

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление 12.03.02 Оптехника
 Отделение материаловедения

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ/РАБОТА

Тема работы
Режимы лазерного восстановления оксида графена

УДК 661.666.2:621.373.826

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B51	Фаткуллин Максим Ильгизович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШХБМТ	Рауль Давид Родригес Контрерас	PhD		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко Валентин Сергеевич			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ	Степанов Сергей Александрович	к.ф.-м.н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие естественнонаучные, математические, гуманитарные, общепрофессиональные знания в области оптотехники
P2	Воспринимать, обрабатывать, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области световой, оптической и лазерной техники, оптического и светотехнического материаловедения и оптических и светотехнических технологий
P3	Применять полученные знания для решения задач, возникающих при эксплуатации новой техники и технологий оптотехники
P4	Владеть методами и компьютерными системами проектирования и исследования световой, оптической и лазерной техники, оптических и светотехнических материалов и технологий
P5	Владеть методами проведения фотометрических и оптических измерений и исследований, включая применение готовых методик, технических средств и обработку полученных результатов
P6	Владеть общими правилами и методами наладки, настройки и эксплуатации оптической, световой и лазерной техники для решения различных задач
<i>Универсальные компетенции</i>	
P7	Проявлять творческий подход при решении конкретных научных, технологических и опытно-конструкторских задач в области оптотехники
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной деятельности
P9	Уметь эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды по междисциплинарной тематике, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации
P10	Следовать кодексу профессиональной этики, ответственности и нормам научной, педагогической и производственной деятельности
P11	Понимать необходимость и уметь самостоятельно учиться и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности

Министерство образования и науки Российской Федерации
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»
 Отделение материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП «
 Оптотехника» ОМ ИШНПТ
 _____ Степанов
 С.А. _____
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Фаткуллину Максиму Ильгизовичу

Тема работы:

Режимы лазерного восстановления оксида графена	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Литература по теме ВКР. Объект исследования - оксид графена и оксид графена, восстановленный при различных условиях</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. влияние оптического поглощения лазерного излучения подложкой на восстановление оксида графена 2. тепловая стабильность полученных пленок 3. влияние различных условий восстановления на свойства полученного материала (проводимость, цвет, пористость, и т.д.)

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. зависимости проводимости пленок восстановленного лазером оксида графена от мощности лазерного излучения 2. Спектры пропускания пленок оксида графена различных толщин, а так же используемых подложек
---	---

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Л. А. Скачкова
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	В. С. Николаенко

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

--

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ИШХБМТ	Рауль Давид Родригес Контрерас	PhD		29.10.18

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B51	Максим Ильгизович Фаткуллин		29.10.18

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4В51	Фаткуллину Максиму Ильгизовичу

Школа	ИШНПТ	Отделение	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавр	Направление	12.03.02 Оптотехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Материальные расходы 3216 руб. Зарботная плата 56881 руб. Бюджет НИИ 102376 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф электроэнергии 5,8 руб., норма амортизации 20%
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды составляют 19,2 %, районный коэффициент для г.Томска равен 1,3

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ потенциальных потребителей научного исследования, оценка перспектив дальнейшего развития
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Расчет бюджета НИИ и затрат на его исполнение
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Оценка ресурсосберегающей эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>	
2. <i>График проведения и бюджет НИ</i>	
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Николаенко В.С.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4В51	Фаткуллин Максим Ильгизович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4B51	Фаткуллину Максиму Ильгизовичу

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	12.03.02 Оптотехника

Тема ВКР:

Режимы лазерного восстановления оксида графена	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования – тонкие пленки восстановленного оксида графена Область применения - электроника
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) – ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Отклонение параметров микроклимата – Отсутствие или недостаток естественного света – Недостаточная освещенность – Опасность поражения электрическим током – Повышенное значение электромагнитного излучения
3. Экологическая безопасность:	– анализ влияния объекта исследования и расположенной в лаборатории техники на окружающую среду
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ООД ШБИП	Скачкова Лариса Александровна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4B51	Фаткуллин Максим Ильгизович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 65с., содержит 14 рис., 16 табл., 45 источников.

Ключевые слова: ОКСИД ГРАФЕНА, ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ОКСИД ГРАФЕНА, ЛАЗЕРНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ, СТЕПЕНЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Объектом исследования являются пленки восстановленного лазером оксида графена и подложки, на которые наносились данные пленки.

Цель исследования: изучение влияния параметров лазерного излучения и свойств подложек на степень лазерного восстановления оксида графена

Метод проведения работ: был произведен обзор существующих методов восстановления оксида графена и их сравнение с методом лазерного восстановления, выбрана методика оценки степени восстановления оксида графена путем анализа его электрических свойств, измерены электрические свойства восстановленного оксида графена при различных параметрах лазерного облучения и произведен их анализ. Произведен экономический анализ проведенных работ, а также анализ соблюдения трудового законодательства и техники безопасности.

Полученные результаты: в ходе данной работы была получена зависимость проводимости восстановленного оксида графена от мощности лазерного излучения и получена связь свойств используемых подложек со степенью восстановления оксида графена

Степень внедрения: данное исследования является практически значимым, так как с его помощью возможно управлять получаемыми электрическими свойствами восстановленного оксида графена.

Определения

В данной работе используется следующая терминология

Восстановленный оксид графена – оксид графена с частично удаленными кислородсодержащими группами.

