

Высокотемпературные железосодержащие сверхпроводники являются новым классом сверхпроводящих материалов, открытым в 2008 году. Общим для всех семейств является наличие слоев FeSe/FeAs, что обуславливает слоистый характер данных материалов. Довольно

высокая критическая температура (до 58.5K) и токонесущие свойства до 10^6 А/см², малая анизотропия и нетривиальные сверхпроводящие и магнитные свойства железосодержащих сверхпроводников делают их интересным объектом исследований, как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения.

Среди соединений класса железосодержащих сверхпроводников, выделяются соединения системы “11” FeSe. Данный материал, в зависимости от легирования, проявляет неординарные физические свойства, которые являются предметом активных исследований. Легирование родительской фазы FeTe, FeS, FeSe дает возможность получить сверхпроводящие соединения вида: FeTe_{1-x}Se_x, FeTe_{1-x}S_x, FeSe_{1-x}S_x, FeSe, FeS.

Диссертация В. А. Власенко посвящена экспериментальному исследованию фундаментальных свойств соединения FeSe с различным легированием серой - природы сверхпроводящего спаривания, симметрии параметра порядка, и анализу полученных данных. А также исследованию пиннинга вихрей Абрикосов и особенностям фазовых переходов в данном типе соединений.

Несомненно, что тема представленной диссертации весьма актуальна для физики и техники сверхпроводящих материалов.

Результаты научных исследований диссертанта являются новыми. Экспериментальные данные надежны, так как получены различными методиками на нескольких образцах.

Структура и основное содержание диссертации

Структурно диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 107 страниц, включая список цитируемой литературы из 188 наименований.

Во **введении** диссертации обоснована актуальность, сформулированы цели, задачи, новизна и практическое значение работы, защищаемые положения, апробация работы и личный вклад автора.

В первой главе описываются базовые принципы явления сверхпроводимости, и важные исследования в области свойств железосодержащих сверхпроводников системы $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$. Обсуждается фазовый переход из вихревого закрепленного состояния в жидкое, пиннинг вихрей Абрикосова на различных типах дефектов, и феномен возникновения второго пика намагничивания и пик эффекта, современное состояние в области практического применения железосодержащих сверхпроводников.

Вторая глава связана с описанием методики синтеза монокристаллических и поликристаллических образцов соединений системы 11 ($\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$), методикам характеристики сверхпроводящих свойств. Представлены теоретические модели, применяемые для описания и анализа экспериментальных данных.

В третьей главе исследуется поведение Лондоновской глубины проникновения, теплоемкости и верхнего критического поля в зависимости от температуры в широком (до $x < 0.11$) диапазоне легирования серой соединения $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$. Проведена аппроксимация экспериментальных данных различными моделями, сделан вывод о наиболее вероятной симметрии параметра порядка в $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$.

Четвертая глава посвящена причине возникновения пик эффекта и второго пика намагничивания в соединении $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$, исследуется фазовый переход второго рода из жидкого вихревого состояния в твердое. Сделан вывод, что второй пик намагничивания неразрывно связан с перестройкой вихревой структуры. Обобщение и анализ экспериментальных данных позволили построить фазовые диаграммы для $\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$ с различной степенью легирования.

В пятой главе обсуждаются аспекты практического применения железосодержащих сверхпроводников, возможность адаптации порошковой технологии для изготовления сверхпроводящих проводов. Исследуются свойства модельных проводов из сверхпроводника FeSe . Изучено влияние термообработки на сверхпроводящие свойства проводов, а также их деградация с течением времени.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Результаты диссертации прошли серьезную апробацию на российских и международных конференциях и семинарах. Они также опубликованы в пяти статьях, входящих в базы Web of Science и Scopus, а также в шести сборниках тезисов научных конференций.

