

ОБНАРУЖЕНИЕ ФОТОХРОМНОГО ЭФФЕКТА В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНКАХ В ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

С.И.Тютюнников, В.Н.Шаляпин, Н.И.Балалыкин,
Ю.Бух, М.Эргель

В ВТСП-пленках обнаружен фотохромный эффект, который выражается в увеличении поглощения света для длин волн $\lambda \leq 0,7$ мкм с увеличением экспозиционной дозы. Величина фотохромного эффекта и время нарастания коррелируют с температурой сверхпроводящего перехода.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

The Display of Photochromic Effect in the High Temperature Superconducting Thin Films in the Visible Region of Spectrum

S.I.Tyutyunnikov, V.N.Shalyapin, N.I.Balalykin,
J.Buch, M.Jergel

The photochromic effect has been found in the HTSC films. It is manifested in the increase of light absorption for the wavelengths $\lambda \leq 0.7\mu\text{m}$ when the exposition dose is increased. The value of photochromic effect and its time transition depend on the temperature of superconducting transition.

The investigation has been performed at the Laboratory of Particle Physics, JINR.

В настоящее время получен обширный экспериментальный материал по оптическим свойствам высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), прежде всего УВСО в области электронных возбуждений $\hbar\omega > 1$ эВ [1]. Однако во всех этих исследованиях в поведении ВТСП-пленок не наблюдались эффекты взаимодействия излучения со структурой, которые приводили бы к эффектам оптической памяти. При исследовании болометрических характеристик УВСО-структуры [2] было замечено, что резистивный отклик уменьшается со временем экспозиции. Целью настоящей работы явилось установление закономерностей оптического поглощения в видимой области спектра на ВТСП-пленках разного состава: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (УВСО), $\text{Bi}_2(\text{Pb})\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (BSCCO), TlBaCaCuO_x (ТВССО).

Эксперимент

Измерения пропускания ВТСП-пленок были выполнены по однолучевой схеме. Источник излучения — спектральная лампа накаливания СИ8-200У, свет от которой проектировался сферическим зеркалом на щель монохроматора МДР-2 с диапазоном перестройки по длинам волн $0,2 + 2,5$ мкм. После монохроматора был установлен оптический криостат прокачного типа с регулируемой температурой в диапазоне $5 + 300$ К. Детектором прошедшего излучения служил ФЭУ-100 с большим динамическим диапазоном и малым темновым током $I_T \leq 10^{-11}$ А. Сигнал с детектора излучения ФЭУ или резистивный сигнал с пленки ВТСП измерялся двухкоординатным электронным потенциометром ЛКС-4-003.

Сканирование по длинам волн осуществлялось поворотом дифракционной решетки шаговым двигателем, который имел регулировку по скоростям и управлялся от внешнего запуска. Спектр пропускания определялся как отношение амплитуд сигналов от прошедшего сквозь объект излучения u_1 и от прошедшего сквозь чистую подложку из MgO излучения u_0 :

$$\Phi(\lambda_i) = u_1 / u_0.$$

Временная стабильность источника излучения в течение нескольких часов работы была не хуже 0,5% и специально контролировалась.

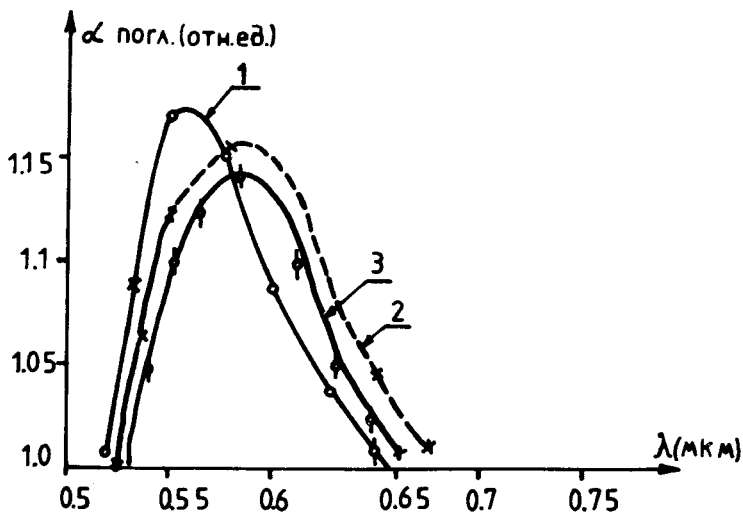


Рис.1. Спектры поглощения пленок: 1 — BSCCO ($T_c = 80$ К); 2 — ТВССО ($T_c = 86$ К); 3 — ТВССО ($T_c = 87$ К) при $T = 300$ К

