

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу В.С. Короткова
«Импульсное намагничивание монокристаллических
высокотемпературных сверхпроводников»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-
математических наук
по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

В диссертационной работе В.С. Короткова рассмотрено импульсное намагничивание монокристаллических ВТСП-образцов кольцевой формы. Такие образцы благодаря высокой плотности критического тока способны захватывать магнитный поток, плотность которого превышает максимальные поля, достижимые в современных ферромагнетиках на основе сплава Nd-Fe-B. Возможность получать постоянные магнитные поля выше 1 Тл при температуре жидкого азота в локальных объёмах является перспективной для ряда практических приложений, например для реализации портативных ЭПР или ЯМР-устройств, магнитных холодильников и др.

Методика импульсного намагничивания позволяет сократить энергетические затраты на намагничивание монокристаллических ВТСП-образцов. Импульсные поля приводят к возникновению экранирующих токов в ВТСП-образцах, которые вызывают их неоднородный нагрев. Определение оптимальных условий импульсного намагничивания для достижения максимального захваченного поля в магните является актуальной задачей.

В.С. Коротковым был экспериментально обнаружен и исследован эффект разрыва экранирующего тока в сверхпроводящем кольце при импульсном намагничивании, который приводит к скачку магнитного потока. Исследование динамики скачка потока, позволяющего подавить препятствующие намагничиванию высокие экранирующие токи, важно для реализации ВТСП-магнитов с импульсным намагничиванием.

Первая глава работы носит обзорно-постановочный характер, в ней представлены основные существующие в настоящее время методы намагничивания монокристаллических ВТСП. Особое внимание уделено импульсному намагничиванию монокристаллических ВТСП-дисков, численному моделированию импульсного намагничивания а также снижению скорости релаксации магнитного поля, которое может вызывать импульсное намагничивание.

Во второй главе представлена экспериментальная установка для намагничивания ВТСП-колец и измерения экранирующих токов и полей в сверхпроводнике в процессе импульса. Описана система для измерения эволюции температуры сверхпроводника в процессе импульсного намагничивания.

В третьей главе представлены результаты эксперимента по импульсному намагничиванию монокристаллических ВТСП-колец. Исследована эволюция экранирующих токов и полей снаружи и внутри высокотемпературного

сверхпроводника при импульсном намагничивании. Впервые обнаружены и исследованы скачки потока в ВТСП-кольце при импульсном намагничивании. При высоких амплитудах импульса возникает образование «канала», через который магнитный поток проходит в отверстие сверхпроводника. Остаточное поле в отверстии кольца имеет направление, противоположное направлению намагниченности тела кольца. Представлена численная модель эволюции токов, предполагающая наличие в сверхпроводнике «слабого места», на котором локализовано тепловыделение. Показан оптимальный способ намагничивания, когда импульс вызывает скачок потока на восходящей части и медленное снижение поля вызывает «захват» потока.

Четвертая глава посвящена объяснению возрастания магнитного поля в центре ВТСП-кольца после импульсного намагничивания. Данный эффект связывается с различной скоростью релаксации токов противоположного направления.

Пятая глава посвящена практическим применениям импульсного намагничивания ВТСП-колец. Представленный компактный магнит из монодоменных ВТСП позволяет достигать полей 2.5 Тл при температуре жидкого азота.

Все выводы и рекомендации диссертации подтверждены экспериментально, апробированы и опубликованы. Среди новых результатов, полученных при экспериментальном исследовании намагничивания монодоменных ВТСП-колец, необходимо отметить следующие :

1) экспериментально обнаружен и всесторонне изучен эффект скачка потока в монодоменных ВТСП-кольцах при импульсном намагничивании в жидком азоте. Исследовано характерное время остывания перегретого канала, при импульсном намагничивании. Построена модель эволюции экранирующего тока с учетом азимутальной неоднородности сверхпроводника.

2) создан компактный, автономный магнит на основе монодоменных ВТСП-колец

3) изучена отрицательная релаксация магнитного поля сверхпроводника после импульсного намагничивания.