Научная новизна и значимость диссертационной работы

Результаты работы являются новыми и имеют высокую научную значимость. В частности:

- 1) Впервые проведены комплексные исследования температурной зависимости Лондоновской глубины проникновения, верхнего критического поля и теплоемкости, анализ которых позволил сделать вывод о многозонной структуре данного семейства сверхпроводников. Все экспериментальные данные хорошо описываются в двузонном «s»-волновым приближении.
- 2) Впервые обнаружено, что возникновение второго пика намагничивания при низких температурах связано с перестройкой магнитной вихревой решетки.
- 3) Впервые экспериментально, различными методами показано, что фазовый переход «вихревая жидкость-вихревое стекло» в образцах $FeSe_{1-x}S_x$ ($x < 0.11$) имеет квазидвумерную природу.
- 4) Показана квазистабильность тетрагональной фазы FeSe: при размоле и достижении размера кристаллитов меньше, чем 5 мкм, значительно увеличивается объем гексагональной несверхпроводящей фазы FeSe.
- 5) Определены технологические аспекты, негативно влияющие на сверхпроводящие свойства образцов провода FeSe и исследована деградация контакта между стальной оболочкой и сверхпроводящей жилой FeSe с течением времени.
- 6) Показана положительная роль термообработки после изготовления провода при температуре 350 °C.
- 7) Методом «порошок в трубке» возможно изготовление длинномерных одножильных и многожильных проводов из железосодержащих сверхпроводников.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования результатов работы при изготовлении сверхпроводящих проводов для различных устройств. В диссертации выявлены факторы, влияющие на процесс изготовления композитного сверхпроводящего провода, и исследовано влияние последующей термообработки на сверхпроводящие характеристики образцов провода.

Результаты диссертации имеют высокую научную и техническую значимость, могут быть применены 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, в которых проводятся работы в области исследования и применения сверхпроводящих материалов.

Обоснованность и достоверность основных результатов и выводов

Достоверность обеспечена хорошей воспроизводимостью результатов, полученных с использованием общепринятых методик и высокоточного измерительного оборудования, а также согласием полученных результатов с работами других авторов (в тех случаях, когда такие данные доступны). Достоверность выводов диссертации подтверждается количеством научных публикаций автора в рецензируемых научных изданиях, а также докладах на конференциях по тематике исследования.

Замечания по диссертации

Несмотря на общее положительное впечатление, к работе имеется и ряд замечаний:

1. При определении второго критического поля исследуемых образцов использовались данные магнитных измерений. Это представляется не в полной мере корректным подходом, так как из измерений намагниченности определяется не второе критическое поле, а так называемое поле необратимости, которое может существенно отличаться от искомой величины.

2. При обсуждении в главе 5 вопросов возможности адаптации порошковой технологии для изготовления сверхпроводящих проводов из модельного материала FeSe, была отмечена деградация свойств получаемых проводов через некоторое время. Необходимо детальнее обсудить возможные технологические подходы, позволяющие нивелировать этот факт, что существенно усилит перспективность практического применения проводов на основе FeSe.
3. Работа содержит множество опечаток, орфографических, пунктуационных и стилистических ошибок.

Приведенные замечания не снижают высокой научной ценности представленной работы и значимости ее вклада для развития физики и техники железосодержащих сверхпроводников.

Общая оценка диссертации

Диссертация Власенко Владимира Александровича «Физические аспекты практического применения железосодержащих сверхпроводников системы 11 ($\text{FeSe}_{1-x}\text{S}_x$)» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, удовлетворяющую всем требованиям к кандидатским диссертациям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013г., а ее автор, Власенко Владимир Александрович, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации и корректно представляет достигнутые результаты.

Доклад по материалам диссертации был сделан Власенко Владимиром Александровичем 02 ноября 2022 года на семинаре Института Лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ. Отзыв составлен директором Института Лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ Кузнецовым Андреем Петровичем. Отзыв на диссертацию В. А. Власенко обсужден и одобрен на семинаре Института Лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ.

Протокол № 078/017 от «02» ноября 2022г.

