



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.Ф. ИОФФЕ
Российской академии наук

Политехническая ул., 26, С.-Петербург, 194021
Телефон: (812) 297-2245 Факс: (812) 297-1017
post@mail.ioffe.ru http://www.ioffe.ru



4 марта 2016 г № 11217

На № _____ от _____

Зам. директора по научной работе
доктор физ.-мат. наук

С. В. Лебедев

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертации Демихова Тимофея Евгеньевича «Влияние радиационного облучения и магнитного поля на критические параметры композитных сверхпроводящих лент на основе ВТСП», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертация Демихова Тимофея Евгеньевича посвящена исследованию влияния радиационного облучения и магнитных полей на критические параметры ленточных проводников на основе композитных материалов (YBCO, GdBCO), обладающих высокотемпературной сверхпроводимостью (ВТСП), а также разработке и безжидкостной криомагнитной системы со сверхпроводящим магнитом для исследований в высоких магнитных полях.

Одним из методов, позволяющим направленно изменять дефектную структуру материала и тем самым влиять на их характеристики, является облучение сверхпроводника ионизирующими частицами различной природы. Поэтому актуальной задачей физики сверхпроводников является изучение радиационных эффектов. Исследование воздействия облучения на свойства ВТСП является важным для лучшего понимания природы сверхпроводимости и факторов, влияющих на ее характеристики, и имеет большое значение для определения порога разрушения такого сверхпроводника при эксплуатации в условиях повышенной радиации (например, в оборудовании для изучения частиц с высокими энергиями).

В диссертации проведены также исследования поведения этих проводников в магнитном поле, для чего была разработана и изготовлена криомагнитная система, позволяющая получить магнитное поле 8 Тл в рабочей области, имеющей комнатную температуру. Такие исследования важны для создания магнитных систем на основе ВТСП.

Основной целью диссертационной работы являлось изучение влияния радиационного облучения и магнитных полей на коммерческие ленточные проводники на основе композитных материалов (YBCO, GdBCO). Актуальность темы не вызывает сомнения. Она определяется быстрым прогрессом в области использования ВТСП в разнообразных приборах и устройствах.

Первая глава диссертации посвящена подробному литературному обзору. Представлена историческая справка о создании и развитии высокотемпературных сверхпроводников, рассматривается влияние ионизирующего облучения и магнитного поля на эти проводники. Подробно рассмотрены системы охлаждения сверхпроводящих магнитов, при этом особое внимание уделено безжидкостным схемам охлаждения. Также в этой главе описываются способы получения рекордно низких температур, а также достижения высоких магнитных полей, рассматривается использование ВТСП в конструкциях сверхпроводящих соленоидов.

Вторая глава посвящена исследуемым образцам, а также методам их исследования. Приведена структура ленты ВТСП на основе YBCO (123) и GdBCO (123). Особое внимание уделяется методам измерения критических параметров исследуемых образцов. Применялись как резистивный четырех-зондовый метод, так и метод СКВИД магнитометрии. При исследовании поведения критических параметров в магнитном поле использовалась разработанная в ходе выполнения диссертационной работы магнитная система на 8 Тл, описанная в пятой главе.

Проведены рентгеноструктурные исследования образцов, а также исследования с помощью электронной просвечивающей и растровой микроскопии.

Третья глава показывает результаты изучения ВТСП лент, облученных тяжелыми высокоэнергетичными ионами. Определены зависимости критических параметров от флюенса при облучения ионами криптона, измеренные при температуре 77 К. Показано, что при флюенсе $\Phi \approx 6 \times 10^{10}$ ион/см² происходит небольшое увеличение критического тока (5%), а затем начинается его резкое уменьшение вплоть до нуля при $\Phi \approx 2 \times 10^{12}$ ион/см². Приводятся аналогичные зависимости для случаев облучения ионами аргона и ксенона. Проведены расчёты по модели термического пика (МТП) временной зависимости температуры решетки и радиального профиля температуры слоя ВТСП при облучении ионами Xe (167 МэВ), Kr (107 МэВ) и Ar (48 МэВ). Данные, полученные с помощью этих вычислений, хорошо согласуются с данными, полученными при помощи ПЭМ-микроскопии. С помощью РЭМ определена толщина оксидных буферных слоев в проводниках YBCO (123). В конце главы описываются методы снятия внутренних напряжений в композитных YBCO(123) лентах 2-го поколения с помощью облучения ионами ⁴⁰Ar⁸⁺ с энергией 48 МэВ или ⁸⁴Kr¹⁷⁺ с энергией 107 МэВ при флюенсах (1–2) $\times 10^{10}$ ион/см².