Обозначения и сокращения

GO – оксид графена

rGO – восстановленный оксид графена

ПЭТ – полиэтилентерефталат

PMMA – полиметилметакрилат

CS AFM – атомно-силовой микроскоп в режиме растекания тока

AFM – атомно-силовой микроскоп

Оглавление

Задание выдал консультант:	5
Задание принял к исполнению студент:	5
Введение.....	11
1. Обзор литературы	13
1.1 Методы восстановления оксида графена.....	13
1.2 Применение восстановленного оксида графена	17
2. Объекты и методы исследования	18
2.3 Методы анализа структур	23
2.3.1 Определение коэффициента пропускания.....	23
2.3.2 Измерения электрических свойств.....	23
2.3.2.1 Атомно-силовой микроскоп.....	23
2.3.2.2 Четырехзондовый метод измерения сопротивления	25
3. Результаты проведенного исследования	26
3.1 Измерения электрических свойств образцов, восстановленных в режиме абляции.....	26
3.2 Измерения электрических свойств образцов с восстановлением по всей площади лазерного пятна	28
3.3 Влияние оптических свойств подложки на степень восстановления.	30
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	31
4.1 Потенциальные потребители результатов проекта.....	32
4.2 Планирование научно исследовательских работ	33
4.3 Определение трудоемкости работ	34
4.4 Разработка графика проведения научного исследования	35
4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	39
4.6 Расчет материальных затрат НТИ	40
4.7 Основная заработная плата исполнителей темы	41
4.8 Дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	43
4.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	44
4.10 Накладные расходы	45

4.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	45
5. Социальная ответственность	46
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	47
5.2 Производственная безопасность	49
5.3 Анализ опасных и вредных производственных факторов	50
5.3.1 Отклонение показателей микроклимата	50
5.3.2 Отсутствие или недостаток естественного света и освещенности рабочей поверхности.	51
5.3.3 Опасность поражения электрическим током.....	53
5.3.4 Высокий уровень воздействия электромагнитного излучения	53
5.3.5 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего).....	55
5.4 Экологическая безопасность.....	56
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	57
Заключение	59
Список публикаций.....	60
Список использованной литературы.....	60

Введение

В современном мире произошел настоящий “бум” электронных устройств. Каждый с раннего детства сталкивается с огромным разнообразием устройств, начиная с самых примитивных заканчивая такими сложными как компьютер и смартфон. Благодаря такой распространенности и огромной потребности в упрощении жизни человека электроникой, данная область не стоит на месте и с каждым годом в мире появляется все больше и больше различных типов “девайсов”.

Так, нынешними направлениями развития электроники являются уменьшение размеров электронных компонентов, создание гибких устройств и сдвиг в сторону так называемой “зеленой”, биосовместимой электроники. Для развития данных направлений нужны новые материалы, отвечающие всем необходимым параметрам. Одним из таких материалов является графен, интерес мирового сообщества к которому не спадает с момента его переоткрытия. Но в использовании графена есть ограничивающие факторы, основным из которых является сложность и дороговизна получения больших площадей.

В то же время электроника нуждается в полном наборе электрических свойств материалов: диэлектрики, полупроводники и проводники. Сам графен не может обладать всеми данными свойствами одновременно, в то время как его модификация - оксид графена (GO), при локальном восстановлении сочетает все данные свойства в одной пленке. В отличие от графена, обладающего экстремально высокой проводимостью, оксид графена является диэлектриком, что обусловлено наличием гидроксильных, эпоксидных, карбонильных и других кислородсодержащих функциональных групп на базальной плоскости и по краям, что приводит к изменению гибридизации части атомов углерода с sp^2 на sp^3 . В то же время оксид графена является дешевым и универсальным в отношении других свойств материалом, для использования которого не нужно иметь

специальные навыки или дорогостоящее оборудование. Обусловлено это тем, что оксид графена является диспергируемым в воде, то есть возможно создание стабильных водных дисперсий на его основе. Благодаря этому возможно нанесение тонких пленок GO на произвольные подложки с помощью широкого набора методов, начиная от нанесения с помощью пипетки, заканчивая спин-коатингом и методом Ленгмюра-Блоджетт. Наиболее важным и решающим преимуществом оксида графена является возможность управления его электрическими и химическими свойствами путем управляемого удаления кислородсодержащих групп (восстановления).

Данная работа нацелена на изучение и оптимизацию одного из методов восстановления оксида графена, который, по нашему мнению, является наиболее простым и перспективным.

1. Обзор литературы

1.1 Методы восстановления оксида графена

Существует достаточно большое количество методов восстановления GO, но глобально их можно разделить на термические и химические. Классифицируют методы, соответственно, по способу подачи внешней энергии.

Основным из химических методов восстановления является восстановление с помощью гидразина - взрывчатого и токсичного вещества, что усложняет и ограничивает применение данного метода. Кроме того, введенные поверхностно активные вещества остаются в продуктах реакции, что делает полученный таким способом rGO небезопасным для здоровья человека и соответственно исключает его применение в биосовместимой электронике [1].

Кроме восстановления с помощью гидразина, существуют другие химические методы восстановления, например, восстановление при помощи электрохимической реакции разложения воды: в качестве анода используется наконечник атомно-силового микроскопа, так называемая “игла”, которая имеет размер в несколько нанометров. Катодом выступает токопроводящая подложка, выполненная из золота. С помощью прецизионного механизма перемещения наконечник подводят к образцу на расстояние, при котором возможно приложить разность потенциалов между двумя электродами. В результате электрохимической реакции образуются ионы H^+ , которые и участвуют в процессе восстановления. С помощью данного метода были получены проводящие структуры с минимальным размером 4 нм, что определенно является огромным преимуществом данного метода [2–4]. Но данный метод требует дорогого прецизионного оборудования, является наукоемким и требует больших временных затрат. В целом, методы химического восстановления позволяют восстанавливать только полный объем материала, а не его часть.

Более экологичным, простым, дешевым и безопасным является восстановление термическим путем, то есть нагревом пленки GO [5]. В данном методе восстановление зависит от температуры удаления имеющихся кислородсодержащих групп, скорости нагрева и атмосферы [2]. При помощи данного метода ученые получили структуры rGO, обладающие полупроводниковыми свойствами с различными типами проводимости, что является огромным прорывом для применения в электронике [6]. Термический метод также позволяет восстанавливать только всю поверхность пленки, в то время как для практического применения более ценным является локальное восстановление.

Некоторые методы невозможно однозначно классифицировать как термическое и химическое восстановление, то есть такие методы являются смешанными. Так, например, процесс сольватермического (гидротермического) восстановления является таковым. В данном методе реализуется процесс получения перегретой сверхкритической воды путем нагрева и сопутствующего повышения давления внутри герметичного контейнера [7]. В данном случае вода является экологичным химическим агентом восстановления. Также к не классифицируемым способам можно отнести так называемое многоступенчатое восстановление. Используя комбинации различных методов можно изменять свойства полученных структур, расширять их применение и ряд других преимуществ. Так, например, комбинация восстановления с помощью гидразина с последующим термическим отжигом, значительно снижает температуру необходимую для получения пленки rGO с определенным набором свойств. Для сравнения, предварительно обработанный гидразином GO позволяет получить структуры с большей электрической проводимостью при последующем отжиге с температурой 220°C, чем только при температурном отжиге с температурой 550°C, что делает возможным восстановление на полимерных подложках, а соответственно и создание гибких структур [8].