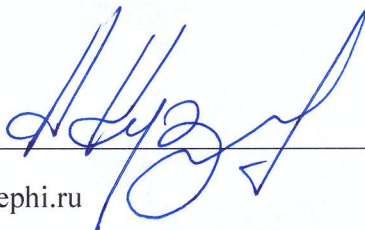
Директор

Института Лазерных и плазменных технологий

НИЯУ МИФИ,

Доктор физико-математических наук,

Профессор



Кузнецов Андрей Петрович

e-mail APKuznetsov@mephi.ru

тел: +7 (495) 788 56 99, доб 9388

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ);

115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31

Список основных работ сотрудников ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» по тематике защищаемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. A P Menushenkov, A A Ivanov, O V Chernysheva, I A Rudnev, M A Osipov, A R Kaul, V N Chepikov, O Mathon, V Monteseuro, F d'Acapito and A Puri The influence of BaSnO₃ and BaZrO₃ nanoinclusions on the critical current and local structure of HTS coated conductors 2022 Supercond. Sci. Technol. 35 065006 <https://doi.org/10.1088/1361-6668/ac68a6> (Q1)
2. Igor Rudnev (2021) Unexpected dynamic resistance as a new factor leading to abrupt demagnetization of closed-loop superconducting coils in alternating magnetic fields 2021 Supercond. Sci. Technol. 34 <https://doi.org/10.1088/1361-6668/ac2ea0> (Q1)
3. Moroz, A.N., Kashurnikov, V.A., Rudnev, I.A., Maksimova, A.N. (2021) "Thermal behavior of flux jumps and influence of pulse-shape on the trapped field during pulsed magnetization of a high-temperature superconductor" Journal of Physics: Condensed Matter, 33(35), 355901, <https://doi.org/10.1088/1361-648X/ac0be9> (Q1)
4. Moroz, A. N., Kashurnikov, V. A., Rudnev, I. A., & Maksimova, A. N. (2021). Modeling of vortex dynamics in HTSs with defects under the impact of pulsed magnetic field. Journal of Physics: Condensed Matter, 33(14), 145902, <https://doi.org/10.1088/1361-648X/abdce7> (Q1)
5. Osipov, M., Starikovskii, A., Anishenko, I., Pokrovskii, S., Abin, D., Rudnev, I. The influence of temperature on levitation properties of CC-tape stacks (2021) Superconductor Science and Technology, 34 (4), статья № 045003, DOI: 10.1088/1361-6668/abe18e (Q1)
6. Osipov, M., Anishenko, I., Starikovskii, A., Abin, D., Pokrovskii, S., Podlivaev, A., Rudnev, I. Scalable superconductive magnetic bearing based on non-closed CC tapes windings (2021) Superconductor Science and Technology, 34 (3), article № 035033, .DOI: 10.1088/1361-6668/abda5a (Q1)

7. I.V. Anischenko, S. V. Pokrovskii, I. A. Rudnev, M. A. Osipov, "Modeling of magnetization and levitation force of HTS tapes in magnetic fields of complex configurations," *Superconductor Science and Technology*, vol. 32, no. 10, p. 105001, 2019/08/12 2019. (DOI:10.1088/1361-6668/ab2bbe) (Q1)
8. M. Osipov, A. Starikovskii, D. Abin, and I. Rudnev, "Influence of the critical current on the levitation force of stacks of coated conductor superconducting tapes," *Superconductor Science and Technology*, vol. 32, no. 5, p. 054003, 2019/03/29 2019. (DOI: 10.1088/1361-6668/ab06e6) (Q1)
9. S. V. Pokrovskii, O. B. Mavritskii, A. N. Egorov, N. A. Mineev, A. A. Timofeev, and I. A. Rudnev, "Influence of ultrashort laser drilling on magnetic and transport characteristics of HTS tapes," *Superconductor Science and Technology*, vol. 32, no. 7, p. 075008, 2019/06/06 2019. (DOI: 10.1088/1361-6668/ab14a3) (Q1)