

**НЕРАВНОВЕСНЫЙ РЕЗИСТИВНЫЙ ОТКЛИК И ЭФФЕКТ  
"ЗАПОМИНАНИЯ" ПРИ ОПТИЧЕСКОМ ВОЗБУЖДЕНИИ  
ПЛЕНКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО  
СВЕРХПРОВОДНИКА  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$**

*П.П.Вышеславцев, Г.М.Генкин, Ю.Н.Ноздрин, А.В.Окомельков*

Приводятся результаты экспериментальных исследований резистивного отклика сверхпроводящих пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  на лазерное излучение. Обнаружен эффект запоминания пленкой информации о воздействующем на нее лазерном импульсе и считывание этой информации последующим лазерным импульсом. Приводится интерпретация наблюдаемых эффектов.

Воздействие оптического излучения на низкотемпературные сверхпроводники исследуется уже довольно давно (см., например, <sup>1</sup>). С появлением высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) аналогичные исследования стали проводиться на этих новых материалах. Здесь, как и в <sup>1</sup>, был обнаружен резистивный отклик нетепловой природы <sup>2</sup>.

В настоящей работе описываются экспериментальные исследования резистивного отклика ВТСП-пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  на лазерное излучение с длиной волны  $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$  при протекании по ней постоянного тока плотностью  $1 \div 5 \cdot 10^3 \text{ A/cm}^2$ , что составляет  $0,06 \div 0,3 j_c$  (где  $j_c$  - критическая плотность тока) в диапазоне температур  $10 \div 110 \text{ K}$ . Эксперименты проводились по 4-зондовой методике <sup>1</sup> на мостиках из ВТСП-пленок, изготовленных методом лазерного напыления в ИПФ АН СССР. Параметры мостиков: толщина  $1000 \div 6000 \text{ \AA}$ , ширина мостика  $0,05 \div 0,1 \text{ mm}$ , длина  $3 \div 8 \text{ mm}$ ,  $j_c \approx 10^5 \text{ A/cm}^2$ ,  $T_c \approx 88 \text{ K}$ ,  $\Delta T_c \approx 2 \div 3 \text{ K}$ .

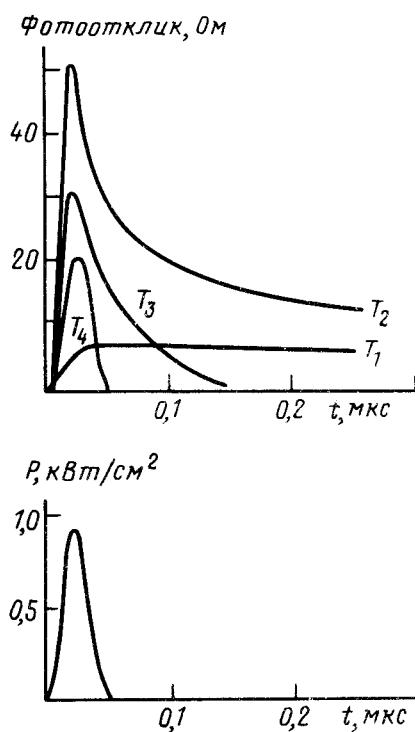


Рис. 1.

На рис.1б изображена форма лазерного импульса, действующего на пленку. На рис.1а изображена экспериментально наблюдаемая форма фотоотклика ВТСП-пленки на этот импульс (в виде возникающего на пленке напряжения) в зависимости от времени при различных температурах:  $T_1 = 110\text{K}$ ,  $T_2 = T_c$ ,  $T_3 = 84\text{K}$ ,  $T_4 = 77\text{K}$ . При  $T > T_c$  время релаксации составляет  $\approx 10^{-4}\text{s}$ , что указывает на его тепловую природу. С уменьшением температуры, начиная с  $T_c$ , возникает более быстрая составляющая, время релаксации которой быстро убывает, вплоть до  $\approx 10 \text{ нс}$  при  $T = 50\text{K}$ <sup>1)</sup>. Таким образом, в интервале температур  $\approx 40 \text{ K}$  время релаксации отклика уменьшается на  $3 \div 4$  порядка. Следует отметить наблюдающуюся задержку отклика относительно импульса лазера ( $\sim$  несколько нс), что свидетельствует о наличии порога по интенсивности излучения для данного эффекта.

