

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

Школа Новых Производственных Технологий
Направление подготовки 12.03.02 Опототехника
Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы |
|--|
| Оптический анализ восстановленного оксида графена |

УДК 661.666.2'02:535-047.44

Студент

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4В41 | Черепнев Александр Игоревич | | |

Руководитель

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

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент школы инженерного предпринимательства | Калмыкова Екатерина Юрьевна | К. Э.Н. | | |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|--|----------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Профессор отделения контроля и диагностики | Назаренко Ольга Брониславовна | Д. Т.Н. | | |

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------------------------|---------------------------|---------|------|
| "Опототехника" | Полисадова Елена Федоровна | д. ф.-м.н. | | |

Томск – 2018г.

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 оплотехники |
| 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 оплотехники |
| 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 оплотехники |
| 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
Отделение материаловедения
Направление подготовки 12.03.02 «Оптотехника»

УТВЕРЖДАЮ:
И.о. Зав. кафедрой ЛИСТ

(подпись) _____ (дата) Е. Ф. Полисадова
(ФИО)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

| Группа | ФИО |
|--------|------------------------------|
| 4В41 | Александр Игорович Черепневу |

Тема работы:

| |
|---|
| Оптический анализ восстановленного оксида графена |
| утверждена приказом директора (дата, номер) |

| | |
|--|----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 05.06.18 |
|--|----------|

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

| | |
|---|---|
| <p>Исходные данные к работе</p> <p><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>Объект исследования — использование оптических методов для анализа тонких пленок осажденного на подложку оксида графена (GO) и его модифицированной структуры – восстановленного оксида графена (rGO); Предмет исследования – водный раствор оксида графена, синтезированный методом Хаммерса; Условия исследования и экспериментальные методы – измерение спектров пропускания и отражения в области 300...1100 нм с помощью спектрофотометра; измерение спектров комбинационного рассеяния света (КР) с помощью КР спектрометра.</p> |
| <p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования,</i></p> | <p>Аналитический обзор современных достижений в области анализа оптических свойств оксида графена и восстановленного оксида графена, знакомство с существующими методами и оценка их эффективности;</p> |

| | |
|---|---|
| <p><i>проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p> | <p>Постановка цели и задач исследования; Исследование процесса нанесения оксида графена на подложку; Экспериментальное исследование, включающее в себя подготовку образцов, оценку пропускания/отражения слоя оксида графена и сравнение данных, полученных с помощью аналогичного эксперимента для образца восстановленного оксида графена. Анализ образцов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света, обсуждение результатов; Написание разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; Перевод раздела «Экспериментальные результаты» на английский язык; Выводы по работе.</p> |
| <p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p> | <p>Функциональные схемы используемого оборудования: спектрофотометра, профилометра, спин-коатера. Графическое представление результатов экспериментов (спектры отражения/пропускания, спектры КР)</p> |

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

| Раздел | Консультант |
|---|-------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | |
| Социальная ответственность | |
| Раздел ВКР на иностранном языке | |

Названия разделов, которые должны быть выполнены русском и иностранном языках:

| |
|------------------------------|
| Экспериментальные результаты |
|------------------------------|

| | |
|--|----------|
| Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику | 26.09.17 |
|--|----------|

Задание выдал руководитель:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------|---------|----------|
| профессор | Рауль Родригес | PhD | | 26.09.17 |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|----------|
| 4В41 | Черепнев Александр Игоревич | | 26.09.17 |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

| | |
|--------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4В41 | Черепневу Александру Игоревичу |

| | | | |
|---------------------|-------------|---------------------------|------------------|
| Институт | ИШНПТ | Кафедра | Материаловедения |
| Уровень образования | бакалавриат | Направление/специальность | «Оптотехника» |

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

| | |
|---|--|
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> | <p><i>Рабочая зона: учебная лаборатория ТПУ корпус 10, аудитория №036.</i></p> <p><i>Характеристика рабочей зоны: - Размеры: длина – 4,55м, ширина – 5,95м высота 3,8 м;</i></p> <p><i>- Интерьер: белые потолки, светлые однотонные стены, темный пол;</i></p> <p><i>- Освещение создается светодиодными лампами;</i></p> <p><i>- Оснащена системой противопожарной безопасности и огнетушителем.</i></p> |
|---|--|

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|--|
| <p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения</p> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого</p> | <p><i>Вредные факторы рабочей зоны:</i></p> <p><i>- Отклонение показателей микроклимата в помещении;</i></p> <p><i>- Повышенный уровень шума на рабочем месте;</i></p> <p><i>- Недостаточная освещенность рабочей зоны;</i></p> <p><i>- Нервно-психические перегрузки.</i></p> <p><i>Опасный фактор рабочего места инженера-проектировщика:</i></p> <p><i>- Электробезопасность;</i></p> <p><i>- Пожаровзрывобезопасность;</i></p> |
| <p>2. Экологическая безопасность:</p> | <p><i>В время работы над ВКР негативного воздействия на окружающую среду оказано не было.</i></p> |
| <p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> | <p><i>Пожар - наиболее типичная чрезвычайная ситуация для учебного</i></p> |

| | |
|--|--|
| | <i>корпуса. Основные мероприятия, обеспечивающие успешную эвакуацию людей и имущества при пожаре.</i> |
| 4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: | <i>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: - Организация моторного поля; - Оптимальное размещение предметов труда и документации; - Подбор мебели для рабочего места для выполнения работ сидя.</i> |

