

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.262.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ФИЗИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. П.Н. ЛЕБЕДЕВА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 19 декабря 2022 г № 41

О присуждении Власенко Владимиру Александровичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Физические аспекты практического применения железосодержащих сверхпроводников системы 11 ($\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$)» по специальности 1.3.8 — Физика конденсированного состояния принята к защите 17 октября 2022 года, (протокол заседания № 35) диссертационным советом 24.1.262.01, созданным 11 апреля 2012 года приказом № 105/нк на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), 119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, д. 53.

Соискатель Власенко Владимир Александрович, 12 апреля 1988 года рождения, в 2012 году окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) по направлению «Физика конденсированного состояния вещества». С 2012 года обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН) по направлению «Физика конденсированного состояния вещества» и закончил её в 2016 году. Справка об обучении и сдаче

кандидатских экзаменов выдана ФИАН в 2022 году. С 2010 года является сотрудником ФИАН. В настоящее время работает в должности высококвалифицированного научного сотрудника в Отделе "Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга".

Диссертационная работа В. А. Власенко выполнена в Отделе "Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга" ФИАН.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук Садаков Андрей Владимирович, научный сотрудник Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук, специалист в области изучения свойств сверхпроводников II рода и эффектов пиннинга вихрей Абрикосова.

Научный консультант: член–корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Пудалов Владимир Моисеевич, высококвалифицированный главный научный сотрудник Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В.Л. Гинзбурга Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института имени П. Н. Лебедева Российской академии наук. Он является крупным специалистом в области низкотемпературного физического эксперимента и сверхпроводимости. Необходимость привлечения В.М. Пудалова в качестве научного консультанта обусловлена необходимостью, в рамках диссертационной работы, установления, как микроскопических параметров сверхпроводящего состояния в слоистых железосодержащих сверхпроводниках, так и установления механизма пиннинга вихрей, важного для практических применений этих материалов.

Официальные оппоненты:

1. Горшунов Борис Петрович, доктор физико-математических наук, доцент; заведующий лабораторией терагерцовой спектроскопии Федерального

государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»,

2. Красноперов Евгений Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, начальник лаборатории физики низких температур и сверхсильных магнитных полей Отдела сверхпроводимости Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий НИЦ «Курчатовский институт».

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация — Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), город Москва, в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук Кузнецовым Андреем Петровичем, директором Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, и утвержденном доктором физико-математических наук Шевченко Владимиром Игоревичем, ректором НИЯУ МИФИ, указала, что диссертация является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а соискатель заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. — Физика конденсированного состояния.

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 11 работ, из них 5 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем В. А. Власенко работах.

Наиболее значимые результаты по теме диссертации опубликованы в статьях:

1. Abdel-Hafiez M., Zhang Y.-Y., Cao Z.-Y., Duan C.-G., Karapetrov G., Pudalov V. M., Vlasenko V. A., Sadakov A. V., Knyazev D. A., Romanova T. A., Chareev D. A., Volkova O. S., Vasiliev A. N., and Chen X.-J., Superconducting properties of sulfur-doped iron selenide //Physical Review B. – 2015. – Т. 91. – №. 16. – С. 165109.
2. Vlasenko V. A., Sadakov A. V., Romanova T. A., Gavrilkin S. Yu., Dik A. V., Sobolevskiy O. A., Massalimov B. I., Chareev D. A., Vasiliev A. N., Maltsev E. I. and Kuzmicheva T. E., Evolution of vortex matter, phase diagram, and upper critical field in the FeSe_{1-x}S_x system //Superconductor Science and Technology. – 2021. – Т. 34. – №. 3. – С. 035019.
3. Vlasenko V. A., Pervakov K. S., Eltsev Yu. F., Berbentsev V. D., Tsapleva A. S., Lukyanov P. A., Abdyukhanov I. M., and Pudalov V. M., Critical current and microstructure of FeSe wires and tapes prepared by PIT method // IEEE Trans. Appl. Supercond. – 2019. – Т. 29. – №. 3. – С. 6900505.
4. Burkhanov G. S., Lachenkov S. A., Kononov M. A., Vlasenko V. A., Mikhaylova A. B., and Korenovsky N. L., Hydrogen intercalation of compounds with FeSe and MoS₂ layered crystal structures //Inorganic Materials: Applied Research. – 2017. – Т. 8. – №. 5. – С. 759-762.
5. Vlasenko V., Pervakov K., Pudalov V., Prudkoglyad V., Berbentsev V., Gavrilkin S., and Eltsev Yu., Effect of heat treatment on superconducting properties of FeSe wire fabricated by PIT method //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2014. – Т. 507. – №. 2. – С. 022044.

