

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации А.В. Путилова «Исследование пространственно-неоднородных электронных состояний методами низкотемпературной сканирующей зондовой микроскопии и спектроскопии», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния.

Актуальность. Решаемые в диссертационной работе А. В. Путилова задачи связаны с актуальными проблемами нанофизики и физики сверхпроводимости, важными как точки зрения развития фундаментальной науки, так и с позиции технического применения исследованных и подобных им материалов в нанoeлектронике и сверхпроводниковых устройствах. В работе, в частности, изучаются эффекты размерного квантования энергетического спектра носителей тока в тонких металлических пленках, а также исследуется структура вихревой решетки и кора вихря в кристаллах железосодержащих сверхпроводников FeSe, и структура прикраевой сверхпроводимости в ниобиевых мостиках. Кроме того, в работе предприняты попытки создания графено-подобных структур из тяжелых по сравнению с углеродом элементов. Отмеченные выше проблемы и материалы интенсивно исследуются в последнее время исследователями многих лабораторий во всем мире.

Научная новизна и достоверность. Все главы диссертации являются «оригинальными», то есть, - содержащими полученные А.В. Путиловым результаты. Личный вклад диссертанта в оригинальные результаты не вызывает сомнений. Основной метод исследования, использованный диссертантом, - туннельная микроскопия/спектроскопия вполне адекватно соответствует решаемым задачам. Удачным решением, значительно повышающим уровень полученных результатов и их достоверность, является применение математического моделирования исследуемых процессов на основе феноменологической теории Гинзбурга-Ландау. Достоверность полученных результатов также не вызывает сомнений, так как они выдержали многократную проверку в ходе дискуссий на нескольких всероссийских и международных научных конференциях, а также получили положительную оценку квалифицированных экспертов, каковыми являются рецензенты солидных научных журналов, таких как «Письма в ЖЭТФ», «Physical Review B», *etc.* (Общее число опубликованных статей – 7).

Научная и практическая значимость. Научная значимость работы заключается в том, что полученные диссертантом результаты существенно пополняют набор сведений о вихревой решетке в халькогенидах железа, а также проясняют строение энергетического спектра электронов проводимости в тонких

металлических пленках в условиях размерного квантования. Практическая значимость диссертации связана с развитием методов приготовления проводящих монослойных структур, которые могут служить базовыми элементами нанoeлектроники.

Структура диссертации. Диссертация состоит из Введения, трех Глав, Заключения, Списка цитируемой литературы и Списка авторских публикаций. Во Введении описаны проблемы, рассмотренные в диссертации, обоснованы актуальность, выбор объектов и методов исследования, дано краткое описание содержания диссертации.

В первой главе представлены результаты изучения тонкопленочных наноструктур, изготовленных из свинца, ниобия и германия на атомарно-гладких подложках кремния и золота, с помощью туннельной спектроскопии и сканирующей туннельной микроскопии. Главный результат этой части диссертации заключается в успешном наблюдении размерного квантования энергетического спектра электронов проводимости в тонких пленках свинца и смещение уровней энергии при наличии дефектов. Усилия, направленные на создание германета и монослоя ниобия, успехом не увенчались. Тем не менее, эта деятельность позволила выявить некоторые закономерности в формировании ультратонких пленок, которые могут быть полезны в дальнейшем развитии методов получения монослоев сравнительно тяжелых элементов.

В Главе 2 изложены результаты исследования вихревой структуры в сверхпроводящих монокристаллах селенида железа FeSe методами сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии. Обнаружена и описана в рамках теории Гинзбурга-Ландау трансформация гексагональной вихревой решетки в квадратную при увеличении внешнего магнитного поля. Изучена структура вихря при изменении магнитного поля. Показано, что сердцевина вихря является анизотропной, причем анизотропия увеличивается с ростом магнитного поля. В этой главе также представлены результаты исследования распределения параметра порядка вблизи линейного дефекта в монокристалле FeSe.

В Главе 3 решаются задачи, связанные с локализованной и прикраевой сверхпроводимостью в ниобиевых микроэлементах. В рамках модели Гинзбурга-Ландау проведено численное моделирование электрического отклика таких структур при локальном разрушении сверхпроводимости с помощью фокусированного лазерного луча. Результаты моделирования позволили интерпретировать экспериментальные результаты, полученные коллегами диссертанта.

Диссертация А.В. Путилова не лишена некоторых недостатков, которые не снижают ее ценности, но создают трудности в понимании материалов и иногда портят впечатление.

Глава 3, посвященная, как уже отмечалось выше, моделированию электрического отклика ниобиевого мостика на локальный нагрев узким лазерным лучом, создает впечатление инородного тела в ряду экспериментов, выполненных с помощью туннельной микроскопии и спектроскопии. Отнести такой способ мониторинга состояния тонкопленочной структуры, когда лазерный луч локально разрушает сверхпроводимость, а регистрируется изменение сопротивления всего образца, к категории сканирующей зондовой микроскопии можно, на мой взгляд, с большой натяжкой.

Общепринято считать халькогениды и пниктиды железа относящимися к классу железосодержащих высокотемпературных сверхпроводников. Автор диссертации, по-видимому, их таковыми не считает и многократно проводит их сравнение с ВТСП материалами, под которыми он, как мне показалось, подразумевает купратные сверхпроводники (см., например, стр.9, 2-й абзац).

Система гиперссылок в pdf-файле диссертации работает некорректно.

В тексте диссертации часто встречаются неаккуратно составленные фразы и небрежное обращение со словами. Далее следуют примеры:

- Во Введении «исследование» много раз выступает в роли цели или задачи. На мой взгляд, исследование – это процесс, с помощью которого достигается какая-либо цель, или решается определенная задача.

- На стр.8 – новый, непривычный термин «вихревая сверхпроводимость» - требуется определение или пояснение.

- «...в Fe-содержащих сверхпроводниках механизм спаривания может быть связан с существованием магнетизма на фазовой диаграмме.» (стр.9, 1-й абзац)- скорее, с существованием магнитных корреляций внутри самих Fe-содержащих сверхпроводников.

- «...они не так чувствительны к уровню допинга (а для некоторых соединений, например, FeSe, LiFeAs, допинг не требуется)...» (стр.9, 2-й абзац) - предпочтительнее использовать слово «допирование».

- «...Показано, что при малых покрытиях менее 0.1 монослоя ...» (стр.57) – Ясно, что речь идет о количестве напыляемого материала, которого хватит, чтобы покрыть монослоем менее 10% поверхности подложки. Однако, при отсутствии таких объяснений у читателя может сложиться ошибочное представление, что речь идет о слое толщиной менее 1/10 монослоя.

- «3.3 Численное моделирование сверхпроводящего мостика в резистивном состоянии...» (стр.94)

Имеются многочисленные опечатки в форме пропущенных предлогов и несогласования падежей (страницы 5, 6, 7, 8, 11, 91 и др.).

Отмеченные недостатки не дают основания для сомнения в значимости результатов диссертационной работы А.В. Путилова.

Диссертационная работа А.В. Путилова удовлетворяет всем требованиям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней» №842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

Ведущий научный сотрудник ФИЦ КазНЦ РАН,
доктор физико-математических наук по специальности
01.04.11 - физика магнитных явлений

Таланов Юрий Иванович

Почтовый адрес:

420111, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31,
Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр Российской академии наук»