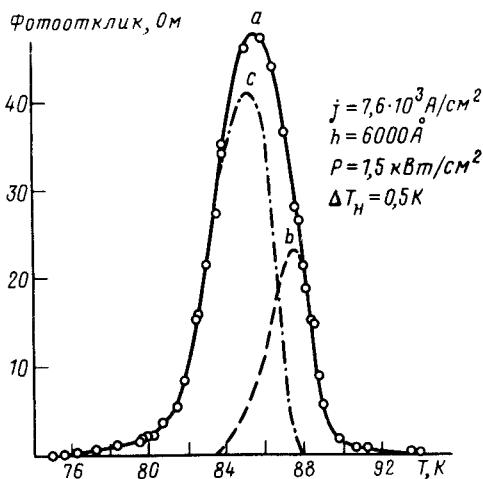


Рис. 2. *a* - Наблюдаемый отклик, *b* - тепловая компонента отклика, *c* - нетепловая компонента отклика

Зависимости величины амплитуды отклика от температуры приведены на рис.2. Пунктиром показан отклик, вычисленный с использованием зависимости  $R(T)$  по формуле  $\Delta U = (dR/dT)\Delta T_H$ , где  $\Delta T_H$  - экспериментально определяемый нагрев пленки при  $T = 110\text{K}$ . При интенсивности света  $\approx 1,5 \text{ кВт/см}^2$   $\Delta T_H \approx 0,5\text{K}$ .

Для подтверждения правильности указанной оценки теплового разогрева системы нами были проведены дополнительные экспериментальные исследования на пленках ВТСП с широким сверхпроводящим переходом  $\Delta T_c$ . Из-за "плохого" качества пленок, в актуальной области температур их состояние было резистивным, что позволяло непосредственно измерить величину теплового нагрева системы. В то время как теплофизические свойства системы, определяющиеся в данном случае тонких пленок ВТСП свойствами подложки ( $\text{Zr}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$  или  $\text{SrTiO}_3$ ), были практически такими же, как и в случае пленок "хорошего" качества. Результатом этих экспериментов явилось подтверждение достаточной точности оценки величины нагрева образца. Как и в <sup>2</sup>, наблюдаемая максимальная амплитуда отклика превосходит амплитуду теплового отклика. Максимум амплитуды отклика смешен вниз по температуре на величину  $\approx 2\text{K}$  относительно максимума производной  $dR/dT$  экспериментальной зависимости  $R(T)$ . Быстрый отклик наблюдается при температурах  $T \geq 50\text{K}$  (для тонких пленок), что также подтверждает его нетепловую природу.

<sup>1)</sup>На использованной нами аппаратуре невозможно было зарегистрировать времена короче  $\sim 7 \text{ нс}$ , так что характерные времена быстрого отклика могут быть и существенно меньше.

При облучении при  $T < T_c$  ВТСП-пленки лазерными импульсами различной амплитуды, имевшими длительность 30 нс, и следовавшими через  $\approx 3$  мкс наблюдался эффект "запоминания": величины отклика пленки были пропорциональны не амплитуде импульса, воздействующего на систему в данный момент, а амплитуде предыдущего импульса (см. рис. 3)<sup>2)</sup>. ВТСП-пленка "запоминала" первый импульс, при освещении вторым импульсом возникал отклик, пропорциональный амплитуде первого импульса, при освещении третьим импульсом отклик был пропорционален амплитуде второго импульса, и так далее, вплоть до нагревания образца до  $T \approx T_c$ , где быстрый отклик системы и эффект "запоминания" пропадают. Данный эффект сохранялся и в том случае, когда лазерные импульсы следовали с интервалом до минуты. На пленках с большей шириной перехода  $\Delta T$ , время, в течение которого сохраняется "память" о действующем на пленку лазерном импульсе уменьшается.

