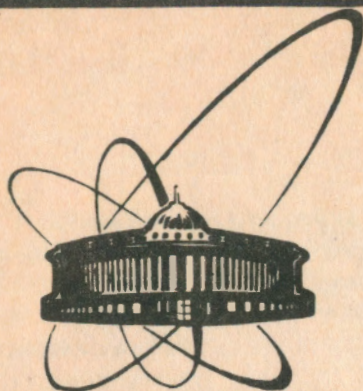


92-576



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

P14-92-576

С.И.Тютюнников, В.Н.Шаляпин, В.П.Саранцев

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ  
ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ПЛЕНКИ  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$   
С СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ  
ИМПУЛЬСНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ

1992

Первые эксперименты по исследованию взаимодействия пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с синхротронным излучением

импульсного накопителя электронов

Приводятся результаты исследования взаимодействия импульсного потока синхротронного излучения в инфракрасном диапазоне с ВТСП-пленкой. Для проведения экспериментов был создан оптический канал в виде фокусирующего конического световода, который по сравнению с трехзеркальным каналом позволил увеличить полную мощность синхротронного излучения на образце в 20 раз и довести до 30 Вт. Обнаружено влияние импульсных электромагнитных полей на резистивный отклик ВТСП-пленки. В широком интервале мощностей синхротронного излучения обнаружено отсутствие болометрического эффекта на ВТСП-пленке, обсуждаются возможные механизмы этого явления. Обнаружено изменение коэффициента пропускания синхротронного излучения ВТСП-пленки вблизи температуры перехода в сверхпроводящее состояние  $T_c$  в зависимости от мощности излучения.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 1992

Перевод авторов

Tyutyunnikov S.I. et al.

P14-92-576

The First Investigation Experiments of Interaction  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Films with Synchrotron Radiation of Impulse Electron

Accumulator

The results of investigation of the synchrotron radiation interaction with HTSC films in infrared spectrum range are presented. The optical conic channel was constructed to focus the radiation on films. This channel allowed to raise the total power in 20 times and to reach the 30 W level on the target. The influence of impulse magnetic fields on the resistive response of HTSC film is detected. No bolometric response was found on HTSC films in the broad interval of the incident power. The reasons of this effect are discussed. The change of the transition coefficient of the HTSC films depending on the radiation power is discovered near the temperature  $T = T_c$ .

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

В исследованиях классических сверхпроводящих структур инфракрасная (ИК) спектроскопия явилась основным методическим инструментом в экспериментах по обнаружению энергетической щели, ее анизотропии, по проведению качественных измерений соотношения  $2\Delta/KT$  ( $2\Delta$  — ширина энергетической щели,  $T$  — температура сверхпроводника) [1]. Углубление знаний о природе сверхпроводимости привело к предсказанию новых эффектов в поведении сверхпроводящих пленок при взаимодействии с инфракрасным излучением, например эффекта возникновения квазичастиц и их влияния на температуру перехода [2]. В дальнейшем экспериментально был обнаружен эффект стимуляции сверхпроводимости при длине волны падающего излучения  $\lambda > \lambda_{\text{гран}}$ , где  $\lambda_{\text{гран}}$  соответствует ширине щели  $2\Delta$  [3]. Для классических сверхпроводников эффекты взаимодействия с излучением наблюдались в районе частот  $\nu = 30$  ГГц при уровне мощности  $10^{-4}$  Вт. Взаимодействие излучения со сверхпроводящей пленкой при длине волны  $\lambda < \lambda_{\text{гран}}$  приводило к возникновению квазичастиц и понижению температуры перехода. Оценки показывают, что мощность падающего излучения, необходимая для разрушения сверхпроводимости, пропорциональна  $\Delta^2$  [4]. Целью экспериментов, представленных в данной работе, является исследование влияния синхротронного излучения (СИ) в ИК-диапазоне длин волн на параметры сверхпроводящего перехода.

