

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Глуховой Ольги Евгеньевны

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 темы исследования

Углеродные полупроводниковые структуры на основе графена — это одна из самых перспективных областей исследований в современной науке и технологиях. Проводимость низкоразмерных полупроводниковых углеродных структур, таких как графен, углеродные нанотрубки и сверхрешетки на основе графена, является одной из ключевых тем современной наноэлектроники. Электрические свойства полупроводниковых низкоразмерных структур в значительной степени определяются наличием в них примесей, поэтому исследование кинетических явлений, происходящих в полупроводниковых структурах на основе графена с примесными центрами в условиях воздействия внешних электрических полей различных конфигураций, является актуальным. Данная работа посвящена теоретическим исследованиям электрических свойств в рамках квазиклассического приближения.

Научная новизна полученных результатов

Научная новизна работы заключается в получении автором данной диссертации ряда аналитических выражений; 1) для оценки вероятности ионизации примесей в углеродных нанотрубках полупроводникового типа, находящихся в постоянном электрическом поле, а также для вероятности ионизации примесей в предельных случаях при воздействии переменного электрического поля; 2) для постоянной составляющей плотности тока в углеродных нанотрубках полупроводникового типа при воздействия

постоянного и переменного электрических полей, поляризованных вдоль оси углеродной нанотрубки, с учетом ионизации примесных центров; 3) для постоянной составляющей плотности тока в двумерной графеновой сверхрешетке при воздействии постоянного и переменного электрических полей с учетом ионизации примесных центров; 4) 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.

Установленные закономерности содержат новые важные сведения об электронных свойствах углеродных нанотрубных полупроводниковых материалов в условиях воздействия внешних электрических полей, которые являются ценными для развития теории твердого тела и физической электроники.

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.

Достоверность и степень обоснованности научных результатов и выводов обеспечивалась выбором адекватных физических моделей, а также использованием в работе современных, хорошо апробированных методов компьютерного моделирования и теоретической физики; строгим соблюдением пределов применимости используемых подходов, моделей и приближений; непротиворечивостью выводов исследования основным

физическим закономерностям, а также предельным переходом обобщающих результатов к ранее известным результатам.

Общая характеристика и содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем составляет 114 страницы, включая 40 рисунков и графиков. Список литературы содержит 145 наименования цитируемых работ отечественных и зарубежных авторов.

Во **введении** обоснована актуальность исследования; указаны цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационного исследования; сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** приведен краткий литературный обзор, посвященный различным полупроводниковым структурам на основе графена. Рассмотрен квазиклассический подход к теоретическому изучению проводимости полупроводниковых графеновых структур, содержащих примеси, с использованием метода мнимого времени.

Во **второй главе** представлены результаты исследования проводимости примесных углеродных нанотрубок (УНТ) полупроводникового типа от параметров приложенных электрических полей. Предложен аналитический метод определения параметров 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.

В **третьей главе** приводятся результаты исследования проводимости двумерной графеновой сверхрешетки (2D ГСР) на подложке, состоящей из чередующихся областей бесщелевого и щелевого графена с учетом ионизации примесных центров. Проанализированы особенности управления проводимостью в 2D ГСР поперечными электрическими полями.

В **заключении** систематизированы основные научные результаты и сформулированы общие выводы работы.

Автореферат адекватно отражает содержание диссертации, достаточно полно представляя ее ключевые положения и достижения. По материалам диссертации опубликованы 13 работ, в том числе 5 статей в научных журналах из списка ВАК РФ.

При этом имеется ряд вопросов и замечаний по содержанию и оформлению диссертационной работы, а именно:

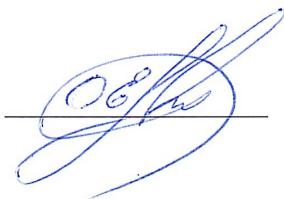
1. Используется π -приближение для расчета энергии и зонной структуры, на основании которых уже далее рассматривается проводимость и другие характеристики. Насколько корректно π -приближение применительно к решению задач, поставленных в диссертации? Таким образом, какова погрешность применяемого теоретического подхода? Были ли проведены сравнительные расчеты проводимости *ab initio* методами?
2. При исследовании МУНТ не учитывается межстенное взаимодействие. Насколько заметно повлияет энергия межстенного взаимодействия на полученные результаты?
3. Рассмотрен только один вид трубки (14,0)@(23,0)@(32,0). Насколько корректными являются выводы, сделанные на основе одной трехстенной трубки?
4. В диссертации исследованы только нехиральные полупроводниковые УНТ. Справедливы ли полученные закономерности для полупроводниковых хиральных трубок?

Заключение

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. Диссертационная работа Подгорной И.А. является завершенной научно-квалификационной работой и удовлетворяет требованиям, изложенным в пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.13 № 842. На

основании представленных результатов автор, Подгорная И.А., заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук специальности 1.3.5. – Физическая электроника.

Официальный оппонент



Глухова Ольга Евгеньевна

25.11.2025 г.

доктор физико-математических наук (05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах» и 01.04.04 – «Физическая электроника»), профессор, заведующий кафедрой радиотехники и электродинамики Института физики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Адрес: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

Телефон: +7(8452)514562

Электронная почта: oeglukhova@yandex.ru

Сотзвон ознакомлен

Нар

01.12.2025



« 05 »	Вх. № 0.17-65-183
ЛИСТОВ	« 01 » 12 2025 г.
	БолгГТУ