

ОТЗЫВ

официального оппонента Захарова Максима Анатольевича 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 темы диссертации

Сегодня потребность в вычислительных мощностях растет экспоненциально, что влечет за собой необходимость постоянного развития полупроводниковой отрасли. Технологический предел существующих технологий ограничивает подобный рост, поэтому все больше фокус внимания смещается к использованию квантового транспорта носителей, т.е. переходу от дрейфового режима к фермиевскому, хотя данный подход вызывает серьезные затруднения даже при сверхнизких температурах. Поэтому использование квантоворазмерных объектов, в частности, биообъектов для управления свойствами полупроводниковых наноструктур представляет большой интерес. При создании подобных гибридных систем целесообразно использовать олигонуклеотиды ДНК, поскольку они представляют собой компактные объекты с габаритами в нанометровом масштабе. Однако вопрос влияния олигонуклеотидов ДНК на квантовые свойства наноструктур, например, на явление квантовой интерференции остается нераскрытым.

Все вышесказанное позволяет заключить, что диссертационная работа Фомина М.А. является актуальной и востребованной.

Общая характеристика работы

Диссертационная работа изложена на 132 страницах и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы, включая 38 рисунков.

Во **введении** автором обоснована актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, обозначены научная и практическая значимости, достоверность, апробация работы, а также приведен личный вклад автора.

Первая глава описывает макроскопические квантовые явления, обусловленные квантованием Ландау и размерным квантованием, такие, как целочисленный и дробный квантовый эффект Холла, осцилляции Шубникова – де Гааза, осцилляции де Гааза – ван Альфена, продольная лестница квантовой проводимости. Также описан олигонуклеотид ДНК и обоснован его выбор в качестве квантоворазмерного объекта для изучения влияния на квантовые свойства полупроводниковой наноструктуры. В конце главы сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

Вторая глава посвящена описанию создания и свойств кремниевых наносандвич структур, выбранных в качестве топологической полупроводниковой наноструктуры в рамках данной диссертационной работы. Также приведены методы получения олигонуклеотидов ДНК и их осаждения на поверхность кремниевых наносандвич структур.

Третья глава содержит результаты исследования электрических и магнитных свойств кремниевых наносандвич структур в условиях до и после осаждения олигонуклеотидов ДНК на их поверхность. Приведена модель на основе электромагнитной индукции Фарадея, позволяющая интерпретировать наблюдаемые особенности ВАХ, как макроскопические квантовые явления, а именно как электрические аналоги квантового эффекта Холла и осцилляций Шубникова – де Гааза. Также описаны полевые зависимости магнитной восприимчивости, которые позволили сделать вывод о влиянии олигонуклеотидов ДНК на изменение эффективной площади захвата квантов магнитного потока носителями в краевом канале кремниевой наносандвич структуры.

Четвертая глава демонстрирует результаты изучения влияния олигонуклеотидов ДНК на квантовую интерференцию в кремниевых наносандвич структурах. Был зафиксирован самосогласованный вклад нескольких областей квантовой интерференции, в частности, на олигонуклеотиде ДНК, в наблюдаемые макроскопические квантовые явления.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы. Среди них стоит выделить те, которые обуславливают концептуальную **научную новизну** и **значимость** работы:

1. Приведена модель на базе концепции электромагнитной индукции Фарадея, позволяющая идентифицировать электрические аналоги квантового эффекта Холла, осцилляций Шубникова – де Гааза и осцилляций де Гааза – ван Альфена;

2. Зарегистрировано влияние олигонуклеотидов ДНК на эффективную поверхность захвата квантов магнитного потока носителями в краевых каналах кремниевой наносандвич структуры;
3. Зафиксирован самосогласованный вклад различных интерференционных контуров в наблюдаемые макроскопические квантовые явления. В частности, впервые идентифицирована квантовая интерференция на олигонуклеотиде ДНК.

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждается применением современных апробированных методик с использованием высокоточной вычислительной техники, а также хорошим согласованием экспериментальных результатов с теоретическими расчетами. Работа прошла достойную **апробацию**, ее результаты опубликованы в рецензируемых журналах и были представлены на всероссийских и международных конференциях, что подтверждает высокий уровень актуальности, научной новизны и достоверности положений, выносимых на защиту. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертации. Тематика диссертации соответствует специальности 1.3.8. – «Физика конденсированного состояния».

Замечания по работе:

1. Не обсуждается взаимосвязанность величины амплитуды осцилляций проводимости с ее возможным значением в рамках электростатической перезарядки «пиксел», а также в зависимости от режима размерного квантования;
2. Зависимости восприимчивости от величины магнитного поля показывают изменения режимов квантования Ландау при осаждении олигонуклеотидов в краевые каналы, однако при этом не обсуждается вопрос о возможном усилении диамагнетизма;
3. Квантовая лестница сопротивления в зависимости от величины электрического поля при исследовании электрического аналога квантового эффекта Холла показывает изменения длины «ступеньки» с увеличением ее номера. Однако механизм этого изменения в работе не обсуждается.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Диссертационную работу Фомина М.А. можно считать цельной завершенной научно-исследовательской работой.

Заключение

Диссертационная работа Фомина М.А. на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Макроскопические квантовые явления в кремниевых наносандвич-структурах, содержащих олигонуклеотиды ДНК» 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,
доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры физики твердого тела и микроэлектроники
Политехнического института
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»

Захаров Максим Анатольевич

21.11.25
Проректор по научной работе и инновациям
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Новгородский государственный университет
имени Ярослава Мудрого»

Харламов Константин Николаевич

Контактные данные:
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого
173003, г. Великий Новгород, ул. Б.С.-Петербургская, д. 41
Телефон: раб.: 8 (8162) 97-42-70; моб.: 8 (911) 623-01-68
Адрес электронной почты: Maxim.Zakharov@novsu.ru