

ОТЗЫВ

официального оппонента на кандидатскую диссертацию

Гурьева Валентина Васильевича

**«Особенности электромагнитного состояния текстурированного
сверхпроводника Nb-Ti в сильном магнитном поле»,**

представленную на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния»

Рецензируемая работа посвящена детальному исследованию электромагнитного поведения текстурированного сверхпроводника Nb-Ti в сильных магнитных полях вблизи второго критического поля с целью формулировки непротиворечивой модели электродинамики лент Nb-Ti вблизи и выше поля необратимости. Предметом исследований являлись особенности перехода ленты Nb-Ti под действием тока (вольт-амперные и ом-амперные характеристики) и магнитного поля (кривые намагниченности и кривые сверхпроводящего перехода по полю $\rho(H)$). Также исследовались анизотропия верхнего критического поля, поперечное напряжение при переходе в нормальное состояние, обратимость и необратимость кривых намагниченности.

Актуальность данных исследований обусловлена несколькими взаимодополняющими факторами. С фундаментальной точки зрения актуальность определяется необходимостью уточнения физических механизмов, определяющих электродинамику лент Nb-Ti в области поля необратимости и второго критического поля. С практической точки зрения актуальность исследований обусловлена чрезвычайно широким применением Nb-Ti в сверхпроводящей индустрии при создании разнообразных магнитных систем широкого назначения для использования в медицине, мега-установках, транспорте, что делает появление любых новых знаний об электродинамике этого материала в сильных магнитных полях важным и актуальным научным событием.

Диссертация Гурьева В.В. изложена на 162 страницах, состоит из

Введения, пяти глав, Заключение и списка цитируемой литературы из 100 наименований.

Первая глава работы представляет собой обзор литературы. В первой части главы 1 дана ретроспектива развития технической сверхпроводимости, представлены современные технические сверхпроводники. Вторая часть главы посвящена анализу теоретических моделей для объяснения поля необратимости в технических сверхпроводниках. В третьем разделе обсуждается проблема неоднородности технических сверхпроводников, в разделах 4 и 5 - вопросы, связанные с четным поперечным напряжением при переходе технических сверхпроводников в нормальное состояние и анизотропия верхнего критического поля тент Nb-Ti. В заключительной шестой части первой главы автор, на основе проведенного литературного обзора, формулирует задачи диссертационного исследования

Вторая глава диссертации посвящена методическим вопросам. Описывается объект исследований - сверхпроводящая лента (толщиной 10 мкм), изготовленная из сплава Nb 50масс.%Ti, которая в силу ряда причин является удобным модельным объектом для изучения электродинамики технических сверхпроводников. Далее приводится методика транспортных исследований, в том числе технология подготовки образца нужной конфигурации с использованием техники лазерной резки. Описывается методика измерения магнитного момента и определения критической температуры, а также методы проведения структурных исследований – рентгеновских и электронной микроскопии.

Третья глава посвящена результатам рентгеновского и электронно-микроскопического исследования лент Nb-Ti до и после их термообработки. Приводятся и анализируются данные по текстуре холоднокатаной и термообработанной лент Nb-Ti, обсуждается фазовое расслоение при искусственном старении лент Nb-Ti, приводятся результаты микроструктурного исследования и морфология холоднокатаной и термообработанной ленты Nb-Ti.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментального исследования электродинамики сверхпроводящих лент Nb-Ti в высоких магнитных полях, выше поля необратимости. Основное внимание уделено представлению результатов по анизотропии верхнего критического поля в лентах Nb-Ti, четному поперечному электронапряжению при переходе в нормальное состояние, аномальному гистерезису ВАХ в лентах Nb-Ti.

В пятой главе подробно рассмотрено поведение лент Nb-Ti в магнитных полях ниже поля необратимости. Представлены результаты исследования пиннинга в поле, параллельном плоскости ленты Nb-Ti, перпендикулярном плоскости ленты Nb-Ti, проведен анализ пиннинга в лентах Nb-Ti.

В Заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе. Отметим наиболее важные.

1. В сильных магнитных полях, вблизи верхнего критического поля, для сверхпроводящих текстурированных лент Nb-Ti:

- определена величина поля необратимости, и показано ее совпадение с величиной магнитного поля, при котором полевая зависимость объёмной силы пиннинга достигает нулевого значения.

- впервые доказано существование анизотропии верхнего критического поля в поликристаллических лентах, проведено её детальное изучение, и показано принципиальное отличие от анизотропии в монокристаллах ниобия.

- показано, что поперечное электрическое поле, возникающее при переходе лент в нормальное состояние, является четным по отношению к инверсии магнитного поля и практически не зависит от угла между плоскостью ленты и направлением поля.