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

Задание выдал консультант:

| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Проф. каф. ЭБЖ | Назаренко О.Б. | Д.т.н. | | |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 4В41 | Черепнев Александр Игоревич | | |

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

Студенту:

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Группа | ФИО |
| 4В41 | Черепневу Александру Игоревичу |

| | | | |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Инженерная школа | Новых производственных технологий | Отделение | Материаловедения |
| Уровень образования | Бакалавр | Направление/специальность | 12.03.02 «Оптотехника»» |

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

| | |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | Материальные затраты: 2338 руб. Затраты на амортизацию оборудования: 3329 руб. Заработная плата: 58351 руб. Общий бюджет затрат НИИ: 86359 руб. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов | В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»; Минимальный размер оплаты труда в 2018 году составляет 9750 |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования | Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ |

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

| | |
|--|---|
| 1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения | -Технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы -Потенциальные потребители результатов исследования; |
| 2. Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, и организация закупок | - Планирование научно-исследовательского исследования (цели и результат исследования, перечень работ, определение трудоемкости работ, построение графика работ) - Смета затрат на исследование |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности проекта | -Анализ и оценка научно-технического уровня проекта; |

Перечень графического материала:

1. График проведения и смета затрат

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| | | | | |
|------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Должность | ФИО | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
| доцент | Калмыкова Екатерина Юрьевна | Кандидат эконом. наук | | |

Задание принял к исполнению студент:

| | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------|-------------|
| Группа | ФИО | Подпись | Дата |
| 4В41 | Черепнев Александр Игоревич | | |

Содержание

| | |
|--|----|
| Реферат | 10 |
| Определения | 11 |
| Введение | 12 |
| 1.1. Графен, оксид графена, восстановленный оксид графена: применение, оптические и электрические свойства. | 13 |
| 1.2. Методы для определения степени восстановления оксида графена | 19 |
| 1.2.1. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. | 20 |
| 1.2.2 Спектроскопия комбинационного рассеяния | 23 |
| 1.3 Оптическая спектрофотометрия (UV/Vis spectroscopy)..... | 29 |
| Глава 2. Теоретический анализ | 33 |
| 2.1 Объект исследования | 33 |
| 2.1.1 Приготовление оксида графена | 33 |
| 2.1.2 Лазерное восстановление оксида графена | 34 |
| 2.2 Методы исследования и оборудование | 36 |
| 2.2.1 Определение коэффициента пропускания | 36 |
| 2.2.2 Определение отношения C\O | 37 |
| 2.2.3 Ик спектроскопия | 38 |
| 2.2.4 Оптическая профилометрия. | 39 |
| Глава 3. Результаты проведенного исследования. | 41 |
| 3.1 Оптическая спектроскопия | 41 |
| 3.2 Рамановская спектроскопия..... | 48 |
| 3.3 ИК спектроскопия и растровая электронная спектроскопия | 49 |
| 3.4 Оптическая профилометрия..... | 53 |
| Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 56 |
| 4.1. Потенциальные потребители результатов проекта | 57 |
| 4.2. Планирование научно- исследовательских работ | 58 |
| 4.3. Структура и порядок работ научного исследования..... | 58 |
| 4.4. Определение трудоемкости работ..... | 59 |
| 4.5. Смета научно- технического исследования | 61 |
| 4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ | 61 |

| | |
|--|-----------|
| 4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментов | 62 |
| 4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы..... | 63 |
| 4.5.4. Страховые отчисления во внебюджетные фонды | 65 |
| 4.5.5. Накладные расходы | 65 |
| 4.5.6. Смета затрат научно- исследовательского проекта | 65 |
| Глава 5. Социальная ответственность | 67 |
| 5.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов..... | 68 |
| 5.2. Производственная санитария..... | 69 |
| 5.2.1. Уровень шума на рабочем месте | 69 |
| 5.2.2. Показатели микроклимата | 70 |
| 5.2.3. Электромагнитное излучение | 71 |
| 5.2.4. Освещенность в помещении | 72 |
| 5.3. Электрическая безопасность..... | 73 |
| 5.4. Экологическая безопасность..... | 74 |
| 5.5. Пожарная безопасность..... | 75 |
| 5.5.1. Оценка пожарной безопасности помещения | 75 |
| 5.5.2. Мероприятия по устранению и предупреждению пожаров | 76 |
| 5.6. Психофизиологическая безопасность..... | 77 |
| Заключение..... | 78 |
| Список использованной литературы | 80 |

Реферат

Выпускная квалификационная работа 83 с., 32 рис., 15 табл., 46 источников.

Ключевые слова: ВОССТАНОВЛЕННЫЙ ОКСИД ГРАФЕНА, СПЕКТР, UV\VIS СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ, ЛАЗЕРНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ, КОЭФФИЦИЕНТ ПРОПУСКАНИЯ.