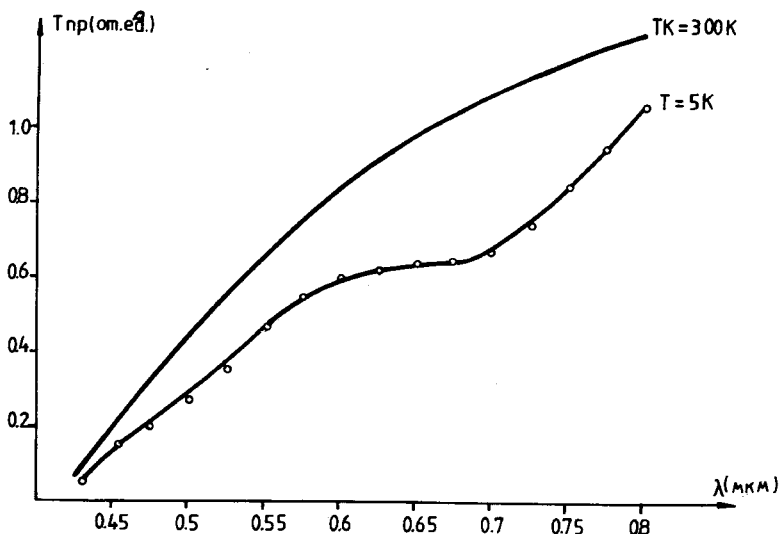


Рис.2. Спектры пропускания пленки YBCO при температуре 300 и 5 К

Были измерены спектры пропускания пленок YBCO ($T_c = 77$ К), BSCCO ($T_c = 80$ К), TBCCO ($T_c = 86$ и 87 К). Пленки были изготовлены на подложках из MgO нанесением аэрозоли из пневматического распылителя стехиометрических водных растворов нитратов [3]. Температуры переходов T_c определялись по 4-точечной методике. Толщина пленок была в пределах 1 мкм. Все пленки были ориентированы и текстурированы. На рис.1 показаны спектры поглощения пленок BSCCO, TBCCO. На рис.2 показан спектр пропускания YBCO, меняющийся в зависимости от температуры пленки. Выполненные измерения спектров пропускания были проведены при падающей мощности излучения $P < 10^{-4}$ Вт для $\lambda = 0,6$ мкм. При измерениях спектра пропускания на длинах волн $\lambda \leq 0,6$ мкм обнаружилось, что при падающей мощности излучения $P \geq P_{\text{порога}} = 2 \cdot 10^{-4}$ Вт происходит уменьшение коэффициента пропускания в течение облучения.

На рис.3 показаны временные зависимости пропускания пленки BSCCO для длины волны $\lambda = 0,65$ мкм при разных температурах. В зависимости от дозы облучения, определяемой временем, пропускание уменьшается. Измерения, проведенные на других пленках, также показывают наличие индуцированного падающим светом фотопоглощения для длины волны $\lambda = 0,65$ мкм.

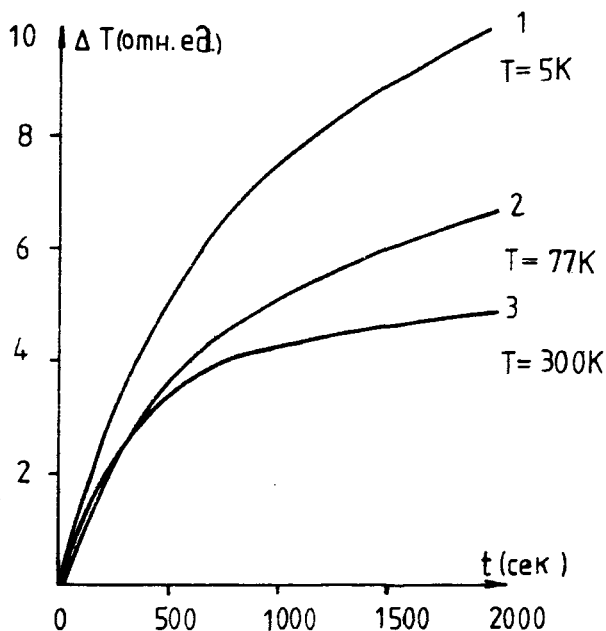


Рис.3. Изменение пропускания в течение времени экспозиции для пленки BSCCO при падающей мощности излучения $P > P_{\text{пор}}$ при температуре 300, 77, 5 К, $\lambda = 0,65$ мкм

Таблица

Тип пленки	YBCO	BSCCO	TBCCO
T_c , К	77	80	87
$\frac{ \Delta\Phi }{\Phi_0}$, %	17	12	5

В таблице представлены значения абсолютной величины уменьшения пропускания при одинаковой дозе облучения для $\lambda = 0,65$ мкм, температура измерения $T = 77$ К.