Эксперименты проводились на импульсном накопителе электронов, имеющем следующие параметры: энергия электронов  $E_e \cong 18$  МэВ, радиус орбиты  $R = 4$  см, число электронов  $N_e = 5 \cdot 10^{12}$  (ток  $I_e = 1$  кА), длительность макроимпульса  $\cong 15$  мс. Характеристики спектра СИ приведены в [5]. Для фокусировки СИ на образец (ВТСП-пленку) применялся конусный оптический канал, состыкованный с криостатом (рис.1). Конусная фокусировка позволила увеличить освещенность образца в 20 раз по сравнению с трехзеркальной оптической системой [6] и довести уровень мощности СИ (детектор Ge : Au (рис.2)) в диапазоне длин волн  $\lambda = 4+6$  мкм до  $P_{\Sigma} \cong 30$  Вт.

В работе [5] показано, что в процессе формирования электронного кольца в накопителе спектр СИ во времени сдвигается от более длинных к более коротким длинам волн, что может быть использовано для светосильных измерений спектров пропускания ВТСП-пленок. Для этих целей важно, чтобы оптический канал, собирающий СИ, принимал излу-

СОВЕТСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
БИБЛИОТЕКА

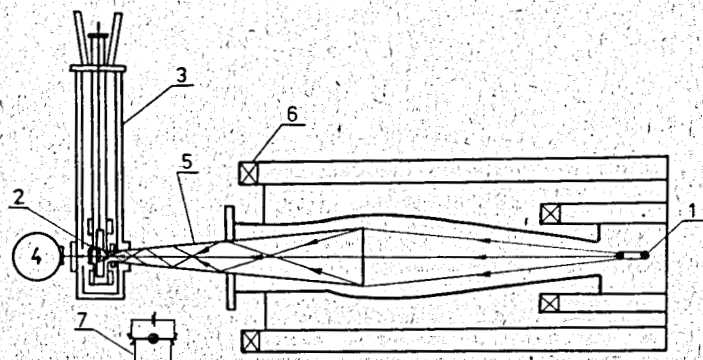


Рис. 1. Блок-схема оптического канала на импульсном накопителе: 1 — электронное кольцо; 2 — образец в криостате; 3 — криостат; 4 — детектор, регистрирующий прошедшее излучение; 5 — конический световод; 6 — катушки магнитного поля

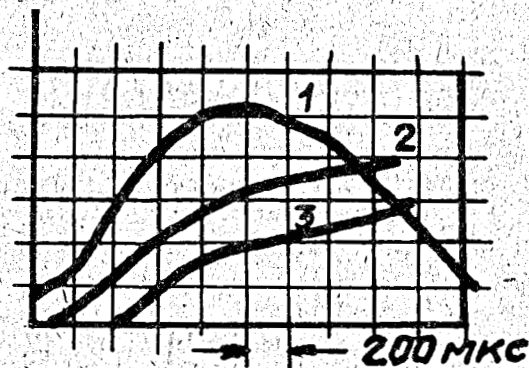


Рис. 2. Осциллограммы импульсов ИК излучения (детектор Ge: Au): 1 — ток в катушке магнитного поля, 2 — конический световод, 3 — система из трех зеркал

образца достигает величины  $E_{200} = 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{мкм}^{-1} \cdot \text{см}^2$ .

Для измерений эффектов воздействия ИК СИ на ВТСП-образцы использовались пленки состава  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  толщиной 0,8 мкм, приготовленные магнетронным распылением на подложках из сафира и корунда.