Кроме того, восстановление с помощью реагентов является достаточно селективным, так как не все функциональные группы вступают в реакцию с реагентом. При помощи комбинирования реагентов возможно добиться равномерного восстановления и повышения электрической проводимости [2,3].

Принципиально другим методом восстановления является восстановление электронным пучком. Восстановление данным методом можно получить на сканирующем электронном микроскопе.

Наконец, наиболее биосовместимым, дешевым и простым в реализации является метод лазерного восстановления. В данном методе удаление кислородсодержащих групп происходит под воздействием лазерного излучения, которое сочетает в себе процессы как фототермического [6,9,10], так и фотохимического восстановления, влияние каждого из которых до сих пор не изучено и является предметом дебатов мирового научного сообщества [10].

В настоящее время экспериментально использовались различные лазеры, отличающиеся по множеству параметров начиная от длины волны излучения и импульса, заканчивая атмосферами в которых проводилось облучение [10 - 12].

Таблица 1 Сравнение параметров лазерного излучения и степени восстановления пленок rGO [10].

Лазер	НР/ ИР ¹	Параметры излучения	Степень восстановления	Проводимость/ сопротивление	Ссылка
Диодный 532 нм	НР	12 мВт	С-С: 55,3%, I _D /I _G :0,97 (GO) С-С: 69,2%, I _D /I _G :0,96 (rGO)	7,4 См/м (GO) 3,6·10 ³ См/м (rGO)	[13]
Волоконный 1064 нм	нс	20 нс 10 кГц 4-28 Дж/см ²	С-С: 54,1%, I _D /I _G :0,97 (GO)	-	[14]

¹ НР – непрерывный режим работы лазера; ИР – импульсный режим работы лазера.

			C-C: 78,6%, I _D /I _G :0,82 (rGO)		
KrF эксимерный 248 нм	нс	25 нс 1 Гц 0,06-0,4 Дж/см ²	C/O: 2,41, I _D /I _G :0,51 (GO) C/O: 40, I _D /I _G :0,29 (rGO)	10 ¹⁰ Ом/кВ (GO) 100-500 Ом/кВ (rGO)	[15]
KrF эксимерный 248 нм	нс	20 нс 1 Гц 0,08 Дж/см ²	C-C: 39%, I _D /I _G :0,79 (GO) C-C: 84%, I _D /I _G :1 (rGO)	-	[16]
Пикосекундный 1064 нм	пс	10 пс 100 кГц 0,1-0,4 Дж/см ²	C/O: 2,4, I _D /I _G :0,82 (GO) C/O: 9,1, I _D /I _G :0,42 (rGO N ₂) C/O: 10,3, I _D /I _G :0,27 (rGO жидкий N ₂)	2·10 ⁻³ См/м (GO) 4 См/м (rGO N ₂) 7,27·10 ² См/м (rGO жидкий N ₂)	[17]
Фемтосекундный 800 нм	фс	100 фс 1 кГц 1,2-4,8 нДж/см ²	C-C: 28% (GO) C-C: 54% (rGO)	-	[18]
Фемтосекундный 790 нм	фс	120 фс 80 МГц 0,5-3,5 мВт	C-C: 44%, I _D /I _G :0,83 (GO) C-C: 61%, I _D /I _G :0,89 (rGO)	2,56·10 ⁴ См/м (rGO)	[9]
Фемтосекундный 800 нм	фс	120 фс 80 МГц	C-C: 45% (GO) C-C: 72%, I _D /I _G :0,89 (rGO)	-	[19]
Фемтосекундный 515 нм	фс	280 фс 500 кГц 35-45 нДж	C/O: 1,26 (GO) C/O: 1,36 (rGO)	10 ⁴ См/м (rGO)	[20]
Инфракрасный 788 нм	-	5 мВт	C/O: 2,6 (GO) C/O: 27,8 (rGO)	6,6·10 ⁻³ См/м (GO) 1,65·10 ³ См/м (rGO)	[21]
CO ₂ лазер 10,6 мкм	-	1,9 Вт	I _D /I _G :0,89 (rGO)	-	[22]
CO ₂ лазер 9300 нм	-	4,8 Вт	C/O: 2 (GO) C/O: 10,1 (rGO)	78 См/м (rGO)	[23]
CO ₂ лазер	-	2,4 Вт	C/O: 2,3 (GO) C/O: 9 (rGO)	4,55·10 ² См/м (rGO)	[24]

Так по таблице 1 один можно видеть, что при изменении параметров лазерного излучения, либо же самого лазера электрические свойства пленок rGO так же изменяются, причем в значительном диапазоне.

При всем этом остается достаточное количество неизученных эффектов, процессов и механизмов.

1.2 Применение восстановленного оксида графена

Как уже было сказано, GO, а точнее rGO является перспективным материалом для использования в электронике. В мире уже достаточно давно ведутся работы и исследования, нацеленные на конкретные практические применения.

Одним из наиболее ярких полученных практических результатов является перестраиваемый светодиод, полностью изготовленный на основе GO. В данной работе ученые обнаружили что при использовании комбинации из GO и rGO с различными степенями восстановления возможно получить структуру с широкой запрещенной зоной. Прибегнув к такой технологии, был изготовлен излучающий слой светодиода (рисунок 1). Электроды также были изготовлены из rGO [25]. Таким образом, можно сказать что GO нашел применение в области оптоэлектроники.

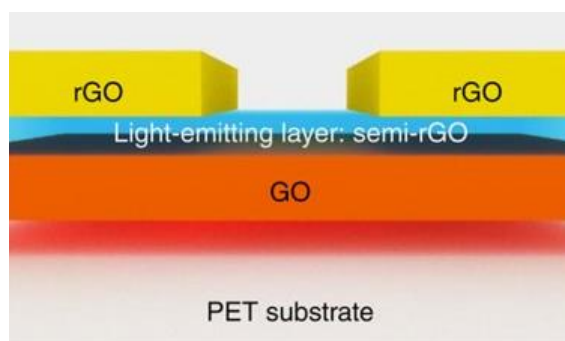


Рисунок 1 – Структура светодиода, выполненного на основе GO; PET – полиэтилентерефталат. [25]

Другим практическим результатом является широкое применение как GO, так и rGO для изготовления суперконденсаторов (рисунок 2). rGO и композиты на его основе применяются в качестве гибких электродов [26,27].