Объектом исследования являются восстановленный оксид графена.

Цель исследования исследование возможности применения спектрофотометрии для определения степени восстановления оксида графена

Метод проведения работы: проводился литературный обзор схожих исследований, разрабатывалась методика для оценки степени восстановления оксида графена, проводились измерения образцов с разной степенью восстановления оксида графена с помощью рамановской спектроскопии, оценка полученных спектров; анализ поверхности с помощью оптической профилометрии и растровой электронной микроскопии; проанализировался потенциал работы с точки зрения экономики, проводился анализ соблюдения техники безопасности и мер предосторожности в лаборатории.

Полученные результаты: в ходе научно-технического исследования сделан вывод об потенциальном применении данного метода.

Степень внедрения: данное исследование является перспективным и потенциально может использоваться при изготовлении инновационных гибких электронных устройств.

Определения

В выпускной квалификационной работе используются следующая терминология:

Восстановленный оксид графена – это оксид графена, в котором присутствует минимальное количество кислородосодержащих групп.

Оптическая спектроскопия – спектроскопия в оптическом (видимом) диапазоне длин волн с примыкающими к нему ультрафиолетовым и инфракрасным диапазонами (от нескольких сотен нанометров до единиц микрон).

Обозначения и сокращения

GO – graphene oxide или оксид графена;

XPS – X-ray photoelectronic spectroscopy или рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия;

PET – Полиэтилентерефталат;

UV-vis – оптическая спектрофотометрия;

АСМ – атомно-силовая микроскопия;

SEM – scanning electron microscope или растровая электронная микроскопия;

rGO – reduced graphene oxide или восстановленный оксид графена.

Введение

Исследование двумерных материалов – актуальная задача современной науки. Одним из наиболее изученных и применяемых в создании устройств материалом является графен, однако в последние несколько лет интерес ученых сдвигается на его производные, в частности, оксид графена (GO). Изучение оптических свойств материала необходимо для эффективного использования материала и решения фундаментальных задач.

При модификации оксида графена путем удаления кислородсодержащих групп возможно получение нового материала – восстановленного оксида графена (rGO). Степень восстановления оксида графена (отношение C/O) влияет на электрические свойства материала, в частности, электропроводность. В данной работе восстановление происходило за счет воздействия лазерного излучения.

При анализе степени восстановления традиционно используются такие методы как рентгеновская фотоэлектронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света (рамановская спектроскопия), рентгеноструктурный анализ. Оптическая спектрофотометрия является альтернативным, более простым методом для проведения такого анализа.

Цель настоящей работы - исследование возможности применения спектрофотометрии для определения степени восстановления оксида графена.

Задачи, которые необходимо выполнить для достижения цели:

1. Литературный обзор источников по исследуемой теме.
2. Ознакомление с принципом работы использованного оборудования.
3. Анализ существующих схожих исследований.
4. Определить зависимость коэффициента пропускания от параметров лазерного восстановления оксида графена.
5. Анализ образцов с помощью рамановской спектроскопии, оптической профилометрии и растровой электронной микроскопии.

1.1. Графен, оксид графена, восстановленный оксид графена: применение, оптические и электрические свойства.

1.1.1. Графен: электрические, механические и оптические свойства.

Графен - это аллотропная модификация углерода, толщиной в один атом, имеющая гексагональную кристаллическую решетку (рис.1). Структурная гибкость графена отражается в свойствах его кристаллической решетки. sp^2 -гибридизация между одной s-орбиталью и двумя p-орбиталями приводит к тригональной плоской структуре с образованием связи между атомами углерода, длина связи порядка 1,42 Å. σ -связь отвечает за устойчивость кристаллической решетки во всех аллотропных структурах. Благодаря принципу Паули эти связи имеют заполненную оболочку и, следовательно, образуют глубокую валентную зону. Незатронутая p-орбиталь, которая перпендикулярна плоской структуре, может связываться ковалентно с соседними атомами углерода, что приводит к образованию π -полосы. Атомы в π -связи удерживаются друг с другом силами Ван-дер-Ваальса. Поскольку каждая p-орбиталь имеет один дополнительный электрон, π -связь заполнена наполовину. Наличием заполненной π -связи обуславливается хрупкость графита[1].



Рис.1 Графеновые слои в графите

Объединенные исследования за последние 50 лет доказали, что в точке Дирака в графене электроны и дырки имеют нулевую эффективную массу. Это

происходит потому, что отношение кинетическая энергия-импульс (дисперсия) линейно для низких энергий вблизи 6 отдельных углов зоны Бриллюэна. Шесть углов зоны Бриллюэна называются точками Дирака. Электроны и дырки в точке Дирака известны как фермионы Дирака, или Графинос. Из-за нулевой плотности состояний в точках Дирака электронная проводимость на самом деле довольно низкая. Однако уровень Ферми может быть изменен путем легирования (электронами или дырками) для создания материала, который потенциально лучше проводит электричество, чем, например, медь при комнатной температуре.