- впервые обнаружен и изучен аномальный, не тепловой, гистерезис вольт-амперных характеристик лент Nb-Ti в полях выше поля необратимости.

2. На основе сравнительного исследования полевых зависимостей объёмной силы пиннинга в лентах Nb-Ti для двух основных направлений магнитного поля – параллельного и перпендикулярного плоскости ленты, и двух основных направлений в ленте – вдоль и поперёк прокатки, установлено, что:

- в параллельном поле, холоднокатаная лента показывает сильный пиннинг вдоль и поперёк прокатки. После термообработки ленты сильный пиннинг сохраняется для обоих направлений: максимальное значение силы пиннинга увеличивается незначительно при заметном смещении положения максимума к низким полям.

- в перпендикулярном поле, холоднокатаная лента показывает слабый, на порядок слабее, чем в параллельном поле, пиннинг вдоль и поперёк прокатки. После термообработки пиннинг усиливается более чем в три раза и приближается к сильному пределу.

- в результате термообработки ленты, анизотропия пиннинга снижается тотально – вдоль и поперёк прокатки во всем диапазоне полей для обоих направлений поля;

- анизотропия пиннинга и её изменение при термообработке объяснены микроструктурой лент Nb-Ti.

3. Предложена новая модель микронеоднородного сверхпроводящего материала с различными величинами критического поля внутри и на границах зерен – модель «сверхпроводящих пленок в металлической матрице», объясняющая эффект поля необратимости, наличие анизотропии верхнего критического поля в лентах Nb-Ti и эффект четного относительно инверсии магнитного поля поперечного электрического поля, возникающего при переходе лент в нормальное состояние. В рамках расширенной модели, по типу модели гранулированного сверхпроводящего стекла, предложено объяснение аномального гистерезиса вольт-амперных характеристик лент Nb-Ti, обнаруженного выше поля необратимости.

4. Проведены расчеты сил пиннинга в лентах Nb-Ti в рамках предложенной модели микронеоднородного материала и классической модели, разработанной для вихревых структур. Показано, что модель микронеоднородного материала не противоречит классической модели, разработанной для вихревых структур, и дополняет её в области высоких магнитных полей, выше поля необратимости.

Представленные вышеперечисленные экспериментальные результаты и их

трактовка, предложенные подходы и модели для описания электромагнитного состояния сверхпроводящих лент в сильном магнитном поле, вблизи и выше поля необратимости, являются оригинальными, что отражает достаточную степень **научной новизны** данной работы.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, имеют **высокую степень обоснованности**, так как опираются на результаты комплексных экспериментальных исследований с применением различных методик.

Достоверность результатов, представленных в диссертации, обеспечена тщательным выбором и обоснованием объекта исследования, применением адекватных поставленным задачам методик исследования, использованием взаимодополняющих методов при исследовании наблюдаемых явлений, в том числе разумной комбинацией как структурных, так и электрофизических методов исследований, использованием современного экспериментального оборудования.

По работе имеются следующие **замечания**:

1. Вызывает сомнение трактовка определения второго критического поля из кривых перехода $\rho(H)$, так как этот переход по полю, возможно, связан не вторым критическим полем, а полем необратимости. Истинное значение второго критического поля можно определить из кривых намагниченности. Требуется более четко прояснить обоснованность применения кривой $\rho(H)$ для определения H_{c2} .
2. Желательно не только констатировать обнаружение аномального гистерезиса вольт-амперных характеристик в магнитных полях выше поля необратимости, но и предложить возможные физические причины наблюдаемого явления.
3. Автор справедливо отмечает важность зависимости поля необратимости от температуры $H^*(T)$, как кривой, которая определяет в координатах поле-температура область практического использования технических сверхпроводников. Вместе с тем, все результаты измерения поля необратимости выполнены только для одной

температуры. То есть – кривая $H^*(T)$ для исследуемого образца в работе не определена.

Указанные недостатки не снижают значимость представленной диссертации.

Автореферат диссертации в полной мере соответствует содержанию диссертации. Работа проведена на высоком научном уровне. Основные результаты диссертации опубликованы в российских и международных журналах.

По актуальности темы, научной новизне и практической ценности полученных результатов, по обоснованности и достоверности научных положений, считаю, что диссертационная работа Гурьева Валентина Васильевича «Особенности электромагнитного состояния текстурированного сверхпроводника Nb-Ti в сильном магнитном поле», удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук. Диссертационная работа представляет собой законченную научно-квалификационную работу и соответствует критериям, установленным п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор В.В. Гурьев заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент,

Руднев Игорь Анатольевич

доктор физико-математических наук, доцент,

профессор Института и лазерных и плазменных технологий

Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

Россия, г. Москва, Каширское шоссе, 31

e-mail : iarudnev@mephi.ru

раб. тел.: +7 (495) 788-56-99

 19.11.2018