чение кольца при его сжатии с максимального диапазона радиусов, что эквивалентно максимальному диапазону перестройки спектра СИ по длинам волн. На осциллограммах рис. 2 показаны временные эволюции сигналов с детектора Ge: Au для двух оптических каналов: конусного и трехзеркального. Видно, что конусный канал обеспечивает более широкий диапазон сканировки по длинам волн СИ, а именно: от  $\lambda_{\text{макс}} \cong 200 \text{ мкм}$  до  $\lambda_{\text{мин}} \cong 1 \text{ мкм}$ . Оценка показывает, что на длине волн  $\lambda = 200 \text{ мкм}$  освещенность

Измерение сопротивления пленки при охлаждении до температуры  $T = 77 \text{ K}$  проводилось по четырехточечной методике. На рис. 3 показана типичная зависимость сопротивления пленки от температуры при транспортном токе  $I_e = 10^2 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$ . Контактное сопротивление при температуре  $T = 77 \text{ K}$  не превышало  $R_0 = 3 \text{ Ом}$ .

Для проверки болометрического воздействия света на пленку подавалось излучение теплового источника с длительностью импульса  $\tau \cong 10 \text{ мс}$  в диапазоне длин волн  $\lambda = 1+3 \text{ мкм}$  и освещенностью на образце  $E_T = 0,2 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$ . Световой импульс был синхронизован с временем запуска ускорителя. На рис. 4 показана типичная осциллограмма импульса пленки при температуре  $T = 82 \text{ K}$  (температура максимальной производной  $dR/dT$ ).

При работе на накопителе были обнаружены следующие эффекты.

1. Импульсное магнитное поле накопителя создавало резистивный сигнал (рис. 5а), амплитуда которого была максимальной в сверхпроводящем состоянии ( $T = 77 \text{ K}$ ) и уменьшалась до нуля при  $T = 82 \text{ K}$ . После экранировки криостата удалось существенно уменьшить наведенный сигнал.

2. Было обнаружено влияние СВЧ-излучения на свойства ВТСП-пленки в зависимости от работы устройства для корректировки орбиты электронного кольцевого пучка (корректора). Корректор создавал мощный импульс СВЧ-излучения в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн длительностью  $\cong 50 \text{ нс}$ . Это излучение, как и СИ, фокусировалось конусным каналом на исследуемый образец, что приводило к появлению резистивного сигнала. На рис. 5б показана осциллограмма, иллюстрирующая влияние импульсного корректора

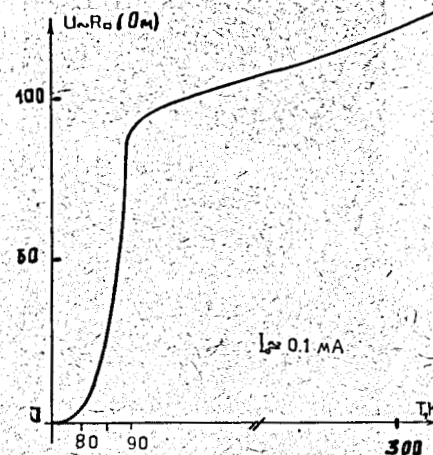


Рис. 3. Зависимость  $R(T)$  для пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  на сапфировой подложке

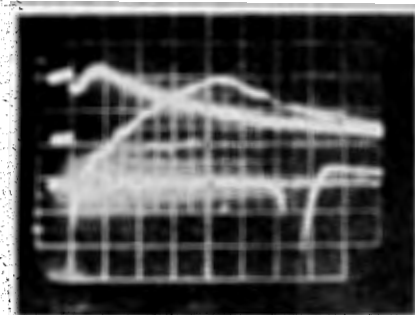


Рис. 4. Осциллограмма (верхняя кривая) болометрического отклика ВТСП-пленки, синхронизованного по времени с циклом формирования электронного кольца, развертка 5 мс/кл.

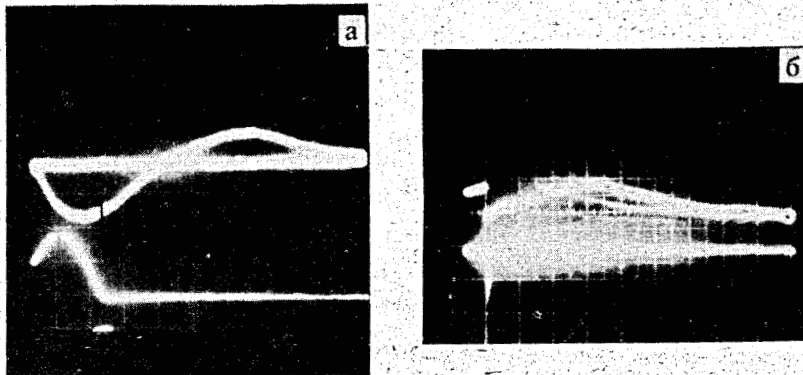


Рис. 5. а) Осциллограмма сигнала с ВТСП-пленки при включении импульсного магнитного поля (верхняя кривая). Форма тока, создающего магнитное поле (нижняя кривая); развертка 5 мс/кл. б) Резистивный сигнал при включении корректора на фоне болометрического сигнала от лампы А4Г, развертка 5 мс/кл. (верхняя осциллограмма)

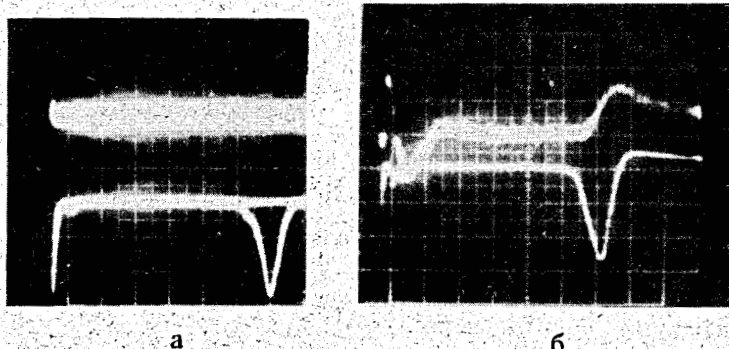


Рис. 6. а) Осциллограмма сигнала с пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  при воздействии импульса ИК излучения с мощностью 1 Вт.  $T = 82$  К, развертка 5 мс/кл., чувствительность 5 мВ/кл. (верхняя кривая). б) Осциллограмма реакции пироэлектрического детектора на импульсе синхротронного излучения, развертка 5 мс/кл., чувствительность — 5 мВ/кл. Нижняя кривая — отклик на  $\gamma$ -излучение электронного кольца при его сбрасывании в конце цикла сжатия

на болометрический сигнал с ВТСП-пленки. Для подавления СВЧ-излучения на пленку устанавливался германиевый фильтр, при этом сигнал уменьшался более чем на порядок.

3. При облучении ВТСП-пленок СИ с освещенностью образца в диапазоне  $10^{-2}+10$  Вт·см $^{-2}$ , в спектральном интервале  $\lambda = 1+200$  мкм и с длительностью импульса  $\tau \approx 15$  мс не обнаружено болометрического

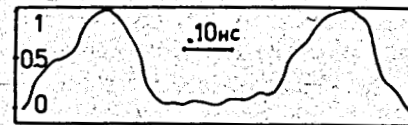
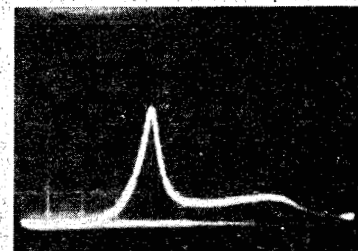


Рис. 7. Фотохронограмма временного поведения СИ в видимой области спектра



а

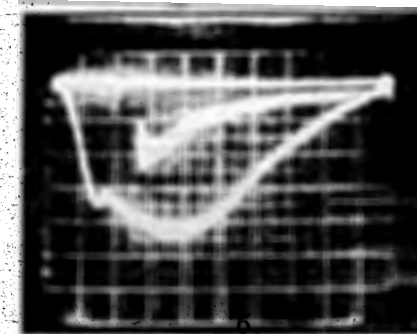


Рис. 8. Интенсивность СИ, прошедшего сквозь пленку  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $d = 0,8$  мкм), в видимой области спектра: а) температура образца  $T = 77$  К, развертка 1 мс/кл. (верхняя кривая); б) температура образца  $T = 90$  К, развертка 0,5 мс/кл. (нижняя кривая)