Измерения показали, что подвижность электронов в графене очень велика, с ранее сообщаемыми результатами выше $15\,000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ и теоретически достижимыми пределами $200\,000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$ (ограниченное рассеянием графена), для сравнения электронная подвижность германия $3900 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$. Говорят, что графеновые электроны очень похожи на фотоны в их подвижности из-за отсутствия массы. Эти носители заряда способны перемещаться на субмикрометровые расстояния без рассеяния: это явление известно, как баллистический транспорт. Тем не менее, качество графена и используемой подложки будет ограничивающим фактором, понижающим электрические и оптические свойства графена. Например, с диоксидом кремния в качестве подложки подвижность потенциально ограничивается до $40\,000 \frac{\text{см}^2}{\text{В}\cdot\text{с}}$.

Другой отличительной чертой графена является его неотъемлемая прочность. Из-за прочности углеродных связей длиной 0,142 нм, графен оказался самым прочным материалом, который когда-либо был обнаружен, с предельной прочностью на растяжение в 130 ГПа. Для сравнения, прочность для конструкционной стали А36 0,4 ГПа, для Арамида (Кевлар) 0,375 ГПа. Кроме того, что графен необычайно прочен, он также является очень легким

- 0,77 миллиграмма на квадратный метр (для сравнения, 1 квадратный метр бумаги примерно в 1000 раз тяжелее). Один лист графена (толщиной всего в один атом), достаточный по размеру чтобы покрыть все футбольное поле, будет весить менее одного грамма.

Что особенно важно, так это то, что графен обладает эластичными свойствами, сохраняя при этом начальный размер после деформации. В 2007 г. на графеновых листах, подвешенных на полостях двуокиси кремния, проводили атомно-силовые микроскопические (АСМ) испытания (рис.2). Эти испытания показали, что графеновые листы (толщиной от 2 до 8 нм) имели коэффициенты жесткости в диапазоне 1-5 Н/м и модуль Юнга (отличный от трехмерного графита) 0,5 ТПа. Опять же, эти данные основаны на теоретических оценках свойств идеального графена, который не содержит никаких дефектов и в настоящее время очень дорог и сложно искусственно воспроизводим, хотя методы производства неуклонно улучшаются, что в конечном счете снижает затраты и сложность.

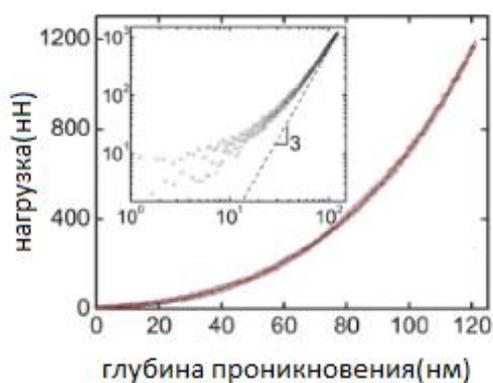


Рис. 2 Кривая нагрузки / разгрузки с увеличением глубины ввода датчика АСМ [2].

Первая статья о получении монослоя графена была опубликована в 2004 году российскими учеными, Нобелевскими лауреатами Андреем Константиновичем Геймом и Константином Сергеевичем Новоселовым, которые на момент открытия работали в Манчестерском университете. Суть эксперимента была в получении монослоев графена на кремниевой подложке

путем трения графитового стержня о гладкую окисленную поверхность кремния (SiO_2) [3]. В этом случае на поверхности кремния остаются частички графена, отслоенные от графита.

1.1.2. Оксид графена, основные свойства и применение.

Наиболее дешевым, технологичным и доступным методом массового создания графена является его восстановление из оксида графена. Как правило, графен синтезируются с помощью химически-окислительного отшелушивания графита, что придает графиту более широкие перспективы для дальнейшего применения [4]. Под оксидом графена понимают графен с присоединенными по краям и внутри углеродной сетки кислородсодержащими функциональными группами и/или молекулами.

Хотя графит представляет собой трехмерный углеродсодержащий материал, состоящий из миллионов слоев графена, оксид графита немного отличается. При окислении графита с использованием сильных окислителей в графитовой структуре вводятся оксигенированные функциональные группы, которые не только расширяют разделение слоев, но и делают материал гидрофильным (что означает, что они могут быть диспергированы в воде). Это свойство позволяет отслаивать оксид графита в воде с помощью ультразвука, в конечном итоге производя один или несколько слоев графита, известный как оксид графена (ГО). Основное различие между оксидом графита и оксидом графена составляет, таким образом, количество слоев. Хотя оксид графита представляет собой многослойную систему в дисперсии оксида графена, можно обнаружить несколько слоев хлопьев и однослойных хлопьев.

Свойства оксида графена

Одним из преимуществ оксида графена является хорошая диспергируемость материала в воде и других органических полярных растворителях, а также в других растворах из-за наличия кислородных функциональных групп. Это очень важное свойство для смешивания

материала с керамическими или полимерными растворами при попытке улучшить их электрические и механические свойства [1].

