

ОТЗЫВ

официального оппонента Буравлева Алексея Дмитриевича на диссертационную работу **Фомина Максима Андреевича «Макроскопические квантовые явления в кремниевых наносандвич-структурах, содержащих олигонуклеотиды ДНК»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. - Физика конденсированного состояния

Актуальность диссертационной работы

Ускоренное развитие промышленных полупроводниковых технологий, наблюдаемое в мире за последние годы, все более остро поднимает вопрос о достижении предельных параметров приборов на их основе с одной стороны, и поиске альтернативных подходов – с другой. Несмотря на значительное уменьшение технологических норм, энергопотребление приборов из-за увеличения, например, числа транзисторов в процессоре вследствие необходимости повышения вычислительных мощностей, неуклонно растет. Развиваемое в представленной диссертации направление исследований может стать одним из таких альтернативных подходов. Переход от диффузионного к баллистическому транспорту носителей заряда, т.е. без существенного изменения квазиимпульса, и соответственно, уменьшении диссипации энергии, представляет огромный интерес. При этом волновые свойства носителей тока и, взаимосвязанные с ними интерференционные эффекты приобретают все большую значимость. Лишь процессы неупругого рассеяния на контактах могут вносить, в этом случае, нежелательный вклад. Поэтому использование биологических квантоворазмерных объектов в качестве управляющих подсистем может привести к появлению новой функциональности приборов, созданных на их основе. В этой связи высокая научная актуальность диссертационной работы М.А. Фомина не вызывает ни малейших сомнений. Изучение взаимодействия олигонуклеотидов ДНК с квантоворазмерными полупроводниковыми структурами важно и с точки зрения создания новых приборов для медицинской диагностики, в качестве альтернативы существующим технологиям секвенирования ДНК и РНК.

На основании вышесказанного можно заключить, что диссертационное исследование М.А. Фомина является в полной мере значимым и практически востребованным.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа построена по традиционной схеме, написана грамотным научным языком, изложена на 132 страницах и состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и списка использованных литературных источников, включая 38 рисунков.

Во введении автором сформулированы цель и задачи работы, продемонстрирована актуальность темы, выделены научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию современных представлений о макроскопических квантовых эффектах, взаимосвязанных с размерным квантованием и квантованием Ландау, в частности, осцилляций Шубникова – де Гааза, де Гааза – ван Альфена, целочисленного и дробного квантового эффекта Холла. Также в первой главе содержится информация об олигонуклеотидах, которые можно получать с помощью методов химического синтеза, и их свойствах. В конце главы поставлены цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе содержится описание методов и подходов, которые были использованы как для создания непосредственного создания кремниевых структур, исследованных в ходе выполнения диссертационной работы, так и способов получения и осаждения на их поверхность олигонуклеотидов ДНК.

Третья глава посвящена результатам исследования электрических и магнитных свойств кремниевых наносандвич структур, в том числе, с осажденными олигонуклеотидами ДНК. Приведена модель, использующая в своей основе концепцию электромагнитной индукции Фарадея в условиях захвата квантов магнитного потока, позволяющая идентифицировать электрические аналоги квантового эффекта Холла и квантовой лестницы продольной проводимости с помощью измерения ВАХ. Было продемонстрировано изменение эффективной площади пиксел, содержащих одиночные носители внутри каналов кремниевых наносандвич структур, на которые происходит захват квантов магнитного потока.

В четвертой главе представлены результаты изучения возможности использования олигонуклеотидов ДНК для контроля характеристик квантовой интерференции одиночных носителей в краевых каналах кремниевых наносандвич структур. Было продемонстрировано несколько типов квантовой

интерференции, которые дают одномоментный самосогласованный вклад в наблюдаемые квантовые макроскопические явления.

В заключении сформулированы основные выводы диссертационной работы.

Научная новизна и достоверность работы

Достоверность результатов, полученных в диссертационной работе М.А. Фомина, не вызывает сомнений и подкреплена непротиворечивостью моделей и расчетов, а также сопоставлением с экспериментальными результатами и теоретическими расчетами, представленными в литературе. Работы, послужившие основой диссертации, были опубликованы в реферируемых журналах и докладывались на международных и всероссийских конференциях. Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Тематика диссертации соответствует специальности 1.3.8. - Физика конденсированного состояния.

В диссертационной работе получен целый ряд результатов, отличающихся существенной новизной и практической значимостью, среди которых следует выделить:

1. Обнаружены осцилляции де Гааза – ван Альфена в зарегистрированных полевых зависимостях магнитной восприимчивости краевых каналов кремниевых наноструктур, содержащих олигонуклеотиды ДНК;
2. Показано, что наличие оболочек краевых каналов кремниевых наносандвич, состоящих из дипольных центров бора с отрицательной корреляционной энергией, приводит к эффективному подавлению электрон-электронного взаимодействия;
3. Изучение электрических характеристик КНС позволило идентифицировать вклады одиночных носителей в квантовую интерференцию как от краевых каналов кремниевых наноструктур, так и от осажденных на них олигонуклеотидов ДНК.

Замечания по работе:

1. Во многих местах диссертации указывается несколько противоречивая информация о месте нахождения олигонуклеотидов в ходе исследований после проведения технологических операций по их осаждению. Например, в оглавлении диссертации на странице 2

параграф 3.1 озаглавлен «Вольт-амперные характеристики КНС после осаждения олигонуклеотидов ДНК в краевые каналы», а уже на странице 3 приведено следующее название главы 4: «Квантовая интерференция в условиях присутствия олигонуклеотида ДНК на поверхности КНС».

2. Для проведения исследований использовались олигонуклеотиды только с числом оснований равным пятьдесят. Несмотря на то, что другие подобные объекты, например, с другим числом оснований, в работе не исследовались, выводы о потенциальной возможности разработанных подходов как по управлению транспортом носителей тока, так и исследованию свойств подобных объектов, отдельно не приведены.
3. Все подписи рисунков, приведенных в первой и второй главе, не содержат ссылки на источники, из которых они были взяты. Инфографика приведена как на русском, так и английском языках.
4. В диссертационной работе не приведен отдельный список используемых сокращений, что затрудняет восприятие и работу с текстом.

В целом, указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают оценку диссертационной работы Фомина М.А., которая является завершенной научной работой, выполненной на высоком уровне и содержит новые результаты, имеющие большую научную значимость и практическую ценность.

Заключение

Основные результаты диссертационной работы получены соискателем либо лично, либо в соавторстве и полностью отражены в авторитетных научных изданиях. Наличие достаточного числа публикаций в сочетании с широкой апробацией работы подтверждает вывод об актуальности, научной новизне, достоверности всех результатов, выносимых на защиту.

Поэтому считаю, что диссертация на тему «Макроскопические квантовые явления в кремниевых наносандвич-структурах, содержащих олигонуклеотиды ДНК» по форме и содержанию соответствует всем требованиям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук, утвержденном приказом директора от 19.03.2025 г. № 01-042. Автор диссертации, Фомин Максим

Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент

Буравлев Алексей Дмитриевич,

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник лаборатории микро- и наноэлектроники,
Федеральное Государственное автономное образовательное учреждение
Высшего Образования «Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

«17» ноября 2025 г.



А.Д. Буравлев

Подпись Буравлева А.Д. удостоверяю

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
НАЧАЛЬНИК ОДС
Т.Л. РУСЯЕВА



Контактные данные:

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул.
Профессора Попова, д. 5, литера Ф, тел. +7(921) 9582522, e-mail: alxsb@mail.ru