

## ОТЗЫВ

официального оппонента Маркова Олег Иванович на диссертацию Демидова Евгения Владимировича "Электронные явления переноса в условиях квантового и классического размерных эффектов в тонких пленках висмута", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния (физико-математические науки)

Диссертационная работа Демидова Евгения Владимировича посвящена установлению основных закономерностей влияния квантового и классического размерных эффектов на электрические параметры тонких пленок висмута. Актуальность диссертационной работы обосновывается тем, что квантовый и классический размерные эффекты являются базовыми в понимании кинетических свойств тонких пленок. Уникальный электронный энергетический спектр висмута, приводящий к малой концентрации носителей заряда и большой длине волны де Бройля, делают возможным наблюдение квантовых эффектов. Усовершенствование способа получения качественных монокристаллических пленок висмута вывело исследования кинетических явлений в пленках висмута на новый качественный уровень, позволяющий учесть влияние поверхности, границ кристаллитов и механических деформаций на подвижность и изменение концентрации носителей заряда. Все это делает диссертационную работу весьма актуальной.

### **Общая характеристика работы.**

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, экспериментальной части, состоящей из 5 глав, заключения и списка используемой литературы. Общий объем диссертации - 270 страниц, содержит 120 рисунков, 6 таблиц и библиографию, содержащую 308 наименований.

Результаты опубликованы в 68 работах, из них 33 статьи в журналах из списка ВАК, 1 монография, 4 патента РФ и представлены на более чем 20 международных и российских конференциях.

Во **введении** сформулированы актуальность, цели и задачи работы, обоснованы методы исследования, сформулированы научная новизна и практическая значимость работы, представлены выносимые на защиту положения. Приведены список конференций и семинаров, на которых апробировано содержание работы, список публикаций автора, в которых изложено основное содержание диссертации.



**Первая глава** содержит обзор литературы, посвященный описанию кристаллической структуры, химической связи, энергетического спектра носителей заряда кристаллов висмута, теории классического и квантового размерного эффекта. Отражено современное состояние исследований явлений переноса в тонких пленках полуметаллов, полученных ранее другими авторами. На основании анализа данных научной литературы сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** представлены краткая теория процессов роста тонкой пленки и описание различных методов получения тонких пленок висмута. Отражены преимущества и недостатки данных методов. В главе представлено описание не только ранее известных используемых в работе методов контроля структуры тонких пленок (атомно-силовая и электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ), но и новые, разработанные в рамках данной работы, способы измерения размеров кристаллитов, определения их взаимной кристаллографической ориентации, а также толщины тонких пленок.

**В третьей главе** приведены результаты исследования гальваномагнитных и термоэлектрических свойств блочных и монокристаллических пленок различной толщины чистого висмута, висмута, легированного теллуром и пленок твердого раствора висмут-сурьма.

**В четвертой главе** проводится анализ изменений подвижности и концентрации носителей заряда, рассчитанных на основе удельного сопротивления, магнетосопротивления, коэффициента Холла и дифференциальной термоэдс.

**Пятая глава** посвящена анализу экспериментальных результатов по исследованию квантового размерного эффекта в тонких пленках висмута, а также модификациям энергетического спектра носителей заряда в тонких пленках висмута.

**В заключении** приводятся основные результаты и выводы по проведенному исследованию.

### **Основные научные результаты, полученные автором.**

Наиболее важными результатами работы, имеющими несомненную научную ценность, следует признать представленные экспериментальные доказательства выясненных причин следующих фактов:

–различного периода осцилляций электрических и гальваномагнитных свойств тонких пленок висмута, наблюдаемого различными авторами при исследованиях квантового размерного эффекта;



–разброса максимальной толщины пленок висмута, полученных в работах различных авторов, для которых еще наблюдаются осцилляционные зависимости электрических и гальваномагнитных коэффициентов;

–отсутствие уменьшения концентрации носителей заряда при уменьшении толщины тонких пленках висмута, предсказанного теорией квантового размерного эффекта перехода полуметалл-полупроводник.

Важным, для физики поверхности полуметаллов, является и обнаруженное возрастание концентрации носителей заряда для толщин пленок висмута меньше 25 нм с преимущественным ростом концентрации дырок в отношении электронов.

**Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** обеспечивается тщательным планированием экспериментов по исследованию явлений переноса в тонких пленках висмута, в тонких пленках легированного теллуром висмута и в тонких пленках твердого раствора висмут-сурьма, контролем структуры исследуемых образцов, сравнительным анализом полученных экспериментальных результатов (в том числе с ранее опубликованными работами) в случае, когда такое сравнение корректно, интерпретацией полученных результатов в рамках общепризнанных теорий.