С другой стороны, с точки зрения электропроводности, оксид графена часто описывается как электрический изолятор из-за изменения типа гибридизации атомов. Чтобы восстановить гексагональную решетку графена, а вместе с ней и электропроводность, необходимо добиться удаления кислородосодержащих функциональных групп. Следует учитывать, что после удаления большей части кислородных групп восстановленный оксид графена будет менее растворим из-за его тенденции создавать агрегаты.

Функционализация оксида графена может кардинально изменить его свойства, более того, этим процессом можно управлять, варьируя количество удаленных функциональных групп. Тогда, полученные с разной степенью восстановления, относительно изначальной структуры материалы, будут иметь разные свойства, что позволит адаптировать их под конкретные задачи

Существует множество способов использования оксида графена, в зависимости от желаемого применения. Например, для оптоэлектроники, биопрепаратов или в качестве носителя лекарственного средства, он может заменить амины для органической ковалентной функционализации графена и для повышения диспергируемости химически модифицированных графенов в органических растворителях. Было также доказано, что функционализированные порфирином первичные амины и функционализированные фуллереном вторичные амины могут быть присоединены к гранулам оксида графена, что в конечном итоге увеличивает нелинейные оптические характеристики [5].

Для того, чтобы оксид графена мог использоваться в качестве промежуточного продукта при создании однослойных или малослойных графеновых листов, важно разработать процесс окисления и восстановления, который способен разделять отдельные углеродные слои, а затем изолировать их без изменения их структуры. Химическое осаждение графена из газовой

фазы в настоящее время рассматривается как наиболее подходящий метод массового производства графена, ученым было сложно завершить задачу изготовления графеновых листов такого же качества, как механическое отшелушивание, например, но в гораздо большем масштабе. Как только этот вопрос будет преодолен, мы можем ожидать, что графен станет гораздо более широко использоваться в коммерческих и промышленных целях.

1.1.3. Получение восстановленного оксида графена лазерным восстановлением и его свойства.

Превращение оксида графена в восстановленный оксид графена с помощью лазерного излучения – эффективный, простой и экологичный метод получения графеноподобного материала, позволяющий создавать структуры произвольной формы и размера, в том числе меньшего размера, чем сама область воздействия лазера.

Целью восстановления является получение графеноподобных материалов, подобных идеальному графену, полученному из прямого механического отшелушивания (т.е. «отслаивание скотчем») отдельных слоев графита как по структуре, так и по свойствам. Несмотря на многочисленные усилия, окончательная цель все еще является мечтой. Остаточные функциональные группы и дефекты кардинально меняют структуру углеродной плоскости, поэтому нецелесообразно относиться к восстановленному оксиду графена даже сегодня, как к графену, поскольку свойства существенно различаются.

При воздействии лазерного излучения происходит удаление оксидных групп и структуризация углеродной решетки (Рис.3).

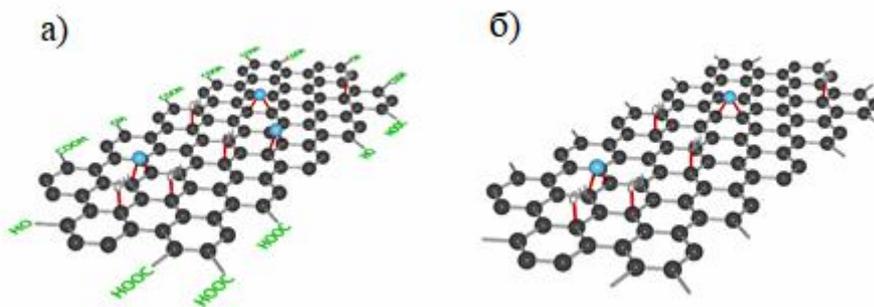


Рис.3 а) оксид графена, б) восстановленный оксид графена [6]

Проблема с этим методом заключается в качестве производимых графеновых листов, которые отображают электрические свойства, которые в настоящее время ниже теоретического потенциала нетронутого графена по сравнению с другими методами, такими как механическое отшелушивание. Однако возможны улучшения эффективности данного метода путем оптимизации параметров лазерного излучения и выбора наиболее подходящего источника. Несмотря на то, что восстановленный оксид графена не является графеном, он может быть эффективно применен в создании гибких электронных устройств.

1.2. Методы для определения степени восстановления оксида графена

В настоящее время для оценки степени восстановления оксида графена используются методы атомно-силовой микроскопии [7] рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и спектроскопии комбинационного рассеяния света [8].

Для исследования углеродных структур на молекулярном уровне существует несколько методик, например, вибрационная спектроскопия (ИК и рамановская спектроскопия), чаще всего применяется для характеристики графена и его производных. Дополнительным методом для характеристики графена является рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS). Рамановская спектроскопия предоставляет информацию о структуре, в то время как инфракрасная спектроскопия подходит для идентификации

функциональных групп соединения. Кроме того, для характеристики оксида графена и его производных также используется простой спектроскопический метод, такой как УФ-видимая (UV-vis) спектроскопия.

