

УВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Институт
радиотехники и электроники
им. В.А.Котельникова
Российской академии наук (ИРЭ
им. В.А.Котельникова РАН).



С.А.Никитов

« 25 мая » 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Морочо Амбойя Александера Альфредо «Изучение волн зарядовой плотности в полителлуридах редкоземельных металлов», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Актуальность работы

Диссертационная работа А.А. Морочо посвящена исследованию волн зарядовой плотности (ВЗП) в полителлуридах редкоземельных элементов $R\text{Te}_n$ ($n = 3, 4$). Актуальность тематики очевидна, поскольку коллективные электронные состояния в низкоразмерных системах остаются одним из наиболее активно развивающихся направлений современной физики конденсированного состояния. Отмечу, что *только* среди полителлуридов синтезированы квазидвумерные соединения, в которых достоверно наблюдалось скольжение ВЗП в электрическом поле. Эти квазидвумерные материалы с ВЗП представляют особый интерес также в связи с возможностью управления их электронными свойствами с помощью внешних воздействий, таких как давление, деформация и магнитное поле. Полителлуриды редкоземельных элементов являются удобными модельными системами для изучения коллективных электронных состояний в квазидвумерных материалах, реконструкции электронной структуры и конкуренции различных электронных нестабильностей. Несмотря на большое количество экспериментальных и теоретических исследований, многие особенности поведения систем $R\text{Te}_3$ и $R\text{Te}_4$ до сих пор остаются недостаточно изученными. В частности, сохраняются дискуссии о природе температурного гистерезиса, влиянии деформаций на параметры ВЗП и происхождении медленных магнитных квантовых осцилляций.

Дополнительную актуальность работе придаёт необходимость согласования результатов фотоэмиссионной спектроскопии и магнитных квантовых осцилляций при исследовании электронной структуры квазидвумерных материалов. Таким образом, работа направлена на решение актуальных фундаментальных задач физики конденсированного состояния и обладает высокой научной значимостью.

Ферми, анализируются медленные магнитные квантовые осцилляции и предлагается метод обработки данных ARPES для согласования результатов различных экспериментальных методов.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы диссертационной работы.

Особо отмечу, что выступление А.А. Морочо на семинаре в ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН показало, что он прекрасно владеет не только материалами, представленными для защиты, но и другими смежными подходами к описанию физики ВЗП. Сама диссертационная работа отличается разнообразием и оригинальностью подходов. Так, представленные в IV главе результаты были получены, в частности, благодаря тщательной обработке экспериментальных данных ARPES. То есть, А.А. Морочо удалось увидеть результаты, которые, по какой-то причине, не заметили авторы эксперимента. Отмечу также нетривиальность и других результатов. Так, было установлено, что изменение температуры формирования ВЗП при деформации определяется не только и не столько изменениями условий нестинга поверхности Ферми, сколько влиянием деформации на электрон-фононное и электрон-электронное взаимодействие.

Замечания по диссертационной работе

Работа не свободна от недостатков. Так, в первом положении, выносимом на защиту, сказано, что температура ВЗП-перехода изменяется в основном из-за «изменения силы взаимодействия», но не уточнено что с чем взаимодействует.

В докладе на семинаре была представлена таблица, в которой тетрателлуриды были отнесены, в отличие от трителлуридов, к группе полупроводников, а не металлов. Как выяснилось, это связано не с отличием их электронной структуры, а с повышенными температурами переходов: при комнатной температуре все они находятся в состоянии с ВЗП, то есть, диэлектрическом. Впрочем, докладчик сразу прояснил ситуацию после заданного ему вопроса.

Таким образом, указанные замечания не являются принципиальными и не умаляют высокого качества диссертационной работы.

Заключение

Диссертация А.А. Морочо «Изучение волн зарядовой плотности в полителлуридах редкоземельных металлов» является законченной научно-квалификационной работой, посвящённой актуальной проблеме физики конденсированного состояния — исследованию коллективных электронных состояний в квазидвумерных системах с волной зарядовой плотности.

В работе получены новые научные результаты, связанные с влиянием направленных деформаций на состояние ВЗП в системах $R\text{Te}_3$, исследованием природы температурного гистерезиса в $R\text{Te}_4$, а также анализом остаточных

Достоверность результатов

Достоверность результатов работы подтверждается использованием современных теоретических методов исследования электронной структуры в низкоразмерных системах. Полученные результаты согласуются с существующими экспериментальными данными. Особо отмечу, что теоретические исследования проводились в тесном контакте с экспериментаторами, исследующими три- и тетрателлуриды.

Предложенные модели позволяют качественно и количественно описать наблюдаемые особенности поведения систем $R\text{Te}_3$ и $R\text{Te}_4$, включая температурный гистерезис и изменение параметров ВЗП при деформации и магнитные квантовые осцилляции. Основные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus, а также представлены на российских и международных научных конференциях.