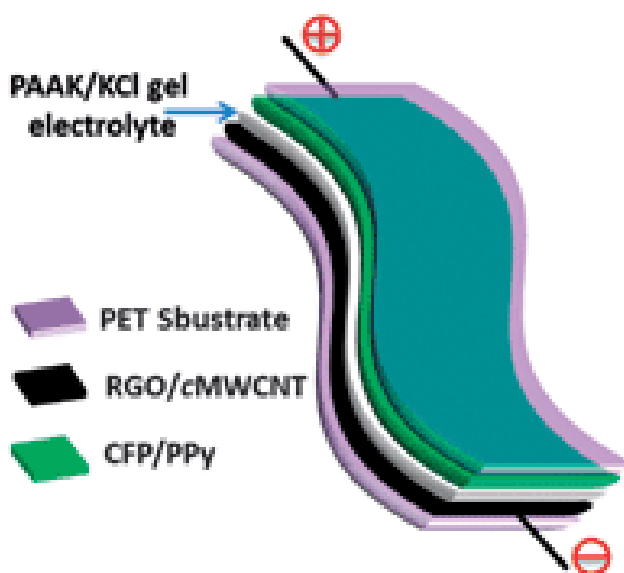


Рис. 2 Пример структуры суперконденсатора с использованием rGO; PAAK – полиакрилат калия; cMWCNT – карбоксилированная многостенная углеродная нанотрубка; CFP/PPy – полипиррол на основе углеродного волокна [28].

2. Объекты и методы исследования

2.1 Объекты исследования

Объектами данного исследования являются пленки rGO, восстановленные с использованием различных лазеров и подложек. Также исследуются свойства используемых подложек для выявления фактора, наиболее сильно влияющего на процесс восстановления оксида графена.

2.2 Лазерное восстановление оксида графена

Восстановление GO производилось на двух лазерах: Минимаркер М20 (рисунок 3а) и NEJE DK-8-KZ (рисунок 3б). Характеристики лазеров приведены в таблице 2.

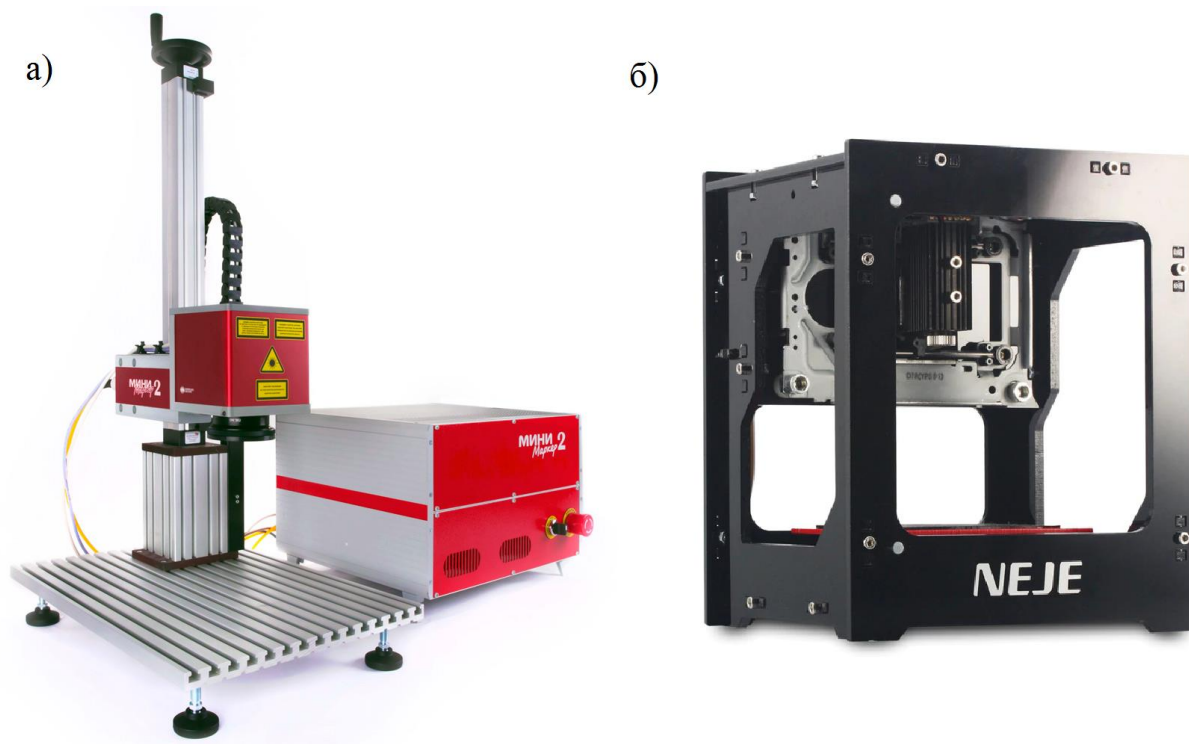


Рисунок 3 – а) лазер Минимаркер М20; б) лазерный гравер NEJE DK-8-KZ

Таблица 2 – Технические характеристики используемых лазеров

Лазер	NEJE DK-8-KZ	Минимаркер М20
Длина волны	405 нм	1064 нм
Номинальная мощность	1 Вт	20 Вт

Лазерная установка Минимаркер М20 позволяет изменять следующие параметры:

- Длительность импульса
- Частоту повторения импульсов

- Мощность
- Скорость пробега лазера
- Объектив

Восстановление GO производилось с предварительно подобранными опытным путем оптимальными (для получения наиболее проводящей структуры) значениями параметров. Данный лазер производит формирование проводящих каналов в пленке оксида графена на периферии лазерного пятна и абляции материала в центре пятна (рисунок 4).