Временное поведение изменения пропускания, как показали эксперименты, описывается зависимостью типа

$$\left| \frac{\Delta\Phi}{\Phi} \right| = \text{const} (1 - e^{-kt}). \quad (1)$$

В неорганических кристаллах [4] и слоистых перовскитоподобных соединениях типа $\text{Bi A}_{n-1} \text{B}_n \text{O}_{3n+1}$ наблюдается фотохромный эффект,

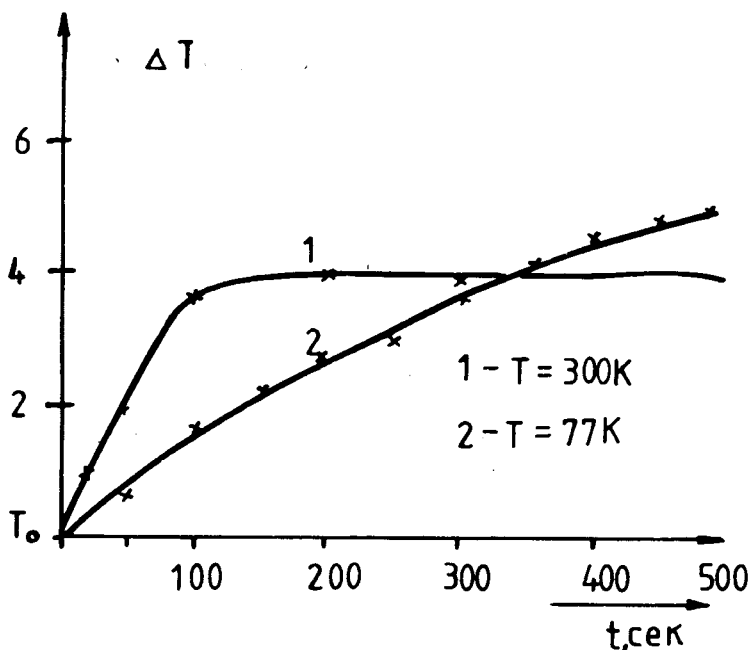


Рис.4. Изменение пропускания для пленки ТВССО на длине волны $\lambda = 0,65$ мкм в течение экспозиции облучения

который объясняется наличием кислородных вакансий, на основе которых образуются долгоживущие метастабильные состояния. Как видно из таблицы, для ВТСП-пленок с меньшей температурой перехода значение $\frac{|\Delta\Phi|}{\Phi}$ значительно больше, чем для пленок с большим значением T_c .

Сравнение времен нарастания фотохромного поглощения также показывает, что в зависимости от температуры перехода величина времени нарастания разная: чем выше T_c , тем меньше время нарастания. Поскольку кислородные вакансии в плоскостях CuO_2 определяют температуру перехода, то наблюдаемые зависимости можно объяснить кислородными вакансиями в плоскостях. Сравнение величины фотохромного поглощения пленок разного состава: от УВСО, где есть и две проводящие плоскости CuO_2 , и плоскости цепочек CuO_x , до ТВССО, где есть только плоскости CuO_2 , — позволяет сделать вывод о том, что наблюдаемый эффект определяется плоскостями CuO_2 .

Наблюдаемый фотохромный эффект может быть использован для диагностики кислородных вакансий и, соответственно, для контроля качества пленки без электрических измерений.

Литература

1. Физические свойства высокотемпературных сверхпроводников. — Под ред. Д.М.Гинзберга. М.: Мир, 1990, с.341.
2. Тютюнников С.И., Шаляпин В.Н. — Сообщение ОИЯИ Р14-92-575, Дубна, 1992.
3. Jergel Y.M. et al. — Supercond. Sci. Technol., 1990, No.5, p.663.
4. Барачевский В.А. и др. — Фотохромизм и его применение. М.: Наука, 1977, с.105.

Рукопись поступила 22 июля 1994 года.