



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-210

P14-95-210

С.И.Тютюнников, В.Н.Шаляпин, Н.И.Балалыкин,
Ю.Бух, М.Ергель*, Н.Н.Скынтее

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕРХПРОВОДЯЩИХ
ПЛЕНОК *YBCO*, *BSCCO*, *TBCCO* В ВИДИМОЙ
И БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ЧАСТИ СПЕКТРА

Направлено в журнал «Сверхпроводимость:
физика, химия, техника»

*Электротехнический институт Словацкой АН, Братислава

1995

С момента открытия высокотемпературной сверхпроводимости в оксидных структурах были проведены исследования оптических характеристик, направление которых — установление фоновых мод колебаний и определение величины энергетической щели [1]. Гораздо меньшее число работ было посвящено эффектам взаимодействия оптического излучения с электронной системой ВТСП-структур [2], [3]. В работе [3] были обнаружены эффекты наведенной светом фотопроводимости в пленке $YBCO$ в полупроводниковой фазе с содержанием кислорода $X = 6.4$. Исследования на пучке синхротронного излучения импульсного накопителя электронов оптических свойств пленки $YBCO$ в видимой и инфракрасной части спектра привели к обнаружению нелинейных эффектов, один из которых приводит к пороговому изменению пропускания ВТСП-пленки в видимой области в зависимости от мощности падающего излучения [4].

Целью данной работы явилось изучение оптических свойств, а именно, пропускания излучения для диапазона длин волн $0.2 < \lambda < 0.9$ мкм и мощности падающего излучения $P \cong 10^{-5} \div 1.0$ Вт для ВТСП-пленок типа $BSCCO$ $T_c = 80K$; $TBCCO$ $T_c = 87K$; $YBCO$ $T_c = 77K$. На используемой пленке $YBCO$ были проведены измерения энергетической щели в сверхпроводящем состоянии на пучке синхротронного излучения (СИ) [5].

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Образцы для исследований были изготовлены в Электротехническом институте Словацкой академии наук. Пленки были приготовлены на подложках из MgO нанесением аэрозоля из пневматического распылителя стехиометрических водных растворов нитратов. Методика описана в работе [6].

Толщина пленок была одинаковой и составляла $\cong 1$ мкм. Все пленки были хорошо ориентированы и текстурированы. Измерение спектров пропускания ВТСП-пленок проводилось в диапазоне длин волн $\lambda = 0.2 \div 0.9$ мкм. В качестве источника излучения использовалась эталонная спектрометрическая лампа накаливания СИ 8-200V, излучение которой фокусировалось на щель монохроматора сферическим зеркалом. Сканирование по спектру производилось светосильным дифракционным монохроматором. Излучение из монохроматора МДР-2 направлялось в прокачанной оптический криостат, в котором на подвижной штанге

крепилась исследуемые пленки. Для контроля температуры пленки на ее поверхность приклеивалась теплопроводящим клеем термопара.

Детектором прошедшего сквозь пленку ВТСП-излучения служил фотоэлектронный умножитель ФЭУ-100, обладающий большим динамическим диапазоном и, соответственно, большой обнаружительной способностью. В качестве измерительного прибора использовался самопишущий потенциометр ЛКС-4-003 с минимальной чувствительностью до 5 мкВ, который измерял выходное напряжение на ФЭУ. Быстродействие измерительной системы $\cong 10^{-1}$ с.

Сканирование по длинам волн осуществлялось поворотом дифракционной решетки шаговым двигателем, который имел регулировку по скоростям и управлялся от внешнего запуска. Измерение спектра от 0.4 до 0.9 мкм проводилось за 5 ÷ 10 мин.

Спектр пропускания определяется как отношение амплитуд сигналов от прошедшего через объект излучения $U_1(\lambda)$ и прошедшего через чистую подложку из MgO $U_0(\lambda_i)$: $\phi(\lambda_i) = U_1/U_0$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

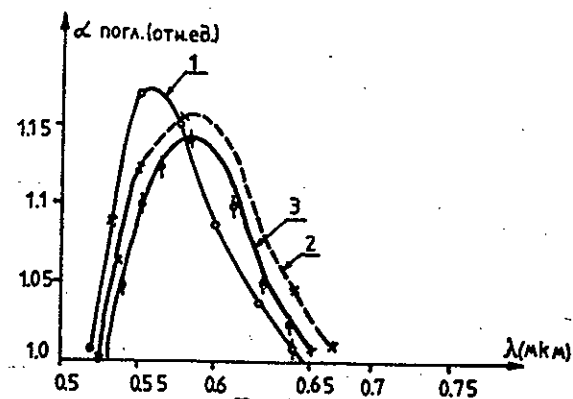


Рис.1. Спектры поглощения при $T = 300K$: 1. $BSCCO - T_c = 80K$; 2. $TBCCO - T_c = 86K$; 3. $TBCCO - T_c = 87K$

