

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н., профессора Васильева Александра Николаевича на диссертационную работу Переваловой Александры Николаевны «**Особенности электронных свойств монокристаллов топологических полуметаллов WTe_2 и $MoTe_2$** », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации. Исследование электронных свойств топологических материалов является одним из актуальных направлений физики конденсированного состояния. К таким материалам относят топологические изоляторы, дираковские и вейлевские полуметаллы, которые благодаря особенностям зонной структуры имеют необычные электронные свойства. В последние годы число публикаций, посвященных теоретическому и экспериментальному исследованию топологических материалов, быстро растет. Интерес к данной тематике обусловлен как необходимостью решения задач фундаментальных исследований, так и возможностью использования топологических материалов на практике для разработки устройств спинтроники и реализации квантовых вычислений. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы А.Н. Переваловой, посвященной экспериментальному исследованию структуры, электронных транспортных и оптических свойств монокристаллов топологических полуметаллов WTe_2 и $MoTe_2$, не вызывает сомнений.

Структура и основное содержание работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка публикаций автора по теме диссертации и списка используемой литературы. Материал диссертации изложен на 116 страницах и включает 56 рисунков, 1 таблицу и 118 наименований литературных источников.

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, обсуждаются научная новизна полученных результатов, степень их достоверности, теоретическая и практическая значимость работы, приводятся сведения о методах исследования, личном вкладе автора, апробации полученных результатов, изложены положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой литературный обзор, отражающий современное состояние исследований в данной научной области. На основе анализа представленных литературных данных сформулирована постановка задачи диссертационной работы.

Во второй главе приводится описание метода получения исследуемых в работе

монокристаллов WTe_2 и $MoTe_2$, представлены результаты аттестации полученных образцов, а также описываются используемые экспериментальные методики.

Третья и четвертая главы содержат результаты экспериментальных исследований электронных транспортных и оптических свойств монокристаллов WTe_2 и $MoTe_2$. Автором проводится анализ особенностей температурных зависимостей сопротивления, полевых зависимостей магнитосопротивления и сопротивления Холла исследуемых образцов. Сделаны оценки длины свободного пробега, концентрации и подвижности носителей тока. Установлено хорошее согласие данных по электросопротивлению с оптическими данными. Изучена роль закалки в формировании электронных свойств $MoTe_2$.

В заключении приведены основные результаты и выводы.

Научная новизна результатов диссертационной работы. Диссертация содержит новые оригинальные результаты, имеющие как фундаментальное, так и прикладное значение. К наиболее существенным из них можно отнести следующие:

1. Показано, что квадратичная температурная зависимость электросопротивления WTe_2 в отсутствие магнитного поля, а также квадратичная температурная зависимость проводимости в магнитном поле, наблюдаемые при температурах от 2 до 15 К, связаны с рассеянием носителей тока на поверхности, где имеет место интерференционный механизм рассеяния «электрон-фонон-поверхность».

2. Установлено, что минимум на температурной зависимости сопротивления WTe_2 в магнитном поле вызван переходом от эффективно сильных к эффективно слабым магнитным полям.

3. Показано, что нелинейная полевая зависимость холловского сопротивления WTe_2 и $MoTe_2$ связана, наряду с механизмом компенсации/раскомпенсации носителей заряда, с рассеянием носителей тока на поверхности.

4. Впервые проведен сравнительный анализ оптических спектров $MoTe_2$, полученных до и после структурного фазового перехода из полупроводниковой модификации в полуметаллическую в результате закалки. Показано, что оптический спектр претерпел существенные изменения, свидетельствующие о появлении вклада в оптическое поглощение от свободных носителей.

Достоверность результатов и обоснованность выводов. Достоверность и

обоснованность результатов обусловлены использованием современных апробированных методов исследования, хорошей воспроизводимостью при проведении измерений на разных образцах одинакового состава, согласием с имеющимися литературными данными.

Научная и практическая значимость полученных результатов. Научная значимость работы состоит в том, что получены новые данные об электронных характеристиках WTe_2 и $MoTe_2$, которые дополняют сведения об электронных свойствах топологических полуметаллов. Полученные результаты могут представлять практическую значимость при разработке устройств на основе данных материалов.

Результаты диссертационной работы могут быть востребованы специалистами, занимающимися исследованиями электронной структуры и свойств топологических полуметаллов и родственных материалов в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Физическом институте им. П.Н. Лебедева РАН, Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН, Институте физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН и других научно-исследовательских и образовательных организациях.

По диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. При исследовании температурной зависимости электросопротивления монокристалла WTe_2 на его поверхности был создан дефектный слой. Было бы полезным уделить большее внимание аттестации поверхности образца, в частности, дать количественную оценку шероховатости поверхности.