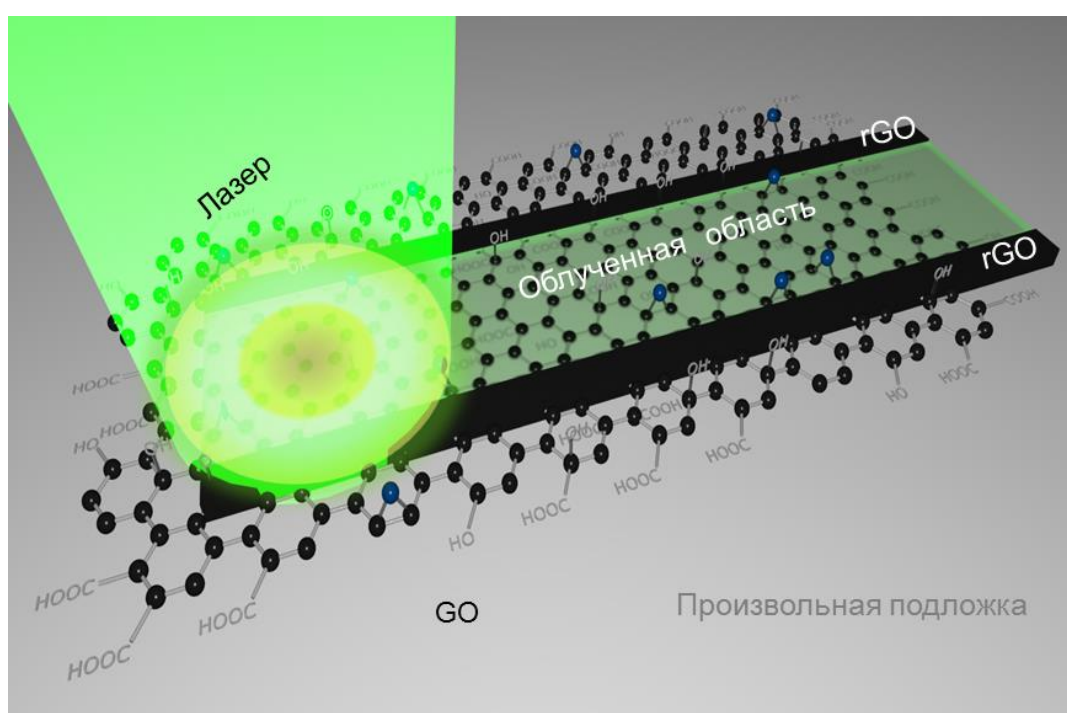


Рисунок 4 – Схема лазерного восстановления в режиме абляции.

Образцы для проведения восстановления на Минимаркере M20 представляют собой пленку GO, осажденную капельным методом из водной дисперсии на датчик уровня воды компании Arduino (печатная плата с пятью парами алюминиевых электродов). Пленка оксида графена наносилась таким образом, чтобы она захватывала пару электродов, для удобства дальнейших измерений (рис. 5).

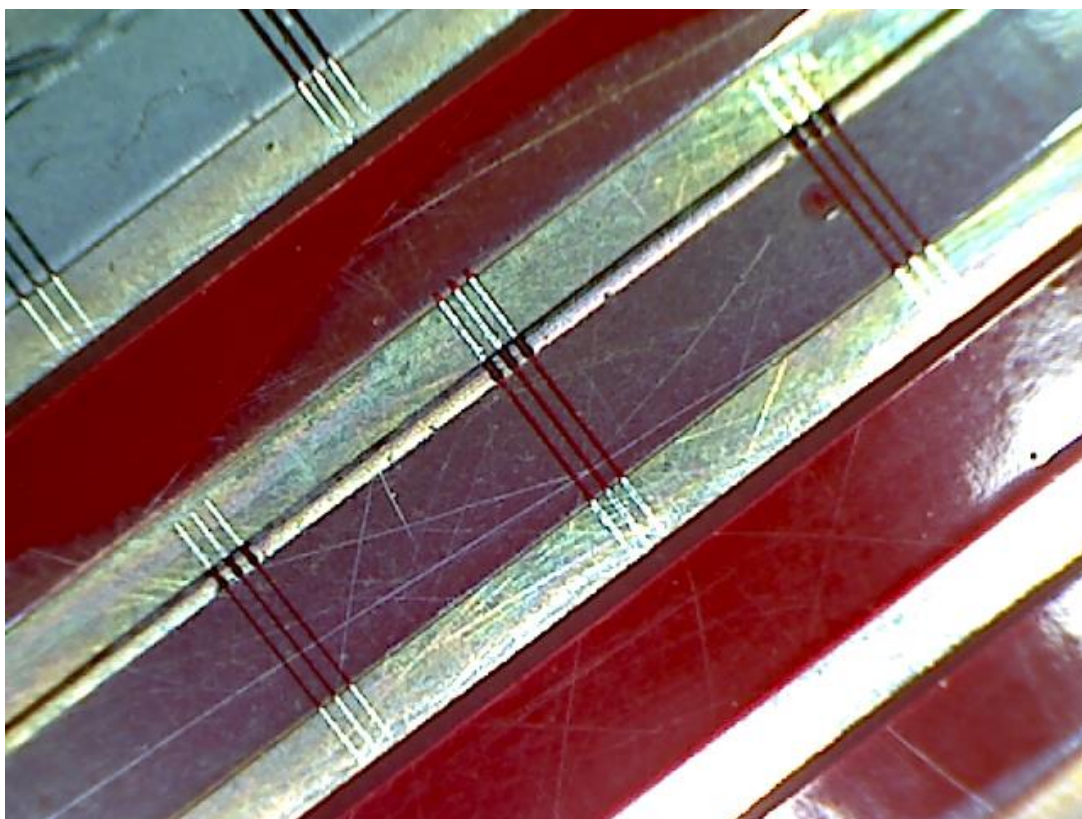


Рисунок 5 – Внешний вид образца после восстановления на лазере Минимаркер M20

Восстановление с помощью лазера NEJE DK-8-KZ принципиально отличается отсутствием зоны абляции, то есть восстановлением по всей площади лазерного пятна. Так как мы не можем быть уверены в том, что восстанавливается вся толщина пленки, использование печатных плат Arduino становится невозможным (контакт снизу не является надежным). Так, для подготовки образцов для восстановления на данном лазере использовались различные подложки, изначально это были ПЭТ и предметное стекло. В процессе оптимизации параметров была замечена существенная разница в степени восстановления на ПЭТ подложке и стекле. Данный эффект было решено изучить, а именно изучить влияние различного оптического поглощения подложки на длине волны лазера на степень восстановления оксида графена. Для этого были исследованы пленки восстановленного оксида графена на белом и прозрачном оргстекле.