Измерение спектров пропускания ВТСП-пленок проводилось в широком интервале температур $5 \div 300 K$. Регулировка температуры в криостате производилась с помощью компактного нагревателя, который непосредственно был установлен внутри криостата. На рис.1 показаны результаты измерения

поглощения в пленках *BSCCO*, *TBCCO*, выполненного при комнатной температуре. На рис.2 – спектр пропускания *YBCO* при двух температурах: $T = 300K$ и $T = 5K$. При измерении спектров пропускания из-за значительного поглощения в пленке ширина выходной щели была выбрана достаточно большой: $\Delta\lambda = 80\text{Å}$. В спектре пропускания *YBCO* при $T \leq 70K$ обнаружена особенность при $\lambda = 0.65$ мкм. Были проведены измерения зависимости пропускания пленок *BSCCO*, *TBCCO* от температуры на длине волны $\lambda = 0.65$ мкм, соответствующей максимуму поглощения. В этих измерениях образец охлаждался до минимальной температуры, затем подавался ток в нагреватель и температура в течение определенного времени росла, при этом происходила запись прошедшего сквозь образец света. На Рис.3 показаны эти зависимости.

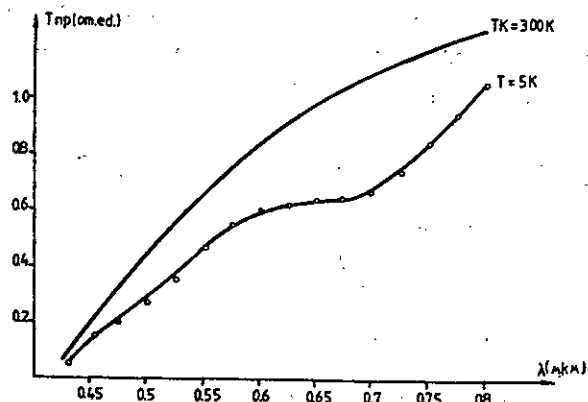


Рис.2. Спектр пропускания *YBCO* при $T = 300K$, $T = 5K$

Характерным для всех пленок является уменьшение пропускания с уменьшением температуры в диапазоне $60K < T < 300K$. В области температур $T > 300K$ (нагрев пленок) обнаружено уменьшение пропускания с увеличением T , т.е. $d\phi/dt < 0$, причем при нагреве и последующем уменьшении температуры, т.е. при возвращении в начальное состояние, пропускание не восстанавливается. На рис.4 показана зависимость пропускания при нагреве пленки *BSCCO* до $T = 320K$.

При измерениях спектров пропускания ВТСП-пленок, а также в наших равных измерениях болометрических характеристик *YBCO* пленки были

обнаружены фотохромные свойства [7]. Это проявляется в том, что при некотором критическом значении падающего на пленку излучения $P_{\text{П}}$ коэффициент пропускания начинает уменьшаться со временем экспозиции пленки. Оценки падающей мощности, при которой происходит фотохромный эффект (по измеренной температуре спектральной лампы), дают значение:

$$P_{\text{П}} = (2 \div 3) \times 10^{-4} \text{ Вт при } \lambda = 0.5 \div 0.6 \text{ мкм.}$$

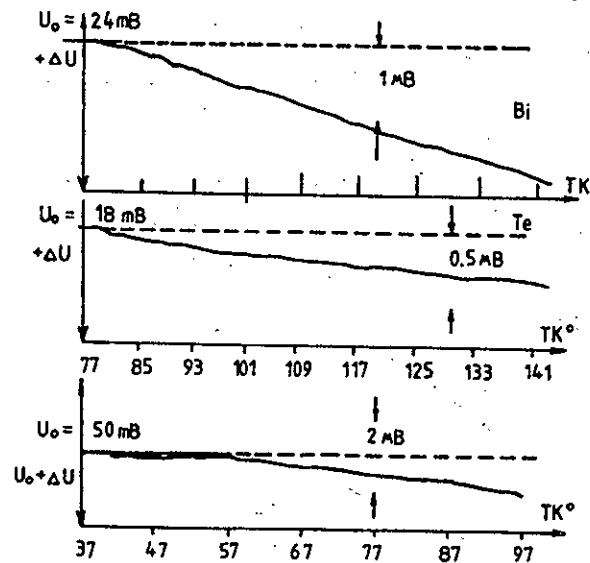


Рис.3. Зависимость пропускания сверхпроводящих пленок от температуры на длине волны $\lambda = 0.65$ мкм. Кривая в центре - *TBCCO*, кривая сверху и снизу - *BSCCO*

При превышении мощности этого порога величина фотохромного эффекта не зависит от падающей мощности.