Новизна этих результатов состоит в том, что впервые показан возможный сценарий развития скачка потока в массивном ВТСП-кольце в области азотных температур и впервые исследованы и объяснены конфигурации остаточного поля в образце сверхпроводника. Представленная качественная модель тонкого витка с неоднородностью позволяет воспроизводить экспериментальную кривую эволюции тока при скачке потока. Несмотря на принятые в модели упрощения (отсутствие радиального распространения магнитного потока), данная модель описывает характерные процессы, возникающие при импульсном намагничивании монодоменного ВТСП.

Практическая ценность предложенного метода иллюстрируется возможностью достижения максимального захваченного поля в ВТСП-кольце при импульсном намагничивании. Созданный гибридный магнит может найти применение в портативных ЭПР-спектрометрах.

Достоверность результатов диссертации определяется применением

современных апробированных методов регистрации магнитных полей и токов, в том числе датчиков Холла и пояса Роговского; применением современных методов обработки экспериментальных результатов; соответствием ряда полученных данных результатам, установленными другими научными группами.

Среди недочетов в работе В.С.Короткова необходимо перечислить следующие моменты:

1) В диссертации не указано, как процесс синтеза методом охлаждения расплава приводит к возникновению азимутально неоднородного распределения центров пиннинга, ответственного за разрыв кругового тока. Как влияют параметры неоднородности сверхпроводника на процесс разрыва тока?

2) Для описания «разрыва» экранирующего тока предложена одномерная модель с угловой неоднородностью (глава 3, раздел 3). Такая модель не позволяет учесть влияние радиального распределения температуры и распределения тока в кольце в промежуточных стадиях намагничивания. Трехмерная модель с угловой неоднородностью может служить для более полного описания процессов, происходящих при импульсном намагничивании ВТСП-кольца.

3) В гл. 3 диссертации на рис. 13 теоретическая кривая нанесена в отсутствие выделения энергии в сверхпроводнике после скачка, но при снижении внешнего магнитного поля возникает тепловыделение из-за движения вихрей Абрикосова. Это означает, что экспериментально определенное значение $\tau = 150$ мс является завышенным. Было бы интересно провести оценки τ в численной модели с учетом тепловыделения на нисходящей части импульса.

4) В работе не указаны возможности улучшения однородности поля магнита путем шиммирования или возможность увеличения индукции магнитного поля в центре системы путем установления концентраторов потока. Применение этих методов в 5 Главе Диссертации помогло бы значительно улучшить характеристики магнита.

Описанные выше недостатки не снижают научной и практической значимости работы.

Диссертация представляет собой завершенное научное исследование, выполненное автором самостоятельно и на высоком уровне. Диссертация имеет все необходимые разделы от постановки задачи, обзора и методов решения задачи до результатов эксперимента, их анализа, выводов и заключения. По материалам диссертации опубликовано семь статей в журналах, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки РФ, в том числе пять в журналах, включенных в базу цитирования Web of Science.

Работа базируется на достаточном количестве примеров, и выполнена на высоком научном уровне. Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением с экспериментальными данными других авторов.

Автореферат диссертации и публикации полно и достоверно отражают содержание работы. Диссертационная работа отвечает требованиям

«Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013, а ее автор Коротков Василий Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», физико-математические науки.

Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.
Отдела "Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга"
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской академии наук

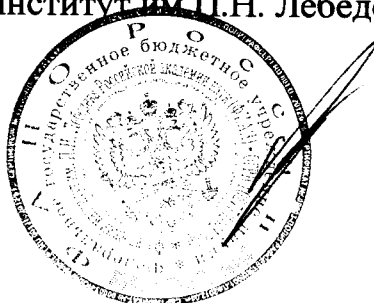
Ильч 25.04.2018

Ельцев Ю.Ф.

119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д.53,
тел.: +7 916 424 75 07
e-mail: eltsev@lebedev.ru

Подпись Ельцева Юрия Федоровича заверяю.

Ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физический институт им.П.Н. Лебедева
Российской академии наук
к.ф.-м.н



Колобов А. В.