Структура и объём диссертационной работы

Диссертация включает введение, четыре главы с изложением результатов исследования, заключение и список литературы. Объём работы составляет 93 страницы и содержит 32 рисунка, 1 таблицу, 136 наименований в списке литературы и 7 приложений.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, представлены научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору современного состояния исследований волн зарядовой плотности в полителлуридах редкоземельных элементов $R\text{Te}_n$. Рассматриваются особенности кристаллической и электронной структуры данных соединений, механизмы формирования состояния ВЗП, влияние нестинга поверхности Ферми, а также результаты экспериментальных исследований электронной структуры методами ARPES и магнитных квантовых осцилляций.

Во второй главе исследуется влияние одноосных и двухосных деформаций на температуру перехода ВЗП в системах $R\text{Te}_3$. Рассматриваются изменения поверхности Ферми, восприимчивости Линдхарда и параметров ВЗП при различных режимах деформации.

Третья глава посвящена исследованию природы аномального температурного гистерезиса в тетрателлуридах редкоземельных элементов $R\text{Te}_4$. Анализируется вклад различных теллуридных слоёв, влияние антипересечения электронных зон и электрон-электронного взаимодействия на ширину температурного гистерезиса.

В четвёртой главе проводится анализ электронной структуры $R\text{Te}_3$ в состоянии ВЗП. Исследуются остаточные электронные карманы поверхности

Научная новизна исследования

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Выполнена детальная теоретическая оценка влияния одноосных и двухосных деформаций на температуру перехода волны зарядовой плотности в теллуридах редкоземельных элементов $R\text{Te}_3$. Показано, что изменение температуры формирования ВЗП определяется преимущественно изменением волнового вектора и силы электрон-фононного и электрон-электронного взаимодействия, а не эффектами нестинга поверхности Ферми.
2. Исследована эволюция поверхности Ферми в системах $R\text{Te}_3$ при направленной деформации. Установлено, что деформация может приводить к переключению направления волны зарядовой плотности и изменению электронного состояния.
3. Проанализирован вклад различных теллуридных слоёв и межслоевого взаимодействия в формирование аномального температурного гистерезиса в системах $R\text{Te}_4$.
4. Предложена модель, связывающая возникновение широкого температурного гистерезиса в $R\text{Te}_4$ с конкуренцией волны зарядовой плотности и антипересечения электронных зон, усиленного электрон-электронным взаимодействием.
5. Получены оценки размеров остаточных электронных карманов после образования второй ВЗП в системах $R\text{Te}_3$ на основе обработки данных фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением.
6. Впервые предпринята попытка согласования результатов ARPES и магнитных квантовых осцилляций в соединениях $R\text{Te}_3$ с использованием методов обработки изображений и анализа электронной структуры.
7. Показано, что предложенный подход позволяет объяснить происхождение медленных квантовых осцилляций.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в выяснении механизмов формирования состояний ВЗП в полителлуридах редкоземельных элементов $R\text{Te}_3$ и управления ими. Полученные результаты расширяют представления о поведении коллективных электронных состояний в квазидвумерных материалах и могут быть использованы при разработке новых функциональных материалов с управляемыми электронными свойствами.

Показано, что направленные деформации позволяют эффективно изменять параметры состояния ВЗП и электронную структуру соединений $R\text{Te}_3$. Это открывает возможности для управления свойствами материалов с помощью внешних механических воздействий, что представляет интерес для перспективных квантовых технологий.

Практический интерес представляет разработанный автором метод обработки данных ARPES, позволяющий более точно определять размеры остаточных электронных карманов и согласовывать результаты ARPES и магнитных квантовых осцилляций. Предложенный подход может применяться и для других квазидвумерных материалов, включая высокотемпературные сверхпроводники и системы с реконструкцией поверхности Ферми.

электронных карманов и магнитных квантовых осцилляций. Предложенные модели и методы обработки экспериментальных данных позволяют расширить современные представления об электронной структуре полителлуридов редкоземельных элементов.

Результаты работы обладают как фундаментальной научной значимостью, так и практической ценностью для дальнейшего изучения низкоразмерных материалов с коллективными электронными состояниями. Основные положения диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях и представлены на научных конференциях.

Диссертационная работа соответствует специальности 1.3.8 — «Физика конденсированного состояния», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Работа представлена А.А. Морочо, рассмотрена, обсуждена и одобрена на заседании научно-квалификационного семинара ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН 20 мая 2026 г., протокол №4/26 от 24.05.2026г. Отзыв составлен на основании диссертации, автореферата, публикаций и доклада А.А. Морочо.

На заседании присутствовало 9 членов научно-квалификационного семинара из 13.

Результаты голосования: «за» - 9, «против» - нет, «воздержавшихся» - нет.

Председатель научно-квалификационного семинара
д.ф.-м.н

Зайцев-Зотов С.В.,

Секретарь научно-квалификационного семинара
к.ф.-м.н

Родионов. Д.А.,

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН)

Адрес: 125009, Москва, ул. Моховая 11, корп.7

Телефон: +7 (495) 629 3574

Адрес электронной почты: ire@cplire.ru

Сайт: <http://www.cplire.ru>