На рис.5 показано уменьшение пропускания со временем экспозиции пленки

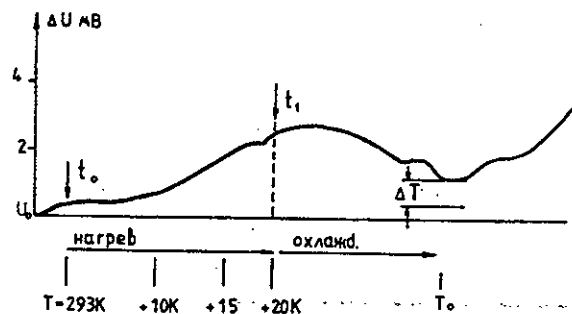


Рис.4. Зависимость пропускания пленки *BSCCO* от температуры, $\lambda = 0.65$ мкм

BSCCO (2212) для длины волны $\lambda = 0.6$ мкм, измеренное при разных температурах. На рис.6 представлена зависимость пропускания от времени для пленки *TBCCO*. Аналогичные измерения были проделаны для *YBCO*.

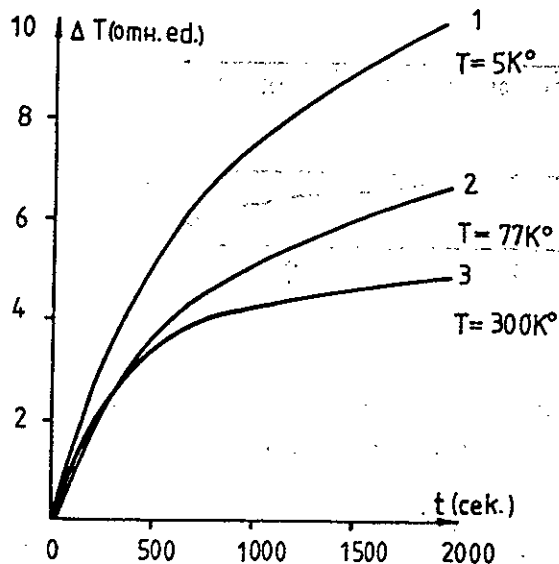


Рис.5. Зависимость изменения пропускания со временем экспозиции для пленки *BSCCO* при мощности излучения $P > P_{пор.}$, $\lambda = 0.6$ мкм

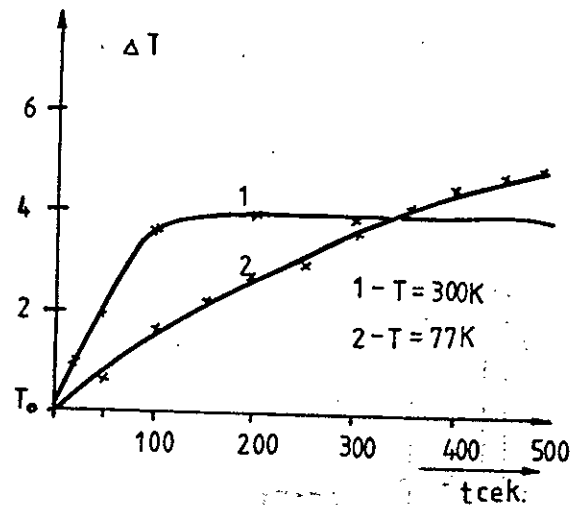


Рис.6. Зависимость изменения пропускания от времени для пленки *TBCCO*

В таблице 1 представлены средние предельные значения уменьшения пропускания для 3-х разных пленок, измеренные для $\lambda = 0.65$ мкм при $T = 77K$ и для одного значения светового потока.

Таблица 1

Тип пленки	<i>YBCO</i>	<i>BSCCO</i>	<i>TBCCO</i>
T_c [°K]	77	80	87
$\Delta\phi/\phi$ [%]	17	12	5

Были проведены спектральные измерения фотохромного эффекта (ФХЭ), из которых видно (рис.7), что наиболее эффективно коротковолновое излучение. Однако на данном этапе измерений, вследствие поглощения излучения в окнах криостата, мы не смогли работать с длинами волн $\lambda < 0.35$ мкм. Временные зависимости ФХЭ в наших измерениях описываются зависимостью $|\Delta\phi/\phi_0| = const \times (1 - e^{-kt})$, параметр k определяет скорость нарастания процесса. В неорганических кристаллах, стеклах его проявление связывают с образованием центров окраски (F -центров) на кислородных вакансиях [8]. Процесс характеризуется следующими скоростями: K_{AB} , т.е. переход из основного