В четвертой главе рассмотрены результаты влияния облучения на критический ток лент ВТСП на основе YBCO(123) и GdBCO (123) протонами. Энергия протонов выбиралась такой, чтобы частицы достигали ВТСП слоя в многослойной ленте. Проведен расчет с помощью программы SRIM, учитывающей удельные ионизационные потери энергии как функции глубины z в слоях Cu-Ag-ВТСП-хастеллой. В экспериментах не обнаружено возрастания критического тока после облучения протонами ни для лент на основе YBCO, ни для лент на основе GdBCO.

В пятой главе описана разработанная в диссертации безжидкостная криомагнитная система с рабочим объемом диаметром 50 мм, находящимся при комнатной температуре с магнитным полем до 8 Тл, а также результаты ее использования для изучения свойств ВТСП проводников в магнитных полях. Сравниваются критические характеристики лент SuperOx GdBCO (123) и SuperPower YBCO (123) в параллельном и перпендикулярном магнитных полях.

Показано, что токонесущие свойства этих композитных ВТСП лент в магнитном поле лент близки.

Среди наиболее значимых новых результатов работы можно выделить следующие:

1. С помощью модели термического пика (МТП), модифицированной для описания взаимодействия быстрых ионов с многослойной структурой ВТСП ленты, оценены размеры радиационных дефектов, которые могут играть роль новых центров пиннинга абрикосовых вихрей.
2. С помощью электронной микроскопии обнаружены радиационные дефекты, размеры которых по порядку величины согласуются с расчетными данными с использованием модели термического пика.
3. В работе показано, что при определенных флюенсах при облучении ионами $^{40}\text{Ar}^{8+}$ (48 МэВ) и $^{86}\text{Kr}^{17+}$ (107 МэВ) происходит релаксация внутренних напряжений в сверхпроводниковом слое многослойных ВТСП лент, увеличивается критическая плотность тока и улучшается адгезия к подложке.
4. Создана компактная мобильная безжидкостная криомагнитная система на 8 Тл с рабочей областью диаметром 50 мм, которую также можно заполнить жидким азотом. Такая система может найти широкое применение в разнообразных научных исследованиях.

Достоверность результатов диссертации определяется исследованием набора образцов с использованием современных экспериментальных методик и согласием экспериментальных данных с результатами расчетов. Результаты опубликованы в авторитетных научных журналах и были широко представлены на конференциях.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. При рассмотрении результатов измерений критических параметров ВТСП-проводников, подвергшихся облучению протонами, следовало бы больше внимания уделить теоретическому рассмотрению происходящих в них процессов и подкрепить его расчетами.

2. В созданной автором безжидкостной криомагнитной системе не предусмотрена возможность изменения температуры образца, а при использовании для охлаждения образцов жидкого азота скорость его испарения довольно высока.
3. Список публикаций автора по теме диссертации приводится в общем списке литературы.

Отмеченные недостатки не снижают общую положительную оценку работы. Диссертация хорошо оформлена, количество опечаток незначительно.

Диссертация Т.Е. Демихова представляет собой законченное научное исследование на актуальную тему. Результаты работы представляются достоверными и научно обоснованными. Они, безусловно, обладают научной новизной и практической значимостью. Автореферат диссертации правильно и полно отражает её содержание. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Тимофей Евгеньевич Демихов, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертация доложена и обсуждена на семинаре лаборатории микроволновой спектроскопии кристаллов ФТИ им. А.Ф. Иоффе 01.03.2016 г.

Зав. лабораторией
микроволновой спектроскопии кристаллов
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
доктор физ. мат. наук, профессор
тел. (812) 292-71-01
E-mail: pavel.baranov@mail.ioffe.ru

Павел Георгиевич Баранов

Отзыв составил:
старший научный сотрудник
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
канд. физ.-мат. наук
тел. (812) 292-73-20
E-mail: andrey.badalyan@mail.ioffe.ru

Андрей Гагикович Бадалян