Так как подложками были гидрофобные полимерные структуры, нанесение на них суспензии оксида графена представляло большую сложность. Решением данной проблемы является предварительная обработка подложек плазмой, что приводит к изменению смачиваемости их поверхностей, то есть они становятся гидрофильными.

Лазерный гравёр имеет одну существенную проблему – шаг перемещения лазерной головки превосходит диаметр лазерного пятна в фокальной плоскости, что делает невозможным гравировки сплошной линии, а соответственно и создание проводящего канала. Данная проблема была решена следующим способом: пленка помещалась на 4 мм выше фокальной плоскости, что позволяло увеличить размер лазерного пятна и нивелировать проблемы лазерной подвижки для гравировки сплошной линии. Кроме того, данная установка позволяет регулировать лишь длительность импульса, поэтому для регулировки мощности использовались светофильтры. В данной работе восстановление будет производиться с использованием фильтра ЖС-4 ($T=45,5\%$). Пример получаемых после облучения структур представлен на рисунке 6.

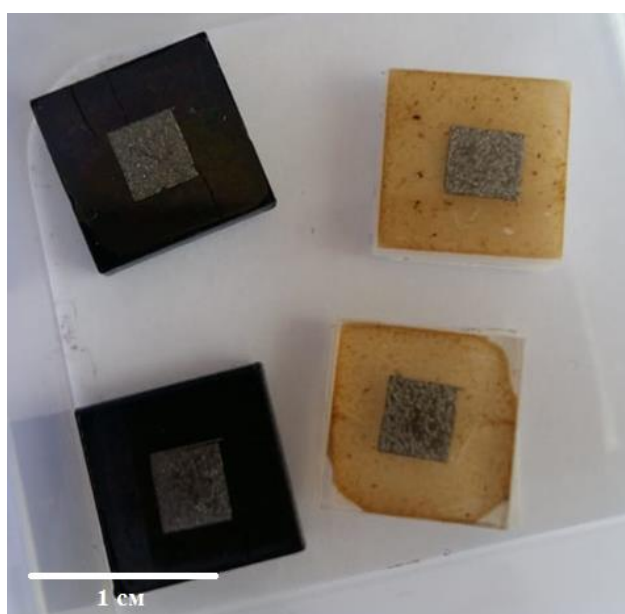


Рисунок 6 – Образцы восстановленного на лазере NEJE DK-8-KZ оксида графена

2.3 Методы анализа структур

2.3.1 Определение коэффициента пропускания

Снятие спектров пропускания производилось на спектрофотометре СФ-256 УВИ (рисунок 7). Данный прибор предназначен для измерения спектров пропускания в диапазоне от ультрафиолетовой до ближней инфракрасной области (190-1100 нм). Источниками излучения являются дейтериевая и галогенная лампы с автоматическим переключением. В качестве детектора используется кремниевый фотодиод. Прибор является двухканальным и работает по принципу сравнения интенсивности двух монохроматических пучков: эталонного и прошедшего через образец.



Рисунок 7 – Внешний вид спектрофотометра СФ-256 УВИ

2.3.2 Измерения электрических свойств

2.3.2.1 Атомно-силовой микроскоп

Анализ структур, полученных в режиме лазерной абляции структур производился с помощью АФМ (рисунок 8). Данный метод позволяет детально изучить поверхность структуры, а также измерить электрические свойства и соотнести распределение тока с поверхностью образца. Принцип работы АФМ: наноразмерный зонд, прикрепленный к кантилеверу касается

к поверхности, что вызывает изгиб кантилевера и изменение траектории лазерного луча, направленного на данный наконечник. Отклонение лазерного луча, отраженного от кантилевера, считывается фотодетектором, за счет чего и строится топография поверхности. Взаимодействия исследуемого образца и зонда характеризуется параметром, и если данный параметр по какому-либо закону зависит от расстояния между зондом и поверхностью образца, то значение данного параметра задается оператором установки и поддерживается системой обратной связи.



Рисунок 8 – Научно технический комплекс НТК

1 – базовый блок, 2 – измерительная головка, 3 – система видеонаблюдения, 4 – контроллер, 5 – система акустической изоляции. [29]

Измерения электрических свойств с помощью AFM производится с помощью метода отображения сопротивления растеканию (режим растекания тока). В данном режиме используется зонд с токопроводящим покрытием, при контакте которого с поверхностью образца, подается напряжение смещения и измеряется ток между образцом и зондом.

Существует два способа измерений в данном методе: одно- и двухпроходный. В однопроходном методе так называемая карта токов снимается одновременно с топографией поверхности. В двухпроходном методе в первом проходе снимается топография поверхности образца, после чего лазер отключается и по той же траектории сканирования, что и при первом проходе, производится запись карты токов. Такой режим имеет преимущество – отсутствие фотоэффекта, а соответственно и паразитных токов [29].

2.3.2.2 Четырехзондовый метод измерения сопротивления

В ходе работы на структурах с полным поверхностным восстановлением была выявлена невозможность использования двухзондового метода измерения и измерения с помощью АФМ в режиме растекания тока. Данная проблема была решена использованием метода четырехзондового измерения (рисунок 9) так называемого поверхностного сопротивления. Суть данного метода заключается в исключении влияния контактного сопротивления на результаты измерения за счет использования четырех зондов с минимальными размерами контактной области, подводимых к поверхности образца на равном расстоянии друг от друга, причем данное расстояние должно быть много больше толщины пленки, для получения корректных результатов. В случае линейного расположения зондов на два центральных электрода подается разность потенциалов, в то время как с двух крайних снимается значение протекающего тока. После чего поверхностное сопротивление вычисляется по формуле (1) [30].

$$R_{\square} = \left(\frac{\pi}{\ln 2}\right) \frac{U}{I} \approx 4,53 \frac{U}{I} \quad (1)$$

где R_{\square} - поверхностное сопротивление (Ом/кв или Ом/ \square), I – ток, снимаемый с внешних зондов, U – прикладываемая разность потенциалов.