состояния в метастабильное с образованием F -центра; затем следует его релаксация двумя путями: K_T -термическим, и за счет снятия возбуждения проходящим светом: K_{BA} . При этом если пренебречь $K_T \ll K_{BA}$, то зависимость максимального изменения пропускания, вызванного ФХЭ, можно записать в виде

$$|\Delta\phi/\phi_0|_{max} = \frac{K_{AB}}{K_{AB} + K_{BA}} \quad (1)$$

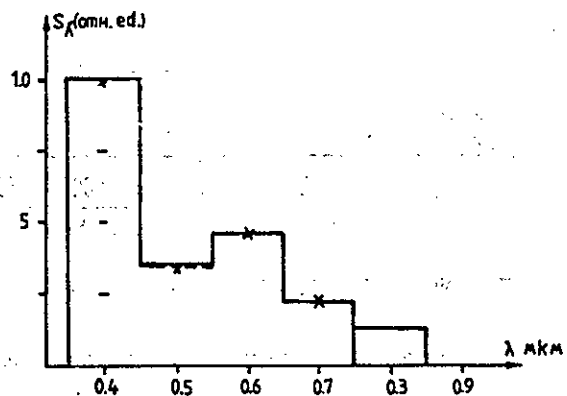


Рис.7. Спектральная зависимость фотохромного эффекта для $BSCCO$

Если обратиться к экспериментальным зависимостям $\phi = \phi(t)$, видно, что при уменьшении температуры меняется скорость релаксации из метастабильного состояния K_{BA} ; $K_{BA} \cong T^\alpha$. Непосредственно в этом эксперименте при однолучевой схеме измерения не представляется возможным измерить кинетику затухания ФХЭ. Для этого необходимо разделить по длинам волн λ возбуждение ФХЭ и измерение фотоиндуцированного пропускания. Из таблицы 1 видно, что абсолютная величина ФХЭ коррелирует с T_c , т.е. чем выше T_c , тем меньше кислородных вакансий и тем меньше ФХЭ. Проявление эффекта поглощения света в ВТСП-пленках и его последующая временная релаксация привели к поиску возможного канала снятия возбуждения посредством переизлучения. Были поставлены эксперименты по измерению излучения пленки ВТСП после облучения светом. На рис.8 представлена зависимость сигнала с ФЭУ после перекрытия возбуждающего излучения при разных температурах. Остаточное излучение наблюдается на всех пленках ВТСП.

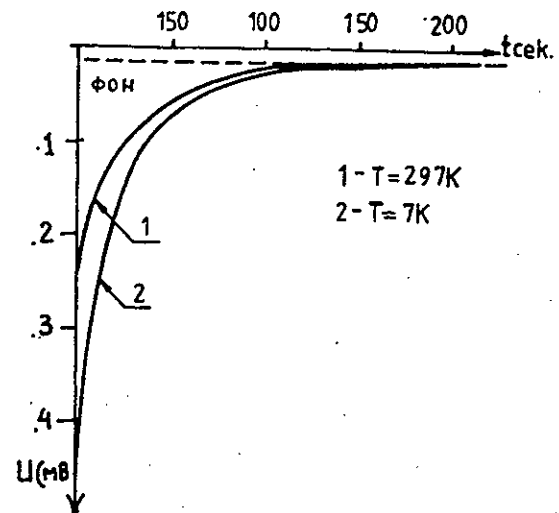


Рис.8. Временная зависимость остаточного оптического излучения $BSCCO$ от времени; $t = 0$ — конец облучения

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Обнаружена особенность в спектре пропускания пленки $YBCO$ при $T < 70K$.
2. В спектрах пропускания ВТСП-пленок обнаружено проявление фотохромного эффекта (светоиндуцированное поглощение) в области спектра $\lambda = 0.3 \div 0.9$ мкм.
3. Величина ФХЭ коррелирует с температурой сверхпроводящего перехода.
4. Обнаружено остаточное оптическое излучение пленки под действием проходящего излучения видимого диапазона.

Список литературы

- [1] Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников — Под редакцией Д.М. Гинзберга — М.: Наука/1990, с341

- [2] V.I. Kudinov, I.L. Chaplygin et al. — Physics letters A V 157, N° 4,5/1991, pp290-293
- [3] R. Zamboni et al. — Solid State Communs., 70 N° 8/1989, pp813-816
- [4] С.И. Тютюнников, В.Н. Шаляпин, В.П. Саранцев — Сообщение ОИЯИ, P14-92-576/1992
- [5] Н.Р. Скитей и др. — Препринт ОИЯИ, P14-93-411/1993
- [6] J.M. Jergel et al. — Suptrc. Sci. Technol., N° 5/1990, pp663-670
- [7] С.И. Тютюнников, В.Н. Шаляпин — Препринт ОИЯИ, P14-92-575/1992
- [8] В.А. Барачевский и др. — Фотохромизм и его применение — М. : Химия/1971, с105

Рукопись поступила в издательский отдел
12 мая 1995 года.