

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор МГУ имени М.В. Ломоносова,

профессор



А. А. Федякин

2017 г.

ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Никитина Максима Валерьевича**
«Крутильная деформация квазидвумерного проводника ромбического TaS_2
при движении волны зарядовой плотности», представленной на соискание
учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности
01.04.07 физика конденсированного состояния

В настоящее время интенсивно развивается физика систем с пониженной размерностью. Интерес к таким системам вызван, прежде всего, поиском новых физических явлений, которые могут послужить основой для создания радикально новых устройств в микроэлектронике, а так же микро- и наносистемной технике. Отдельное направление в этой области составляет изучение механических колебаний подвешенных нитей. В качестве материала нити используют различные соединения, например, углеродные нанотрубки; недавно к их числу добавились и квазидвумерные проводники с волной зарядовой плотности (ВЗП). В данной работе исследуется влияние движения ВЗП на механические свойства квазидвумерных проводников. С одной стороны, работа позволяет изучать фундаментальные свойства такого коллективного электронного явления как ВЗП, проявляющиеся через взаимодействие с решёткой кристалла. С другой стороны, работа открывает путь к применению квазидвумерных проводников в качестве элементов микро- и нанозлектромеханических систем. Поэтому актуальность выбранной М.В.Никитиным темы не вызывает сомнений.

Степень обоснованности научных положений, выводов, сформулированных в диссертации, повизна исследований и результатов.

Обоснованность научных положений, выводов, рекомендаций и заключений, полученных в диссертации, подтверждается публикациями результатов в рецензируемых журналах.

Диссертационная работа продолжает исследования крутильной деформации, начатые в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН. В первой главе диссертации приведено поэтапное описание основных результатов, уже полученных в этой области. Кручение

было исследовано в нескольких материалах. Наиболее детальные исследования были проведены на квазиодномерном проводнике TaS_2 , поэтому он был выбран диссертантом в качестве основного материала для исследований.

Для исследования электромеханических свойств квазиодномерных проводников диссертантом была разработана экспериментальная методика, позволяющая одновременно детектировать электрический сигнал с фотодиода, пропорциональный углу кручения образца, и сигнал с самого образца. На основе ранее полученных данных было показано, что наблюдаемые эффекты можно описать как взаимодействием ВЗП и кристаллической решётки.

К началу работы кручение было изучено, в основном, в области напряжений, ниже порогового или близких к нему. Выше порога, в условиях движущейся ВЗП, особенности кручения *не исследовались*. Поэтому, естественным образом сформировалась тематика диссертационной работы – исследование механических деформаций образца при движении ВЗП. Кроме того, поскольку верхняя граница “быстрого” отклика по частоте *не была определена*, перед диссертантом возникла и другая задача: заменить оптическую методику на новую, позволяющую возбуждать и детектировать колебания на возможно более высоких частотах.

Для исследования деформации ВЗП по кручению диссертантом были предложены следующие подходы:

1. Исследование усреднённой по времени деформации скользящей ВЗП. В этом случае можно изучать зависимость угла кручения φ от медленно разворачиваемого напряжения Γ в области порогового напряжения Γ_c , и выше, и по ней судить об особенностях деформации ВЗП при движении. В частности, можно изучить влияние на деформацию ВЗП синхронизации ВЗП высокочастотным полем (ступенек Шапиро). Изучению зависимости $\varphi(\Gamma)$ в области ступенек Шапиро посвящена вторая глава диссертации. В ней приводится описание эффекта синхронизации скольжения ВЗП высокочастотным полем (ВЧ поле от 100 кГц до 1 МГц) и сообщается об обнаружении ступенек Шапиро в кручении квазиодномерного проводника TaS_2 , а также приводятся результаты их исследования.

2. Исследование зависящей от времени деформации ВЗП по колебаниям високров квазиодномерных проводников, вызванных скольжением ВЗП в постоянном электрическом поле. Обнаружению и исследованию таких колебаний, как гармонических, так и имеющих широкополосный спектр, посвящена третья глава диссертации.

Исследования, проведённые в рамках первого подхода, показали, что в условиях синхронизации волна зарядовой плотности не просто движется с постоянной скоростью, синхронно преодолевая барьеры пиннинга, но и повышает свою пространственную когерентность. Синхронизация с внешним ВЧ полем приводит к уменьшению неоднородной деформации ВЗП, чем и объясняется уменьшение величины кручения образца.

Второй подход, то есть изучение шумовых крутильных колебаний, позволил установить, что при движении ВЗП в поле выше порогового возникают периодические механические колебания образца, связанные с прямым механическим воздействием скользящей ВЗП на образец. Частота колебаний совпадает с фундаментальной частотой

скольжения ВЗП в данном поле. Вибрации образцов определяются динамической деформацией ВЗП и, помимо узкополосного вклада на фундаментальной частоте, содержат широкополосную шумовую компоненту. Измерения флуктуаций угла кручения показали, что при протекании постоянного тока выше порогового наблюдаются механические колебания образцов со спектром типа $1/f$ в области частот от 0.1 Гц до 100 Гц.