Выбор официальных оппонентов обосновывается их высокой квалификацией и наличием достижений мирового уровня в области низких температур и сверхпроводимости, а ведущей организации – ее репутацией признанного научного центра, проводящего исследования физики конденсированного состояния вещества и сверхпроводимости.

Диссертация Власенко В. А. посвящена исследованию фундаментальных и прикладных свойств железосодержащего сверхпроводника системы $11 \text{ FeSe}_{1-x}\text{S}_x$. В диссертации исследовалась симметрия параметра порядка, особенности пиннинга вихрей Абрикосова в соединении $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ с концентрацией серы до $x=0.11$, и обсуждаются аспекты прикладного применения железосодержащих сверхпроводников.

Актуальность темы представленной диссертации связана с ее существенным вкладом в область фундаментальных знаний о сверхпроводящем состоянии - амплитуды и типа симметрии параметра порядка, а также их изменение при легировании в соединениях ферропниктидов системы “11”. С прикладной точки зрения, актуальность диссертации связана с получением новых данных о механизме и свойствах пиннинга вихревой решетки в слоистых ферропниктидах - аспектов, необходимых для практического применения железосодержащих сверхпроводников, а также апробирования технологии создания ВТСП материалов методом “порошок в трубе”.

На основании выполненных соискателем исследований были получены следующие основные результаты:

- 1) Анализ экспериментальных данных измерений Лондоновской глубины проникновения, теплоемкости и верхнего критического поля позволил сделать вывод о многозонной структуре сверхпроводников $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ в широком диапазоне легирования серой (до $x < 0.11$). Наиболее вероятной, согласно экспериментальным данным, у сверхпроводников системы $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ является «s»-волновая симметрия параметра порядка.
- 2) Обнаружено, что в соединениях $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$, без дополнительного внедрения дефектов, появление второго пика намагничивания в низких температурах связано с перестройкой магнитной вихревой решетки. Пик эффект связан с легированием соединения FeSe атомами серы и не наблюдается в нелегированном родительском соединении вплоть до 1.45 К.
- 3) Экспериментально показано, что фазовый переход из жидкого вихревого состояния в закрепленное (переход типа «вихревая жидкость-вихревое

стекло») в образцах $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ демонстрирует квазидвумерное поведение вихревой структуры. Для обобщения экспериментальных данных построены фазовые диаграммы состояний вихревой решетки в соединениях системы $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ в широком диапазоне температур и внешних магнитных полей.

- 4) Изготовлены модельные образцы сверхпроводящего провода двумя различными способами. Показано положительное влияние термообработки на критические параметры изготовленных образцов провода. Выявлены факторы, негативно влияющие на сверхпроводящие свойства FeSe при изготовлении проводов, и деградация изготовленных образцов провода с течением времени. Показана принципиальная возможность адаптации промышленного способа изготовления длинномерных проводов для получения проводов из железосодержащих сверхпроводников.

Новизна результатов диссертационной работы обусловлена тем, что:

1. Впервые показано, что двузонная модель s-типа хорошо описывает экспериментальные данные в соединении $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ в широком диапазоне легирования серой (до $x < 0.11$), и что симметрия параметра порядка «s»-типа практически не зависит от степени легирования серой до $x < 0.11$, несмотря на значительное (в 2,5 раза) изменение амплитуды малой щели.

2. Впервые для сверхпроводящих соединений $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ показано, что возникновение второго пика на гистерезисных петлях намагничивания связано с перестройкой магнитной вихревой структуры.