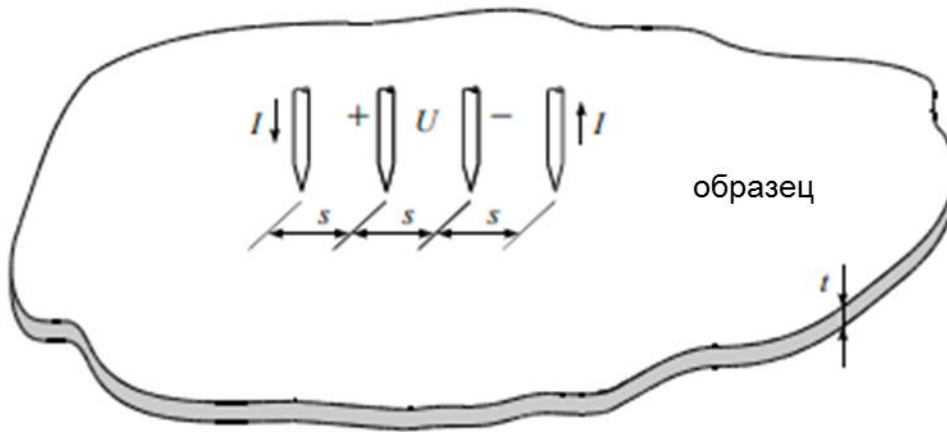


Рисунок 9 – Схема четырехзондового метода измерений [30].

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Вектор развития рынка электроники в последние несколько лет направлен на уменьшение электронных компонентов, создание гибки устройств и уменьшение стоимости готового устройства.

Все данные задачи требуют нового подхода к созданию продукта, а также поиска новых материалов для использования их в качестве проводников или любых других целях. Одним из таких материалов является оксид графена – материал, имеющий огромный функционал. Так, сам оксид графена является диэлектриком и уже используется для создания конденсаторов, но основное его достоинство заключается в возможности варьировать его электрические свойства, путем его восстановления. Наиболее практичным и дешевым является метод лазерного восстановления, но и данный метод имеет недостаток – зависимость степени восстановления от большого количества факторов, например: параметров лазерного излучения, атмосферы в которой производилось восстановление и как выяснилось от используемой подложки.

Данная работа представляет собой исследование влияния свойств подложки на процесс лазерного восстановления оксида графена. Получение корреляции между степенью восстановления и свойствами подложки несет в себе огромный потенциал для коммерческого использования, так как это позволит прогнозировать получаемые электрические свойства (степень восстановления) на стадии подготовки эксперимента или же на стадии конструирования готового устройства.

Цель данного раздела является экономическое обоснование научно исследовательской работы по изучению влияния свойств подложки на процесс лазерного восстановления оксида графена и применения полученных результатов в массовом производстве.

Данная цель будет пошагово достигнута путем решения следующих задач:

- составление календарного плана;
- оценка стоимости материально-технических, человеческих и финансовых ресурсов для исполнения проекта;
- составление сметы;

4.1 Потенциальные потребители результатов проекта

Как уже было сказано, основными потенциальными потребителями результатов данной работы являются производители электроники.

Кроме рынка электроники данное исследование может заинтересовать химический рынок и медицину. Так как восстановленный оксид графена нашел свое применение в создании различных сенсоров. В области химии это могут быть сенсоры различных молекул, в медицине с помощью сенсоров на основе оксида графена могут детектироваться различные заболевания, например, раковые клетки. Кроме детектирования клеток и молекул на основе восстановленного оксида графена могут изготавливаться так называемые нательные сенсоры или же электронные татуировки, при помощи которых будет производиться считывание показателей организма.

Также из восстановленного оксида графена могут изготавливаться различного рода датчики: датчик изгиба, температуры и дыхания.

4.2 Планирование научно исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;

- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для начала определяется команда, выполняющая работу. Членами данной команды являются профессор ИШХБМТ ТПУ (руководитель) и студент группы 4В51. На каждый вид выполняемых работ устанавливается исполнитель.

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Исполнитель
Разработка задания ВКР	1	Определение направления исследования	Руководитель
	2	Составление задания	Студент
	3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель/ студент
Выбор направления исследований	4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель,/студент
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических обоснований	Студент
	7	Выбор материалов для подложек	Студент
	8	Подготовка подложек	Студент
	9	Изготовление образцов и их восстановление	Студент
	10	Ознакомление с методами анализа	Студент
	11	Анализ полученных данных	Студент
	12	Сравнение результатов	Студент

		экспериментов с теоретическими исследованиями	
Обобщение и оценка результатов	13	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель/ студент
Оформление отчета по НИР	14	Представление результатов для отчета по НИР	Студент
	15	Анализ результатов отчета, выводы	Студент

4.3 Определение трудоемкости работ

Так как трудовые затраты составляют основную часть стоимости разработки, трудоемкость определяется для каждого из участников исследования экспертным путем в человеко- днях по следующей формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

где $t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения i - ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ - минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{\max i}$ - максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

Работы руководителя и студента выполняются параллельно, тогда продолжительность одной работы будет равна:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}$$

где T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$ - ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ - численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

4.4 Разработка графика проведения научного исследования

Для наглядного представления графика проведения работ используется диаграмма Ганта. Диаграмма Ганта - столбчатая гистограмма для иллюстрации временных промежутков, отведенных на определенные операции в проекте.

Рассчитаем временные отрезки для предоставления их в диаграмме:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях;

T_{pi} - продолжительность одной работы, раб. дн.; $k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле, с учетом количества календарных дней 365, выходных 104 и праздничных 14.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вг}} - T_{\text{пг}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,48$$

где $T_{\text{кг}}$ - кол-во календарных дней в году;

$T_{\text{вг}}$ - кол-во выходных дней в году;

$T_{\text{пг}}$ - кол-во праздничных дней в году.

Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 6 – Временные показатели научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ						Исполнители	Длительность работ в рабочих днях		Длительность работ в календарных днях			
	tmin, чел-дни		tmax, чел-дни		toji, чел-дни			И	НР	И	НР		
	И	НР	И	НР	И	НР		И	НР	И	НР		

Определение направления исследования	-	3	-	5	-	3,8	-	+	-	4	-	6
Составление задания	1	-	20	-	8,6	-	+	-	8	-	12	-
Согласование задания с исполнителем	1	1	2	2	1,4	1,4	+	+	1	1	2	2
Подбор и изучение материалов по теме	1	-	21	-	9	-	+	-	9	-	13	-
Календарное планирование работ по теме	1	2	10	4	4,6	2,8	+	+	5	3	7	4
Проведение теоретических обоснований	1	-	14	-	6,2	-	+	-	6	-	8	-
Выбор материалов для подложек	1	-	5	-	2,6	-	+	-	3	-	4	-
Подготовка подложек	1	-	5	-	2,6	-	+	-	3	-	4	-

Изготовление образцов и их восстановление	2	-	7	-	4	-	+	-	4	-	6	-
Ознакомление с методами анализа	1	-	21	-	9	-	+	-	9	-	7	-
Анализ полученных данных	1	-	14	-	6,2	-	+	-	6	-	9	-
Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	3	-	14	-	7,4	-	+	-	8	-	11	-
Оценка эффективности и полученных результатов	2	2	4	4	3	3	+	+	3	3	4	4
Представление результатов для отчета по НИР	1	-	5	-	2,6	-	+	-	3	-	4	-

Анализ результатов отчета, выводы	1	-	5	-	2,6	-	+	-	3	-	4	-
Итого									70	11	93	16

Таблица 7 – Календарный план-график проведения НИР

№ раб.	Вид работ	Исполнитель	Т.ч. кал. дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	Определение направления исследования	Руководитель	6	■														
2	Составление задания	Студент	12		■	■												
3	Согласование задания с исполнителем	Руководитель/ студент	2/2			■												
4	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	13			■	■	■										
5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель/ студент	4/7				■	■										
6	Проведение теоретических обоснований	Студент	8				■	■										
7	Выбор материалов для подложек	Студент	4					■										
8	Подготовка подложек	Студент	4					■										
9	Изготовление образцов и их восстановление	Студент	6					■	■									
10	Ознакомление с методами анализа	Студент	7						■	■								
11	Анализ полученных данных	Студент	9							■	■							
12	Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент	11								■	■						
13	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель/ Студент	4/4									■	■					
14	Представление результатов для отчета по НИР	Студент	4										■	■				
15	Анализ результатов отчета, выводы	Студент	4											■	■			

4.5 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

В процессе формирования бюджета НИИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НИИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

4.6 Расчет материальных затрат НИИ

В данном параграфе производится расчет расходов на материалы, необходимые для реализации проекта.

Материальные затраты рассчитываются по формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расхi}$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расхi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Стоимость транспортных расходов составляет приблизительно 15-25% от общей стоимости материалов.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
Ручка	шт.	3	20	70
Тетрадь	шт.	4	15	70
ПЭТ	шт.	1	98	113
Оргстекло	м ²	0,03	1527	53
Микропипетка механическая одноканальная	шт.	1	2500	2875
Стеклоподложка	шт	1	30	35
Итого:				3216

4.7 Основная заработная плата исполнителей темы

В эту статью включаются расходы, отведенные на заработную плату людей, вовлеченных в выполнение НТИ. Величина зарплаты определяется трудоемкостью выполненной работы, системы окладов и тарифных ставок.

Работники, вовлеченные в НТИ, получают заработную плату общей суммой в размере основной и дополнительной (12-20% от основной), вычисленную по следующей формуле:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}$$

Зарплата руководителя предприятия равна произведению среднедневной заработной платы работника и продолжительности работ научно-технического работника:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} * T_p$$

Среднедневная зарплата рассчитывается следующим образом:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m * M}{F_d},$$

Где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. Дн.

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	-104	-104
- праздничные дни	-14	-14
Потери рабочего времени	50	93
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	197	154

Месячный должностной оклад:

$$Z_m = Z_{тс} * (1 + k_{пр} + k_d) * k_p,$$

Где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15- 20 % от $Z_{тс}$);

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 10 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Разряд	k	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	Тр, раб . дн	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	PhD	-	3143 4	0,3	0, 5	1, 3	6601 1	335 1	11	3686 1
Инженер	-	1	1970	0,3	0, 5	1, 3	4137	268	70	2002 0
Итого $Z_{осн}$										5688 1

4.8 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Дополнительная заработная плата включает доплату за отклонения от нормальных условий труда, а также за обеспечение компенсаций и гарантий согласно ТК РФ по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн}$$

Где $k_{\text{доп}}$ - коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,12-0,15).

Дополнительная заработная плата научного руководителя составляет:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 * 36861 = 5530 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп}} = 0,15 * 20020 = 3003 \text{ руб.}$$

4.9 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном пункте отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством РФ нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Формула для отчислений во внебюджетные фонды:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

Таблица 11 – отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Научный руководитель	36861	5530
Инженер	20020	3003
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,30	
Итого		

Научный руководитель	12718
Инженер	6907

4.10 Накладные расходы

Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей}) * k_{\text{нр}}$$

где: $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 88255 * 0,16 = 14121 \text{ руб.}$$

4.11 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Величина затрат НИР – неотъемлемая часть формирования бюджета проекта, который является отправной точкой при оформлении договора на разработку с заказчиком.

Таблица 12 – расчет бюджета НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля затрат, %
1. Материальные затраты ВКР	3216	3,1
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	56881	55,6
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	8533	8,3
4. Отчисления во внебюджетные фонды	19625	19,2

5. Накладные расходы	14121	13,8
6. Бюджет затрат НИИ	102376	100

Вывод

В данном разделе бакалаврской работы был проведен анализ потенциальных потребителей разработки, выполнено планирование исследовательских работ и бюджета НИИ, определена эффективность научно технического исследования.

Планирование исследовательских работ показало, что для выполнения всего исследования необходимо затратить 93 дня. Следовательно, работа может быть выполнена примерно за 3 месяца. Наиболее продолжительным этапом является написание отчета о работе.

Бюджет данного исследования составил 102376 рублей. Основные затраты составляют заработная плата и отчисления во внебюджетные фонды.

Список публикаций

R.D. Rodriguez, G.V. Murastov, A. Lipovka, **M.I. Fatkullin**, O. Nozdrina, S.K. Pavlov, P.S. Postnikov, M.M. Chehimi, J.-J. Chen, E. Sheremet \\ High-power laser-patterning graphene oxide: A new approach to making arbitrarily-shaped self-aligned electrodes \\ Carbon \\ 2019. V 151. P 148-155