XPS является поверхностно-чувствительным методом, используемым для анализа химического состава и химических связей. Образец облучается рентгеновским лучом, в то время как число электронов, которые выбиваются и их кинетическая энергия, одновременно измеряются. Рамановская спектроскопия или спектроскопия комбинационного рассеяния используется для характеристики колебательных мод молекул. Возможность сбора данных комбинационного рассеяния с очень небольшой площади (350 нм в диаметре) может в некоторых случаях уменьшать нежелательные фоновые сигналы и повышать химическую чувствительность.

1.2.1. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия.

В методе XPS (РФЭС, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия) при исследовании твёрдых тел величина $A_{\text{вых}}$ или $E_{\text{св}}$ (энергия связи) относительно уровня Ферми спектрометра определяется из соотношения (3), а для газообразных объектов значения ЭИ находятся из соотношения (2).

$$E_{\text{св}} = h\nu - E_{\text{кин}} - \phi_{\text{п}}, \quad (1)$$

Где $\phi_{\text{сп}}$ — работа выхода материала спектрометра. Химический сдвиг $\Delta E_{\text{св}_{\text{св}}}^A(i)$ для i -го внутреннего уровня атома A обычно сводится к определению относительно свободного атома или молекулы, где атому A присваивается нулевой эффективный заряд q_A [11]. Доказано, что в приближении потенциала основного состояния $\Delta E_{\text{св}}$ связана с эффективными зарядами атомов соотношением:

$$\Delta E_{\text{св}_{\text{св}}}^A(i) = K_A q_A + \sum_{i \neq 1} (K_B / R_{AB}) + l, \quad (2)$$

Где K_A — средний обратный радиус валентных электронов атома A , l — эмпирическая релаксационная поправка, усреднённая по всем атомам[11].

Исследование твердых тел методом РФЭС представляет большой интерес, так как возможно исследовать слой толщиной до 5 нм без разрушения самого образца. Принципиальная схема рабочей установки представлена на рисунке 3.

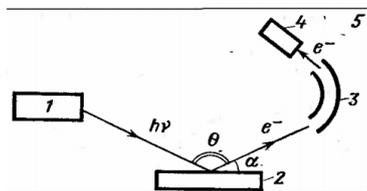


Рис.4 Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 — рентгеновская трубка; 2 — образец; 3 — электронный монохроматор; 4 — детектор; 5 — защита от магнитного поля Земли. [12]

Образец 2 находится вблизи входной щели спектрометра 3, рентгеновское излучение из трубки 1 выбивает из образца электроны. Выбитые электроны из образца попадают в электронный спектрометр высокого разрешения 3, который определяет кинетическую энергию электронов и фокусирует их. После этого сфокусированный пучок направляется в детектор электронов 4. Для защиты установки от магнитного поля земли, ее помещают в специальную оболочку 5, не намагничивающуюся и не пропускающую внешнее магнитное поле.

Корректировка и дополнительная обработка спектров производится в специальной программе, причем все изменения и конечный результат отображаются в окне этой же программы. На графике спектра по оси абсцисс откладывается энергия, вылетевших электронов, а по оси ординат их интенсивность.

Качество получаемых спектров различно и зависит от разрешающей способности источника возбуждающего излучения. Ширина возбуждающей линии рентгеновского спектра порядка 1 эВ, это значение улучшают за счет монохроматизации линии до 0,39 эВ.

Одним из неотъемлемых аспектов при изучении твердых и порошкообразных поверхностей методом РФЭС (или УФЭС), является наличие высокого вакуума. При изучении, к примеру, энергетических уровней в металлах, поверхность исследуемых образцов должна быть чистой. Также необходимо, чтобы длина свободного пробега электронов (выбитых с поверхности образца) была больше расстояния от образца до анализатора. Оценки показывают, что при вакууме 10^{-7} Па, молекулы O_2 при коэффициенте прилипания к твердой поверхности, равном 1, покрывают поверхность мономолекулярным слоем за 50 мин. Поскольку эта величина обратно пропорциональна давлению, то при вакууме 10^{-6} Па мономолекулярный слой образуется уже через 5 мин, что сопоставимо с временем записи спектра. Столкновение электронов с атомами (молекулами) или ионами инородных веществ, при движении к камере анализатора, уменьшает интенсивность попадания электронов на анализатор, а также искажает характер взаимодействия с анализатором.

РФЭС - поверхностно-чувствительная спектроскопия, которая обнаруживает элементный состав и связи между ионами в образце. В случае характеристики графена этот метод применяется для анализа производных графена, то есть GO, модифицированного или функционализированного графена, для определения его химического состава [13]. Кроме того, РФЭС был продемонстрирован как блестящий метод для оценки легирования графена азотом или ростом паров графена на месте [14]. Следовательно, РФЭС может легко идентифицировать функциональные группы, связанные с кислородом, в GO от спектральной деконволюции линий O(1s) или C(1s) РФЭС линии. Так как различные примеси присутствуют в функционализированном графене, например, C-H, C-O, C = O, COOH, очевидно, что спектральная деконволюция является сложной процедурой из-за присутствия функциональных групп с аналогичными энергиями связи. На рисунке 7 показаны спектры РФЭС C(1s) и O(1s) образцов HOPG-PP и G-PP

(НОРГ: высокоориентированный пиролитический графит, РР: плазма). Спектры приписываются к отдельным линиям химических компонентов, описываемых асимметричными гауссовско-лоренцевыми функциями. Сриватсава и Пионтек [15] в своем обзоре описали спектр C(1s) РФЭС оксида графита, который ясно указывает на значительную степень окисления с четырьмя компонентами. Эти компоненты совпадают с атомами углерода в разных функциональных группах, т.е. некислородосодержащее кольцо C (284,8 эВ), C в связи C-O (286,2 эВ), карбонил C (C=O, 287,8 эВ) и карбоксилат (O-C=O, 289,0 эВ). Такая интерпретация используется в большинстве спектров РФЭС для оксида графена.