отклика (рис.ба). При этом на пленку одновременно подавался опорный световой импульс теплового источника с освещенностью образца до  $1$  Вт·см $^{-2}$ ,  $\lambda = 1+3$  мкм и с длительностью импульса  $\tau = 10+30$  мс. Не было обнаружено также сигнала при воздействии СИ на тепловые детекторы: висмутовый болометр, пироэлектрический приемник, а также на акустооптический детектор. На рис.6 показаны осциллограммы сигналов с пироэлектрического детектора (диапазон регистрации  $\lambda = 2+20$  мкм). На осциллограмме видна только реакция детектора на импульс тормозного  $\gamma$ -излучения, возникающего при разрушении электронного кольца после окончания импульса сжатия. Одним из наиболее вероятных объяснений этого эффекта может являться тот факт, что макроимпульс СИ во времени состоит из микроимпульсов. Такая тонкая временная структура может быть обусловлена либо когерентными колебаниями электронного кольца, либо азимутальной неустойчивостью. В работе [6] было показано с помощью фотохронографа «Агат», что импульс СИ модулирован по времени с характерной длительностью 200 пс, что иллюстрируется фотохронограммой рис.7. С другой стороны, наличие временной микроструктуры СИ может быть использовано в будущих экспериментах для определения временной эволюции фотоотклика ВТСП-пленок.

4. Были проведены измерения пропускания СИ ВТСП-пленками в видимой области спектра  $\lambda = 0,2+0,8$  мкм. В качестве детектора использовался фотоэлектронный умножитель ФЭУ-100. Обнаружено, что в сверхпроводящем состоянии при различных температурах образца в диапазоне  $T = 77+90$  К характер временного поведения сигнала с ФЭУ изменяется при превышении освещенности образца некоторой пороговой величины  $E_{II}$ , что иллюстрируется рис.8. Из этих осциллограмм можно сделать вывод о том, что при освещенности  $E > E_{II}$  происходит значительное изменение коэффициента пропускания излучения ВТСП-пленками в видимой области спектра.

#### Основные выводы

1. Использование конического световода позволяет сформировать поток СИ большой мощности и довести освещенность образца до  $10 \text{ Вт} \cdot \text{см}^{-2}$  в спектральном диапазоне  $\lambda = 1+200$  мкм.

2. Обнаружено отсутствие болометрического эффекта при воздействии СИ импульсного накопителя электронов на ВТСП-пленки в сверхпроводящем состоянии.

3. Обнаружено влияние импульсного СИ на пропускание излучения ВТСП-пленками в сверхпроводящем состоянии.

Работа выполнена в рамках госпроекта 90313 по исследованию высокотемпературной сверхпроводимости.

Авторы выражают благодарность своим коллегам по работе В.Н.Разувакину, С.М.Бийскому, А.А.Фатееву.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Richards P.L., Tinkham M. — Phys.Rev., 1960, v.119, p.575.
2. Елесин В.Ф., Копаев Е.Д. — УФН, т.133, вып.2, с.260.
3. Дмитриев В.М., Христенко Е.В. — ФНТ, 1978, вып.4, 7, с.821.
4. Вышесловцев П.П. и др. — ЖЭТФ, 1991, т.99, 3, с.911.
5. Kuzmin E.S. et al. — JINR, E14-91-542, Dubna, 1991.
6. Тютюнников С.И., Шаляпин В.Н., Щеулин А.С. — Труды X Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1987, т.1, с.406.

Рукопись поступила в издательский отдел  
30 декабря 1992 года.