Для детектирования крутильных колебаний висковеров TaS₂ в работе была модифицирована и успешно применена методика гетеродинного смещения с частотной модуляцией. Результат подтверждён контрольными измерениями с помощью оптической схемы, с применением зеркал. Пики тока смещения наблюдались также на образцах без зеркал на частотах до 10 МГц. Подтверждена связь наблюдающихся пиков с резонансными колебаниями образцов. При этом колебания возбуждаются не с помощью затвора, а за счёт внутренних свойств образцов с ВЗП крутильной деформации в электрическом поле. Эти свойства выгодно отличают резонаторы на основе квазиодномерных проводников от систем, исследованных ранее.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Научная значимость работы определяется тем, что в ней изучаются фундаментальные свойства ВЗП, проявляющиеся в крутильных колебаниях квазиодномерных проводников. Изучение кручения является новым подходом к исследованию деформации ВЗП. В частности, в деформации образца могут проявляться те виды деформации ВЗП, которые не выявляются другими методами.

Практическая значимость работы диссертанта состоит в доказательстве возможности использовать полученные результаты в области микро- и нанозлектромеханики. Показано, что образец можно использовать одновременно как генератор и как детектор механических колебаний. Высказано предположение, что при уменьшении размеров структур до нанометровых возможно повышение рабочих частот до величин порядка 1 ГГц и выше.

Оценки содержания диссертации, ее завершенности.

Текст диссертации изложен на 113 страницах машинописного текста, содержит 46 рисунков и список использованных литературных источников из 104 наименований. Основные результаты диссертации изложены в 18 печатных работах. Диссертация представляет из себя завершенную работу по исследованию фундаментальных свойств волны зарядовой плотности в кручении квазиодномерного проводника TaS₂ в условиях движения ВЗП.

Замечания к диссертации.

По диссертационной работе Никитина М.В. можно сделать следующие замечания.

1. В работе описано множество новых и интересных эффектов, обнаруженных в кручении квазиодномерных проводков и связанных с динамикой ВЗП. Однако анализ полученных результатов в рамках одной модели взаимодействующих пружин хоть качественно и объясняет суть наблюдаемых явлений, но не позволяет конкретизировать виды наблюдаемой деформации в реальных кристаллах и делать хотя бы приблизительные

оценки её величины. Хотелось бы видеть более полное объяснение полученных результатов.

2. В продолжение предыдущего замечания: в работе очень мало математических доводов и формул. Понятно, что работа имеет очевидный экспериментальный характер, однако полученные результаты было бы неплохо подтвердить теоретически. Вместе с тем, должен отметить, что представленные результаты находятся в яком качественном согласии с полученными ранее данными и выводами из большого числа других исследований. Данное замечание является, отчасти, пожеланиями на будущее.

3. Приведённый в начале второй главы материал, посвящённый общему описанию ступенек Шапиро на вольт-амперных характеристиках при синхронизации ВЗП внешним полем, смотрелся бы уместнее при описании фундаментальных свойств волны зарядовой плотности в главе 1 или во введении к диссертации.

4. Обоснование выбора кручения как основного исследуемого вида деформации следовало бы привести в первой главе до изложения основных результатов. В диссертации данные пояснения содержатся лишь в начале третьей главы при описании выбора методики для исследований динамической деформации образцов.

Сделанные по работе замечания не снижают её высокой оценки. Представленная работа имеет завершённый вид, но, в то же время, перспективы её развития весьма широки.

Результаты исследований и выводы по работе могут быть использованы в ряде организаций, разрабатывающих или исследующих низкоразмерные материалы: ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, ФИ им. П.Н. Лебедева РАН, ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН, ИОФ им. А.М. Прохорова РАН, ИФТТ РАН, ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, ИПТМ РАН, РНИЦ «Курчатовский институт», в лабораториях МГУ, МИФИ, УГУ им. А.М. Горького и др.



Основные результаты докладывались на ряде российских и международных конференциях и конкурсах: По материалам диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 7 статей в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованный ВАК Минобразования и науки РФ, 4 статьи в журналах, входящих в Международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus и Web of Science, а также 9 публикаций - в сборниках трудов российских и зарубежных конференций.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации. Таким образом, диссертация Никитина М.В. удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены и одобрены на заседании кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. протокол № 2 от 24 апреля 2017 г. Отзыв подготовлен профессором А.Н. Васильевым.

Зав. кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости,
профессор, доктор физ.-мат. наук

Ученый секретарь кафедры,
ст. научный сотрудник, кандидат физ.-мат. наук

 А.Н. Васильев
 О.С. Волкова

ФИО: Васильев Александр Николаевич

Учёная степень: доктор физико-математических наук

Специальность: 01.04.07 – физика твёрдого тела

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Академика Хохлова, стр. 8, МГУ. Кафедра низких температур и сверхпроводимости

Телефон: +7 (495) 939-4811

Адрес электронной почты: vasil@mg.phys.msu.ru

Название организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова (физический факультет)

Должность: профессор, зав. кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости