

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Садакова Андрея Владимировича «Транспортные и магнитные свойства слоистых сверхпроводников: оксипниктидов, халькогенидов и оксикарбонатов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 «физика конденсированного состояния».

Актуальность избранной темы.

В 2008 г. было открыто новое семейство железосодержащих сверхпроводников. Эти, так называемые пниктиды, имеют критические температуры чуть выше 50К, и характеризуются исключительно высокими критическими полями. Достаточно сказать, что у некоторых производная поля $dH_{c2}/dT \sim 10 \text{ Тл/К}$ вблизи T_c в несколько раз больше, чем у известных сверхпроводников, включая высокотемпературные. Соответственно, при низких температурах критические поля имеют очень большие значения. Выяснение причин столь больших критических полей у этого класса сверхпроводников - одна из важнейших задач теории сверхпроводимости. Высокие критические поля имеют хорошие прикладные перспективы, поскольку дают надежду создать материал, с помощью которого возможно получать поля до 100Тл.

Автор поставил своей целью изучить транспортные и магнитные свойства (прежде всего критические поля) широкого класса слоистых сверхпроводников: оксипниктидов и халькогенидов железа, а также сравнить их магнитные свойства со свойствами монокристаллов других слоистых сверхпроводников - оксикарбонатов висмута. Задачей работы также являлся поиск новых железосодержащих соединений, структурно родственных уже известным высокотемпературным сверхпроводникам.

Диссертация имеет 4 главы, каждая из которых посвящена отдельному исследованию. Структура всех глав практически одинакова: синтез образцов, их рентгеновская паспортизация, описание методики измерений (магнитных или электрических свойств), полученные результаты и краткие выводы. Каждая из глав является небольшим самостоятельным исследованием, и между собой они слабо связаны.

Отмечу наиболее яркие результаты. К ним, без сомнения, относятся детальные измерения критических магнитных полей на высококачественных монокристаллах FeSe (Гл. 4). Измерения выполнены в полях до 30 Тл и температурах до 30 мК при двух ориентациях плоскости кристалла (ав): параллельно и перпендикулярно внешнему полю. Показано, что температурные зависимости второго критического поля $H_{c2}(T)$ в ориентации $H||c$ хорошо описываются теорией Вертхаммера-Халфенда-Хохенберга (ВХХ) без учета спин-парамагнитных и спин-орбитальных эффектов. В геометрии $H||ab$ данные заметно отклоняются от зависимости (ВХХ) в соответствии с парамагнитным ограничением сверхпроводимости. Согласно экспериментам, параметр анизотропии H_{c2} в кристаллах FeSe уменьшается с понижением температуры, и, что существенно, анизотропия практически исчезает при температуре, стремящейся к нулю. С другой стороны, очевидно, что обе зависимости $H_{c2}(T)$ имеют общую точку при $T=T_c$. Таким образом, в FeSe обнаруживается замечательная особенность критических полей, почему-то не обсуждаемая автором. Зависимости $H_{c2}(T)$ для разных плоскостей совпадают при $T=T_c$ и $T=0$ и различаются при всех других температурах. Подобная особенность наблюдается и в некоторых других «железных» сверхпроводниках, и, по-видимому, является характерной для этого класса.

Интересный эффект обнаружен при синтезе семейства пниктидов $\text{GdFeAsO}_x\text{F}_{1-x}$, GdFeAsO_x , $\text{EuFeAsO}_x\text{F}_{1-x}$ (Гл.1). Оказалось, что образцы, сформированные под давлением, сверхпроводят, а при «спекании» в ампуле при нормальных давлениях их проводимость имеет полупроводниковый ход, и сверхпроводимость не наблюдается. Синтезом под давлением сформировано новое соединение семейства пниктидов - $\text{EuAsFeO}_{0.85}\text{F}_{0.15}$ с температурой перехода $T_c=11\text{K}$. К сожалению, автор сосредоточился на измерении критических полей нового соединения, и роль давления при формировании сверхпроводящей структуры осталась не выясненной.

В Главе 2 изложена процедура синтеза сложных многослойных железосодержащих структур, в которых есть надежда обнаружить сверхпроводимость. В частности, были синтезированы два новых перовскитовых халькогенида, $\text{Ca}_2\text{CuFeO}_3\text{S}$ и $\text{Ca}_2\text{CuFeO}_3\text{Se}$. Это, видимо, первые слоистые структуры, содержащие кальций, которые являются изоструктурными аналогами соответствующих соединений со Sr и Ba. Новые соединения не обладают сверхпроводимостью вплоть до температуры 4K и показывают полупроводниковые свойства с энергетической щелью, падающей от оксисульфида к оксиселениду. К сожалению, как пишет автор, «прямая взаимосвязь между составом и структурой пока еще не известна». Так что этот результат лишь один из шагов на долгом пути поиска решения.

Глава 3 посвящена синтезу монокристаллов оксикарбоната висмута $\text{Bi}_2\text{Sr}_4\text{Cu}_2\text{CO}_3\text{O}_8$. Эта глава находится вне основной канвы диссертации, но в ней отражены основные проблемы синтеза слоистых монокристаллов, с какими сталкивается исследователь и изложены способы решения.

Многие результаты, представленные в диссертации, были получены впервые. Так было синтезировано сверхпроводящее соединение $\text{EuFeAsO}(\text{F})$ и были исследованы его транспортные и магнитные свойства. По экспериментам в полях до 14 Тесла было получены кривые температурной зависимости второго критического поля.

Детально исследована анизотропия критических полей в монокристалле FeSe и обнаружено ее исчезновение при $T \rightarrow 0$

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

В работах диссертанта показано, что у широкого класса соединений $\text{REFeAsO}(\text{F})$ ($\text{RE} = \text{Eu}, \text{Gd}$) производная dH_c2/dT для лучших синтезированных образцов достигает значений 5.5 Тл/К (при критической температуре 53.5 К). Это дает основания полагать, что второе критическое поле в пределе нуля температуры будет весьма высоким, что в свою очередь делает «железные сверхпроводники» перспективными с точки зрения практических применений.

Полезным явилось сравнение методов синтеза этих соединений и вывод о том, что для формирования сверхпроводимости фазы требуется синтез под высоким давлением.

Достоверность и обоснованность полученных результатов и исследований.

Приведенные в диссертации экспериментальные данные достаточно надежны, так как получены различными методами и на нескольких образцах. Результаты научных исследований диссертанта являются новыми. Их новизна и достоверность подтверждается публикациями в рецензируемых журналах.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности.

Основные результаты диссертации изложены в 7-и печатных работах, опубликованных престижными Российскими и зарубежными журналами. Диссертация представляет из себя завершенную работу по исследованию транспортных и магнитных свойств ряда слоистых сверхпроводников.

Замечания к диссертации.

Большое число исследованных автором структур и составов, безусловно, похвально при оценке работы. Однако хотелось бы видеть систематизацию результатов и их общее аналитическое осмысление с точки зрения связи физических свойств со сверхпроводимостью. К сожалению, этого не сделано, и диссертация выглядит как набор добротных экспериментальных фактов, которые еще предстоит переосмыслить.

В тексте имеются досадные казусы и ошибки.

Так на рис.1.3 указана полярность контактов для стандартного потенциометрического метода, а сверху изображена схема измерений на переменном токе с синхронным детектором.

На стр. 37 чувствительность термопары названа разрешением, и приведена цифра 10 и 20 mV/K, что, по-видимому, относится к мкВ.

Не внятным является рис.2.4. В тексте указано, что это восприимчивость, но на рисунке ось отмечена буквой - М, которой принято обозначать магнитный момент.

На рис.3.6 приведена кривая намагничивания, из которой, по утверждению автора, определены H_{c1} и H_{c2} . Это весьма спорное утверждение. Первое критическое поле H_{c1} определяют по обратимой части зависимости $M(H)$ для цилиндрического образца в продольном поле. А H_{c2} надежно определяют из электропроводности, поскольку ошибка измерений из намагниченности $M(H)$ - значительна. Так что приведенные величины весьма приблизительны.

На стр. 74 - фраза «и FeSe становится практически изотропным при температуре, стремящейся к нулю». Полагаю, это относится к критическим полям, а не к структуре.

Заключение

Сделанные по работе замечания не снижают высокой оценки ее профессионального уровня.

Автореферат и опубликованные работы полностью отражают основное содержание диссертации. Считаю, что рецензируемая диссертационная работа отвечает требованиям ВАК России, и ее автору Садакову Андрею Владимировичу может быть присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Нач. лаборатории
НИЦ «Курчатовский институт»
д.ф.-м.н., профессор



Е.П. Красноперов

12 сентября 2014 г.

Подпись Красноперова Е.П.

Заверяю:

Зам. директора
Главный ученый секретарь
НИЦ «Курчатовский институт»



В.И. Ильгисонис