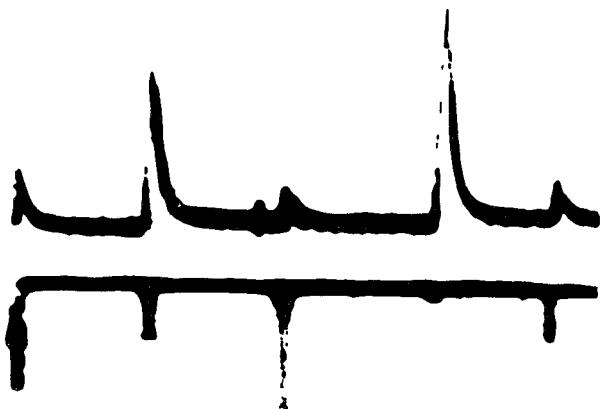


Рис. 3. Осциллограммы световых импульсов и откликов на них. Нижний луч - лазерные импульсы, верхний луч - отклик системы

Нетепловой отклик ВТСП-пленки может быть объяснен неравновесностью, возникающей под действием лазерного излучения в электронной, фононной<sup>2</sup>, магнитной подсистемах. Последняя связана с магнитным полем пропускаемого по пленке тока. В конкретных условиях вклад подсистем может быть различным, и потому здесь важно обратить внимание на структуру используемых в эксперименте пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ . Исследуемые образцы представляли собой кристаллическую текстуру с осью  $\vec{c}$ , перпендикулярной плоскости пленки, а в плоскости  $ab$  имелись кристаллиты с размером  $\sim 1000\text{\AA}$ , вследствие чего пленка представляла собой совокупность областей "сильной" (в кристаллитах) и "слабой" (в пространстве между кристаллитами) сверхпроводимости. Под действием оптического излучения сверхпроводимость разрушается в первую очередь, в областях "слабой" сверхпроводимости, где сверхпроводящая щель  $\Delta$  мала. Мы предполагаем, что наблюдаемый эффект "запоминания" может быть объяснен проникновением магнитного поля в области разрушенной сверхпроводимости и его замораживанием в этих областях. Отметим, что эффект замораживания магнитного поля наблюдался в экспериментах на ВТСП-пленках и другими авторами (см., например,<sup>3)</sup>).

<sup>2)</sup>На лазерные импульсы одинаковой амплитуды наблюдался отклик разной величины, которая коррелировала с амплитудой предыдущего импульса. Этим доказывается, что в эксперименте наблюдается корреляция отклика именно с предыдущим импульсом, а не обратная зависимость амплитуды отклика от амплитуды лазерного импульса.

За время порядка времени энергетической релаксации квазичастиц  $\tau_e$  (типичные  $\tau_e \sim 10^{-12}$  с) "слабая сверхпроводимость разрушается, и магнитное поле начинает проникать в области неоднородности. Причем, полная энергия магнитного поля, проникающего в пленку, пропорциональна объему, в котором разрушается сверхпроводимость, а следовательно - амплитуде лазерного импульса. При "выключении" лазерного импульса сверхпроводимость на неоднородностях восстанавливается за время порядка  $\tau_e$ , в то время как магнитное поле "не успевает" выйти из области неоднородности<sup>3)</sup>, и остается в виде "замороженной" вихревой структуры. Причем число вихрей оказывается пропорционально полной энергии магнитного поля, проникнувшего в образец. При действии следующего лазерного импульса возникает резистивный отклик системы, связанный с движением этих вихрей. По окончании действия импульса на неоднородностях оказывается замороженной новая порция магнитного поля. Таким образом, мы имеем резистивный отклик системы, пропорциональный числу магнитных вихрей, замороженных в областях неоднородности с помощью предыдущего лазерного импульса. С этим и связан, по нашему мнению, эффект "запоминания". Отметим, что практическим приложением этих эффектов может быть их использование при создании быстродействующих детекторов электромагнитного излучения и для оптической записи информации.

В заключение авторы выражают благодарность А.А.Андронову, В.В.Курину за полезные дискуссии, Е.Б.Клюенкову, С.А.Павлову, А.В.Варганову, Е.В.Пискареву, С.Н.Овчинникову и Т.А.Кузьминой за предоставленные образцы.

### Литература

1. Мицен К.В. Труды ФИАН, 1986, 174, 124.
2. Zeldov E., Amer N.M. et al. Phys. Rev. B., 1989, 39, 13, 9712.
3. Гришин А.М. и др. Тезисы 26-го Всесоюз. совещ. по физике низких температур. Донецк 1990, 1, с. 156.

Институт прикладной физики  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
1 августа 1990 г.

<sup>3)</sup> Характерное время, за которое магнитное поле могло бы выйти из области неоднородности, определяется временем релаксации тока.