1.2.2 Спектроскопия комбинационного рассеяния

Рамановская спектроскопия комбинационного рассеяния представляет собой молекулярную спектроскопию для наблюдения за неупруго рассеянным светом и позволяет идентифицировать вибрационные состояния (фононы) молекул. Поэтому рамановская (КР) спектроскопия является бесценным аналитическим инструментом для молекулярного получения «отпечатков пальцев» и контроля изменений в молекулярной структуре связей.

По сравнению с другими методами вибрационной спектроскопии, например, ИК-Фурье и спектроскопии ближнего ИК, спектроскопия комбинационного рассеяния (рамановская) имеет ряд преимуществ. Они являются следствием того, что рамановский эффект наблюдается в рассеянном свете от образца, а не в спектре поглощения образцом света. Поэтому рамановская спектроскопия не требует специальной подготовки образца и нечувствительна к полосам поглощения. Это свойство рамановской (КР) спектроскопии облегчает процесс непосредственного измерения в твердых, жидких и газообразных средах, а также измерения через прозрачные материалы, например, стекло, кварц, пластмассу.

По аналогии с ИК-Фурье спектроскопией, рамановская спектроскопия весьма избирательна, что позволяет идентифицировать и дифференцировать молекулы и химические образцы, которые очень похожи между собой. На рис.4 показан пример с пятью похожими молекулами – ацетоном, этанолом, диметилсульфоксидом, этилацетатом и толуолом. Несмотря на то, что каждый химический элемент имеет подобную молекулярную структуру, их рамановский спектр весьма различен, это видно даже невооруженным взглядом. С помощью справочника рамановских спектров можно без труда определить материал.

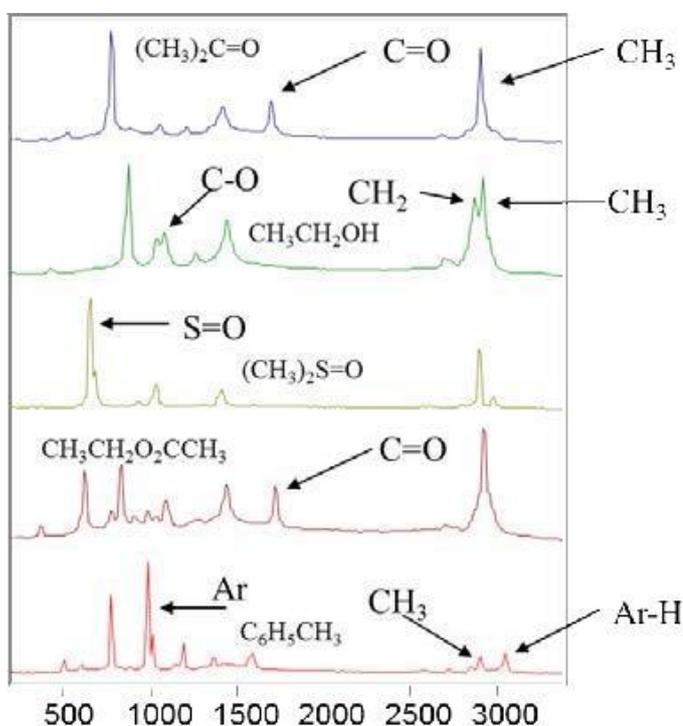


Рис.4 Рамановские спектры разных молекул [16]

При рассмотрении рамановского рассеяния можно воспользоваться двумя методами, а именно, волновой теорией света или квантовой теорией. В классической (волновой) интерпретации свет рассматривается как электромагнитное излучение, которое создает изменяемое электромагнитное поле, взаимодействующее с молекулами через эффект поляризации. Поляризуемость определяется способностью электронного облака взаимодействовать с электрическим полем. Например, легкие молекулы,

скажем, бензин, легко рассеивают рамановский свет, а более тяжелые молекулы, например, вода, рассеивают его хуже.

В квантовой теории свет рассматривается в виде фотонов, которые, сталкиваясь с молекулой, рассеиваются. Количество рассеянных фотонов пропорционально силе химической связи. Например, молекулы с сильными связями, бензин, рассеивают большое количество фотонов, а вода, имеющая слабые связи, обладает низким рамановским рассеянием.

При изменении частоты света увеличивается или уменьшается частота молекулярной вибрации. Рост частоты известен как антистоксов сдвиг, а снижение частоты как стоксов сдвиг. Измеряя изменение частоты падающего света (обычно используется только стоксов сдвиг), рамановский эффект дает значение частоты колебания молекулярной связи.

