлиять на сверхпроводящее состояние гранул; рис. 5, 2). Во-вторых, подсветка немодулированным СВЧ излучением приводит к появлению в оптическом отклике сравнимых с ним по амплитуде компонентов СВЧ отклика, причем при увеличении мощности СВЧ подсветки оптический отклик теряет собственную структуру и полностью воспроизводит форму СВЧ отклика (ср. кривые 1, 3, 4 рис. 5). Так как СВЧ отклик есть результат смещения внешнего СВЧ излучения с собственным излучением МДС [9], то наблюдение его на частоте посылки импульсов оптического излучения возможно только в случае модуляции параметров слабых связей и соответственно собственного излучения межгранульных контактов этими импульсами.

Аналогичные результаты были получены на образцах, ВАХ которых имеет сверхпроводящую ветвь с неравным нулю критическим током, а сопротивление  $R_N$  на два порядка ниже, чем у рассмотренных выше образцов. Для образцов данного типа характерны наличие широкого максимума оптического отклика (рис. 6, кривая 3), соответствие зависимости

$\Delta U_{\text{опт}}$  характеру производной ВАХ  $U_{\omega}$  (кривая 2), подавление оптического отклика в слабом магнитном поле (кривые 4, 5), проявление в оптическом отклике компонентов СВЧ отклика при подсветке пленки немодулированным СВЧ излучением (кривая 6), сдвиг в сторону большего напряжения смещения положения максимума  $\Delta U_{\text{опт}}$  по сравнению с положением максимума  $\Delta U_{\text{СВЧ}}$  (кривая 7), причем в области максимума  $\Delta U_{\text{опт}} \Delta U_{\text{СВЧ}} = 0$ .

Вместе с тем имеются заметные различия в оптическом отклике пленок этих двух типов. У пленок с низким значением сопротивления можно отметить отсутствие отклика в области токов смещения, несколько больших

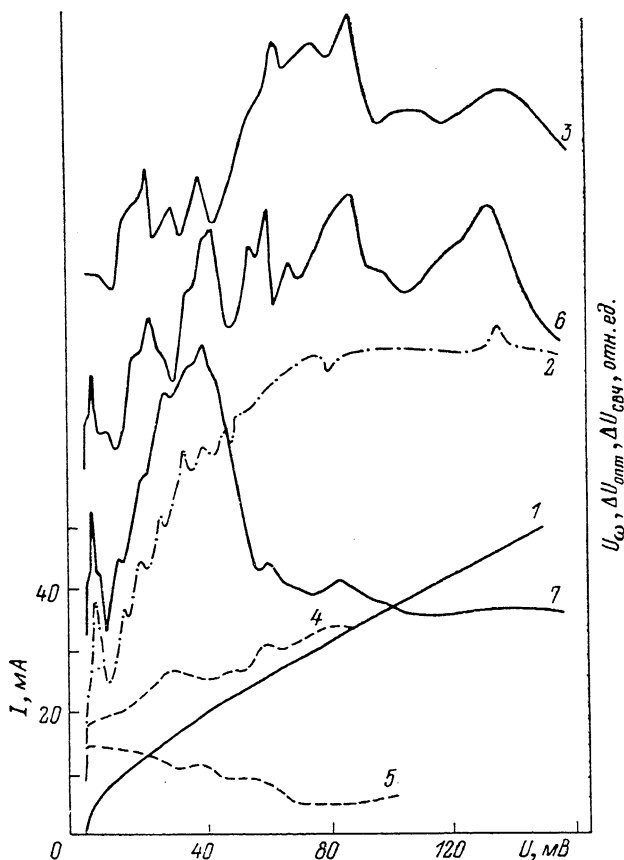


Рис. 6. Электрические характеристики пленки с  $R_N = 3$  Ом при 4.2 К.

1 — ВАХ, 2 —  $U_{\omega}$ , 3 —  $\Delta U_{\text{опт}}$ , 4 и 5 —  $\Delta U_{\text{опт}}$  в магнитном поле 10 и 150 Э, 6 —  $\Delta U_{\text{опт}}$  при подсветке СВЧ излучением, 7 —  $\Delta U_{\text{СВЧ}}$ .

критического, и полное подавление отклика магнитным полем со сменой фазы отклика при увеличении напряженности поля. Существенно также, что с повышением сопротивления пленки растет значение вольт-ваттной чувствительности в микроволновом диапазоне; в то же время чувствительность к оптическому излучению при этом не улучшается. Таким образом, согласно нашим данным, более сбалансированными по величине относительной чувствительности к оптическому и микроволновому сигналам являются пленки с невысоким сопротивлением в нормальном состоянии.

В заключение можно отметить следующее.

1. Гранулированные  $\text{Vi}$ -содержащие пленки ВТСП в принципе обеспечивают возможность создания на их основе широкополосных видео-детекторов.

2. Определяющую роль в детектировании оптического сигнала играют слабые межгранульные связи.

3. В зависимости от температуры детектора отклик на оптический сигнал может появляться в результате как подавления, так и, возможно, стимулирования сверхпроводимости.

#### Список литературы

- [1] Лихарев К. К., Семенов В. К., Зорин А. Б. // Итоги науки и техники. Сверхпроводимость. М., ВИНТИ, 1988. Т. 1.
- [2] Ginder J. M. et al. // Synth. Met. 1989. V. 29. P. 563—568.
- [3] Garriga M. et al. // Physica C. 1988. V. 153—155. Pt 1. P. 643—644.
- [4] Гершензон Е. М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 6. С. 226—228.
- [5] Аксаев Э. Е., Гершензон Е. М., Гольцман Г. Н. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 50. № 5. С. 254—257.
- [6] Chibane F. et al. // Sol. St. Comm. 1989. V. 69. N 9. P. 907—909.
- [7] Pals J. A., Weiss K. et al. // Phys. Rept. 1982. V. 89. N 4. P. 323—390.
- [8] Кацурников В. А., Харламов А. В. // СФХТ. 1989. Т. 2. № 5. С. 56—59.
- [9] Богомолов В. Н., Кумзеров Ю. А., Разумов С. В., Романов С. Г. // ФТТ. Наст. вып. С. 85—92.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
13 марта 1990 г.  
В окончательной редакции  
19 апреля 1990 г.