

УТВЕРЖДАЮ

Ректор ФГБОУ ВО

«Рязанский государственный
университет имени С.А. Есенина»

Д.А. Боков

« 30 » 10 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина» на диссертационную работу Подгорной Иоланты Александровны «Проводимость низкоразмерных полупроводниковых углеродных структур с примесями в сильных электрических полях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Актуальность работы обусловлена интенсивным развитием полупроводниковых технологий и необходимостью изучения новых физических явлений в углеродных низкоразмерных структурах, таких как графен, углеродные нанотрубки и графеновые сверхрешётки. Проводимость низкоразмерных полупроводниковых углеродных структур является одной из ключевых тем современной наноэлектроники. Электрические свойства полупроводниковых низкоразмерных структур в значительной степени определяются наличием в них примесей. В связи с этим, тема и результаты диссертационной работы Подгорной И.А. являются актуальными.

Структура и краткий анализ содержания работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы, включающего 145 наименований. Полученные результаты логично и последовательно изложены, хорошо проиллюстрированы. Автореферат

содержит краткое описание и основные выводы диссертации, в полной мере отражает ее материалы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, научные положения, выносимые на защиту, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведен анализ основных современных тенденций в области исследования полупроводниковых структур на основе графена, рассмотрен квазиклассический подход к исследованию проводимости таких структур.

Во второй главе представлены результаты исследования проводимости примесных углеродных нанотрубок (УНТ) полупроводникового типа от параметров приложенных постоянного и переменного электрических полей, полученные с использованием метода мнимого времени. Предложен аналитический метод определения параметров примесных УНТ полупроводникового типа на основе сравнения экспериментальных и теоретических зависимостей силы тока от характеристик внешних постоянного и переменного электрических полей.

Третья глава содержит результаты исследования особенностей управления проводимостью двумерной графеновой сверхрешетки (2D ГСР) поперечными электрическими полями. Численно определен диапазон возможных значений плотности тока при фиксированной частоте и при изменении остальных параметров полей, проведено исследование зависимости постоянной составляющей плотности тока в 2D ГСР от напряженности поперечного постоянного электрического поля с учетом ионизации примесей. Установлена зависимость направления вектора плотности тока от направления вектора напряженности постоянного электрического поля, когда 2D ГСР находится под совместным действием постоянного и переменного электрических полей.

В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные в ходе выполнения диссертационного исследования.

К наиболее значимым результатам можно отнести следующие:

1. Выполнено численное исследование вероятности ионизации примесей в зависимости от параметров приложенных полей. Показано что, при увеличении радиуса УНТ мнимая часть действия уменьшается, при этом вероятность ионизации возрастает.

2. Численно проанализировано аналитическое выражение для постоянной составляющей тока в УНТ полупроводникового типа в условиях воздействия постоянного и переменного электрических полей, поляризованных вдоль оси УНТ с учетом ионизации примесных центров. Показано, что начало роста тока и длительность процесса установления насыщения ионизации определяются глубиной залегания примеси и ее концентрацией.

3. Показана принципиальная возможность определения параметров многослойных примесных УНТ полупроводникового типа: количество слоев, их радиусы, глубина залегания примесей и их концентрация на основе сравнения экспериментальных и теоретических зависимостей силы тока от характеристик внешних статического и переменного электрических полей.

4. Определены соотношения между параметрами приложенных полей, при которых наблюдается существенное различие между возможными значениями плотности тока в 2D ГСР и управление проводимостью наиболее эффективно.

5. Показано, что вектор напряженности постоянного электрического поля и вектор плотности тока в квадратной 2D ГСР совпадают при ориентации поля вдоль осей сверхрешетки или вдоль биссекторного направления, а также в сильных полях еще в двух направлениях, симметричных относительно биссекторного.

Новизна исследования и полученных результатов состоит в том, что в ходе проделанной работы впервые были получены и численно

проанализированы аналитические выражения для вероятности ионизации и постоянной составляющей плотности тока в УНТ полупроводникового типа и в 2D ГСР с учетом ионизации примесных центров в квазиклассическом приближении. Также получено аналитическое выражение для угла отклонения постоянной составляющей вектора плотности тока от направления вектора напряженности постоянного электрического поля в двумерной графеновой сверхрешетке в условиях воздействия постоянного и переменного электрических полей.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования состоит в том, что полученные выводы вносят вклад в современную теорию проводимости углеродных нанотрубок и сверхрешеток на основе графена. Основные положения исследования могут служить основой для дальнейших разработок в данной области. Выявленные зависимости могут быть использованы как в устройствах детектирования электромагнитного излучения, так и для уточнения глубины залегания примесных центров в структурах на основе графена, а также для управления проводимостью в таких структурах.

Обоснованность и достоверность результатов исследования обеспечивается применением известных аналитических методов исследования; использованием общеизвестного математического аппарата физики полупроводников; отсутствием противоречий между полученными результатами и основными представлениям физики; использованием независимых методов исследования; соответствием полученных результатов исследования результатам работ других авторов, опубликованным в независимых источниках.

Результаты диссертационной работы достаточно полно отражены в опубликованных работах. Всего по теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 5 статей в научных журналах из списка ВАК, из них 3 статьи – в изданиях, входящих в Scopus / RSCI, 2 статьи – в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых

должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по специальности 1.3.5 – Физическая электроника.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. Основные результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы к использованию в организациях, проводящих исследования в области физики полупроводников и ведущих разработку перспективных полупроводниковых приборов.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Автореферат содержит краткое описание и основные выводы диссертации, в полной мере отражает ее материалы.

Диссертационная работа содержит следующие недостатки.

1. В диссертации не учтены конечные размеры рассматриваемых объектов, что делает затруднительным сравнение полученных теоретически результатов с экспериментальными данными.

2. Было бы желательно привести более детальное обоснование выбора квазиклассического метода.

3. В диссертации не проводилось исследование влияния температуры на проводимость рассматриваемых структур.

4. В диссертации не приведены численные оценки для постоянной составляющей плотности тока.

Отмеченные недостатки не имеют принципиального характера и не снижают в целом высокой научной и практической значимости рассматриваемой диссертационной работы.

Заключение. Диссертация Подгорной Иоланты Александровны является законченной научно-квалификационной работой, по своей актуальности, новизне, теоретической и практической значимости соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук,

а ее автор Подгорная Иоланта Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Материалы диссертации заслушаны и обсуждены на заседании кафедры общей и теоретической физики и методики преподавания физики 28.10.2025 г., протокол № 3. Присутствовало 8 из 11 членов кафедры. Отзыв принят единогласно.

Отзыв составил
профессор кафедры общей
и теоретической физики
и методики преподавания физики
РГУ имени С.А. Есенина,
доктор технических наук
по специальности 1.3.11 –
Физика полупроводников

Трег

Трегулов Вадим
Викторович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный университет имени
С.А. Есенина»

Почтовый адрес: 390000, Рязанская область, г. Рязань, ул. Свободы, д. 46

Телефон: +7 (4912) 28-03-89

Электронная почта: rsu@rsu-rzn.ru

Официальный сайт: <https://rsu-rzn.ru/>

ПОДПИСЬ РАБОТНИКА
Начальник отдела кадров



« 06 » ЛИСТОВ	Вх. № 0.15-65-142 « 11 » 11 2025 ВолгГТУ
------------------	--

С отзывом ознакомлен

Трег

11.11.2025