3. Впервые для сверхпроводника $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ проведены детальные исследования зависимости верхнего критического поля от температуры и степени легирования серой. Детально исследован фазовый переход типа «вихревая жидкость-твердое вихревое состояние» в соединении $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ в широком интервале температур и магнитных полей. Обнаружено, что фазовый

переход из вихревого жидкого состояния в закрепленное имеет квазидвумерную природу.

4. Впервые, на основе промышленно-адаптированной технологии изготовления длинномерных проводов («порошок в трубке»), а также методом горячей газовой экструзии изготовлены модельные образцы сверхпроводящего провода из синтезированного железосодержащего сверхпроводника FeSe. Установлено, что плотность критического тока значительно увеличивается (до 60%) после низкотемпературной термообработки в аргоновой атмосфере в течение 72 часов.

Значение полученных автором результатов для области фундаментальных знаний состоит в получении новых экспериментальных данных о структуре параметра порядка в сверхпроводящих ферропниктидах. Эти результаты востребованы для развития теории сверхпроводимости в этом классе соединений. Практическое значение выполненных соискателем исследований определяется тем, что результаты и выводы диссертационной работы непосредственно связаны с разработкой основ промышленной технологии изготовления проводников для магнитов с высокими значениями магнитного поля и иных сверхпроводниковых устройств, работающих в сильном постоянном магнитном поле. В работе показано негативное влияние остаточного инертного газа в объеме поликристаллического материала на однородность и плотность жилы сверхпроводящего провода, а также то, что отсутствие буферных инертных слоев в композитном проводе приводит к деградации провода после термообработки с течением времени.

Полученные результаты могут быть использованы в таких организациях как Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН, Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А. А. Бочвара, Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, ОАО Всероссийский научно-исследовательский проектно-

конструкторский и технологический институт кабельной промышленности и других организациях.

Достоверность результатов работы подтверждается согласием данных, полученных в ходе различных экспериментов и на разных образцах, их воспроизводимостью, а также согласием полученных экспериментальных данных с последующими работами других авторов, в ряде случаев. Справедливость выводов диссертации подтверждается также научными публикациями автора в рецензируемых научных изданиях, а также апробацией в докладах на конференциях по тематике исследования.

Все основные научные результаты, включенные в диссертацию Власенко В. А., получены лично автором, либо при его непосредственном участии. В частности, автором лично сформулированы цели и задачи исследований; лично или при его непосредственном участии были проведены магнитотранспортные измерения $R(T,H)$ в магнитных полях до 19 Т, измерения вольт-амперных характеристик, магнитные измерения петель необратимости, измерения восприимчивости, первого критического поля, рентгеноструктурные исследования поликристаллических образцов, проведена обработка, анализ экспериментальных данных на основе различных теоретических моделей. Помимо этого, автор внес существенный вклад в синтез поликристаллического селенида железа, участвовал в измерениях первого критического поля на установке PPMS-9, участвовал в изготовлении образцов провода методом горячей газовой экструзии. Опытный длинномерный образец сверхпроводящего провода изготовлен из синтезированного автором материала.

В ходе защиты соискатель Власенко В. А. аргументировано ответил на заданные ему вопросы членов диссертационного совета, а также на замечания ведущей организации и оппонентов.

На заседании 19 декабря 2022 года диссертационный совет принял решение присудить В. А. Власенко учёную степень кандидата физико-математических наук за решение научно-практической задачи о влиянии

легирования серой на структуру параметра порядка, механизм пиннинга вихрей Абрикосова, диаграмму вихревого состояния при низких температурах, и об основах практического применения железосодержащих сверхпроводников системы “11” (FeSe_{1-x}S_x). Эта задача имеет важное значение для дальнейшего развития фундаментальной физики сверхпроводимости и развития практической технологии изготовления сверхпроводниковых проводов на основе ферропниктидов.

При проведении тайного голосования члены диссертационного совета в количестве 19 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации (1.3.8 — Физика конденсированного состояния), участвовавшие в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, проголосовали:

за присуждение учёной степени - 19,
против присуждения учёной степени - 0,
недействительных бюллетеней - 0.

Председатель диссертационного совета

член-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Колачевский Николай Николаевич

Учёный секретарь диссертационного совета

д.ф.-м.н.

Золотько Александр Степанович

19 декабря 2022 г.