**Научная новизна полученных результатов** определяется в первую очередь полученной важной информацией о структуре, дефектности, тонких пленок висмута, влияния поверхности и материала подложек, что позволило выявить факторы, оказывающие влияние на электрические, гальваномагнитные и термоэлектрические свойства изучаемых низкоразмерных объектов. Использование монокристаллических и блочных пленок с различным размером кристаллитов позволило разделить влияние поверхности и дефектов структуры на изучаемые свойства, что позволило непротиворечиво интерпретировать не только наблюдаемые в рамках данной диссертационной работы, но и описанные другими авторами закономерности проявления квантового размерного эффекта в тонких пленках.

**Достоверность полученных экспериментальных результатов** обеспечивается использованием современного научного оборудования для контроля структуры и состава исследуемых образцов. Исследование явлений переноса проводилось в широком интервале температур и индукции магнитных полей по классической методике на постоянном токе и постоянном магнитном поле.



### **Теоретическая и практическая значимость**

Полученные результаты в настоящей работе могут способствовать развитию фундаментальных знаний о физических явлениях в тонких пленках и поверхности полуметаллов. Проведенный анализ полученных экспериментальных данных расширяет теоретические представления о воздействии классического и квантового размерных эффектов на явления переноса в полуметаллах. Разработанные в данной работе новые способы определения размеров блоков тонкопленочных образцов, контроля их состава и толщины были применены при исследованиях других подобных материалов.

### **В качестве замечаний можно отметить следующее:**

1. В низкоразмерных системах происходит изменение роли интерференционных эффектов. При обсуждении эффекта слабой локализации используется параметр длина сбой фазы. Однако численные значения этой величины в работе не приводятся. Насколько тогда обосновано использование такого параметра в различных пленках?
2. Для парциальных дифференциальных термоэдс вырожденных электронов и дырок используются формулы Писаренко (4.12) без пояснений.
3. В диссертации не всегда используется однозначная терминология, например, одна и та же величина именуется как «термоэдс», «коэффициент термоэдс» и «дифференциальная термоэдс».
4. В актуальности (стр.9) использовано неудачное сочетание «научно обоснованной интерпретации» (Как будто может быть иная?).
5. В целом, диссертация написана хорошим языком и легко читается, однако встречаются стилистические и орфографические ошибки. Например, в диссертации на стр.6 присутствуют опечатки: «оринетированы» «следсвий». На странице 174 написано «Система уравнений (4.1)–(4.4). состоит из четырех уравнений с семи неизвестными».
6. Рисунки в диссертации качественно выполнены и сопровождаются пояснениями. Однако в автореферате рисунки 13 и 22 трудно читаемы.

Вместе с тем, сделанные замечания и имеющиеся технические неточности не умаляют значимости данного исследования. Рассматривая диссертационную работу Демидова Е.В. в целом, следует отметить, что она является законченной научно-исследовательской работой, обладающей актуальностью, новизной, научной и практической значимостью.

Из текста диссертации и автореферата следует, что содержание диссертационной работы Демидова Е.В. соответствует паспорту научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния. Содержание диссертации с необходимой полнотой отражено в автореферате.



Считаю, что диссертация Демидова Е.В. "Электронные явления переноса в условиях квантового и классического размерных эффектов в тонких пленках висмута", представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, является завершенной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, устанавливающие закономерности проявления квантового и классического размерных эффектов в электрических, гальваномагнитных и термоэлектрических свойствах тонких пленок висмута, совокупность которых можно квалифицировать как существенное научное достижение в области физики тонких пленок полуметаллов и узкозонных полупроводников. Диссертация Демидова Евгения Владимировича "Электронные явления переноса в условиях квантового и классического размерных эффектов в тонких пленках висмута" соответствует критериям пп.9-14 Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства № 842 от 24.09.2013 с изменениями и дополнениями), а ее автор заслуживает присвоения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (физико-математические науки).

Доктор физ.-мат. наук (01.04.07. Физика конденсированного состояния), доцент,  
зав. каф. ЭиТФ Орловского государственного  
университета им. И.С.Тургенева

Марков О.И.

25.03.2025

Контактные данные:

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева».

Адрес: 302026, г. Орел, ул. Комсомольская 95,

Тел: +79102029407,

e-mail: [O.I.Markov@mail.ru](mailto:O.I.Markov@mail.ru)

web-сайт: <https://oreluniver.ru/>

Я, Олег Иванович Марков, даю свое согласие на использование, обработку и хранение своих персональных данных в рамках работы диссертационного совета, связанного с защитой диссертации и оформления аттестационного дела Е.В. Демидова