2. Оценки концентрации и подвижности носителей заряда в монокристалле $MoTe_2$ проведены с помощью однозонной и двухзонной моделей, тогда как для определения параметров носителей тока в WTe_2 использовалась только двухзонная модель. Чем это объясняется?

Сделанные замечания не носят принципиальный характер и не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку работы.

Диссертация А.Н. Перваловой является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи об установлении основных закономерностей поведения и взаимосвязи структурных, электро-, магнитотранспортных и оптических характеристик монокристаллов топологических полуметаллов WTe_2 и $MoTe_2$. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне с использованием

современных методов исследования и содержит новые научные результаты. Необходимо отметить, что работа хорошо апробирована. Основные результаты, представленные в диссертации, докладывались на многих российских и международных конференциях и опубликованы в 10 статьях в ведущих отечественных и зарубежных журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК. Автореферат верно отражает основное содержание диссертационной работы.

Считаю, что диссертационная работа А.Н. Переваловой «Особенности электронных свойств монокристаллов топологических полуметаллов WTe_2 и $MoTe_2$ » отвечает всем требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями от 18.03.2023 г. № 415), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Перевалова Александра Николаевна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости

Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,

доктор физико-математических наук, профессор

1

А.Н. Васильев

«09» 10 2023 г.

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Тел.: (495)939-3825

E-mail: vasil@mig.phys.msu.ru

Подпись профессора А.Н. Васильева заверяю.

Ученый Секретарь Ученого Совета Физического факультета МГУ имени М.В.

Ломоносова,

Профессор

В.А. Караваев

С отзывом ознакомлена

26.10.2023 г.

Перевалова А.Н.

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Васильев Александр Николаевич

Ученая степень, звание: доктор физико-математических наук, специальность 01.04.07 - Физика твердого тела, профессор

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» (Физический факультет)

Должность: заведующий кафедрой физики низких температур и сверхпроводимости

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Тел.: (495)939-3825

E-mail: vasil@mig.phys.msu.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Stable Sulfuric Vapor Transport and Liquid Sulfur Growth on Transition Metal Dichalcogenides / Dmitriy A. Chareev, Md Ezaz Hasan Khan, Debjani Karmakar, Aleksey N. Nekrasov, Maximilian S. Nickolsky, Olle Eriksson, Anna Delin, Alexander N. Vasiliev, Mahmoud Abdel-Hafiez // *Crystal Growth and Design*. – 2023. – V. 23. – P. 2287–2294.
2. Crossover in Low-temperature Ground State of Fe(Se,Te) Compounds / Y.A. Ovchenkov, D.A. Chareev, D.E. Presnov, O.S. Volkova, A.N. Vasiliev // *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*. – 2023. – V. 36. – P.183-188.
3. Изменение критической температуры халькогенидов железа под влиянием примесных фаз и сверхстехиометрического железа / И.И. Гимазов, А.Г. Киямов, Н.М. Лядов, А.Н. Васильев, Д.А. Чареев, Ю.И. Таланов // *Письма в ЖЭТФ*. – 2021. – Т. 113. – С. 450-456.
4. Growth of Transition-Metal Dichalcogenides by Solvent Evaporation Technique / D.A. Chareev, P. Evstigneeva, D. Phuyal, G.J. Man, H. Rensmo, A.N. Vasiliev, M. Abdel-Hafiez // *Crystal Growth and Design*. – 2020. – V. 20. – P. 6930–6938.
5. Multiband effect in elasto-resistance of Fe(Se,Te) / Y.A. Ovchenkov, D.A. Chareev, D.E. Presnov, I.G. Puzanova, O.S. Volkova, A.N. Vasiliev // *Europhysics Letters*. – 2020. – V. 131. – P. 57001.
6. Majority carrier type inversion in the FeSe family and a ‘doped semimetal’ scheme in iron-

- based superconductors / Y.A. Ovchenkov, D.A. Chareev, V.A. Kulbachinskii, V.G. Kytin, S.V. Mishkov, D.E. Presnov, O.S. Volkova, A.N. Vasiliev // Superconductor Science and Technology. – 2019. – V. 32. – P. 065005.
7. Magnetotransport properties of FeSe in fields up to 50 T / Y.A. Ovchenkov, D.A. Chareev, V.A. Kulbachinskii, V.G. Kytin, D.E. Presnov, Y. Skourski, O.S. Volkova, A.N. Vasiliev // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2018. – V. 459. – P. 221-225.

Сведения об официальном оппоненте заверяю.

Ученый Секретарь Ученого Совета Физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
Профессор

В.А. Караваев