Для лучшей визуализации указанного процесса и получения дополнительной информации воспользуемся квантовой теорией света. Как говорилось ранее, рамановский эффект представляет собой неупругое рассеяние фотонов молекулярной связи. Из диаграммы Яблонского, представленной на рис. 5, следует, что фотон света возбуждает молекулу и переводит ее в «виртуальное» состояние.

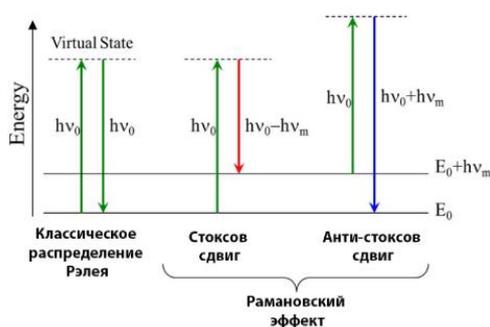


Рис.5 Диаграмма Яблонского, на которой представлены процессы изменения энергетического состояния при распределениях Рэлея и Рамана[17].

При этом формируется три основных механизма рассеяния. Первый: молекула может вернуться в основное состояние, испустив фотон энергией, равной фотону падающего света; этот процесс является упругим и его называют рассеянием Рэля. Второй: молекула может перейти в возбужденное колебательное состояние и испустить фотон с меньшей энергией по сравнению с падающим фотоном; этот процесс называется стоксовым сдвигом рамановского рассеяния. Третий – это когда молекула находится в возбужденном колебательном состоянии, возбуждается и переходит в виртуальное состояние, затем возвращается в основное состояние и испускает фотон с более высокой энергией, чем фотон падающего света; этот эффект называется антистоксовым рамановским распределением. Поскольку большинство молекул находятся в основном состоянии при комнатной температуре, вероятность данного явления очень низкая. В результате этого большинство рамановских измерений выполняются только при стоксовом сдвиге.

Дальнейшее исследование рамановского эффекта приводит к тому, что мощность рассеянного света P_s , пропорциональна интенсивности падающего света, I_0 или значению параметра, которое называют сечением рамановского рассеяния σ_R . Это можно отобразить как:

$$\sigma_R \sim \frac{1}{\lambda^4} \quad (3)$$

где λ – это длина волны падающего фотона. Поэтому:

$$P_s \sim \frac{I_0}{\lambda^4} \quad (4)$$

Из уравнения 4 очевидно, что существует линейная зависимость между мощностью рассеяния и интенсивностью падающего света, а также между мощностью рассеянного света и обратной величине длины волны, взятой в четвертой степени. Поэтому желательно использовать коротковолновое возбуждение и источник возбуждения высокой мощности.

Рамановская спектроскопия является одним из самых точных инструментов для характеристики структуры, уровня беспорядка, а также модификации материалов на основе углерода [18]. Спектры комбинационного рассеяния углеродных материалов в диапазоне длин волн видимого возбуждения всегда резонансно усиливаются, поскольку лазерная линия попадает в электронный переход материала. Благодаря этому существенному усилению, спектр комбинационного рассеяния дает информацию о структуре углеродной решетки. Однако таким методом невозможно получить достаточно информации о структуре функциональных групп, прикрепленных к плоскости графена.

Рамановский спектр графена и его производных состоит из трех видных пиков, относящихся к первому порядку D (1333 см^{-1}) и G-мод (1578 см^{-1}), и 2D-мод второго порядка (2682 см^{-1}) как показано на рисунке ба. Мода D имеет симметрию A_{1g} и может быть описана как «дышащее колебание» шестиугольных ароматических углеродных колец (рис. бб). Это полоса является запрещенной в идеальном графите, и она становится активной при наличии любого дефекта в идеальной структуре. Поэтому её можно рассматривать как полосу, вызванную беспорядками (D означает «беспорядок»). Следует отметить, что частота этой моды зависит от длины волны возбуждения (т.е. наблюдается дисперсия) с наклоном кривой $40\text{-}50 \text{ см}^{-1}\text{эВ}^{-1}$, что связано с дурезонансным рассеянием, описанного Томсеном и Рейхом [19]. Такой комбинационный резонансный процесс имеет место в системе, когда как промежуточные, так и начальные состояния рассеяния являются реальными электронными состояниями. G-мода (E_{2g} -симметрия) обусловлена тангенциальными валентными колебаниями атомов углерода в плоскости (рис. бб). Этот пик наблюдается в спектре комбинационного рассеяния для всех углеродных структур, содержащих sp^2 связи, и он характерен не только для ароматических колец углерода, но и для других структур sp^2 . В отличие от D-пика, 2D-пик всегда разрешен (следовательно, он

также называется G') и наиболее интенсивен в спектрах идеального однослойного графена [20]. Вторая рамановская запрещенная полоса, называемая D', появляется как плечо на высокочастотной стороне G-пика (рис. 6а). Более того, эта полоса является дисперсионной по частоте из-за двойного резонансного рассеяния; однако относительная интенсивность этой полосы обычно низкая.

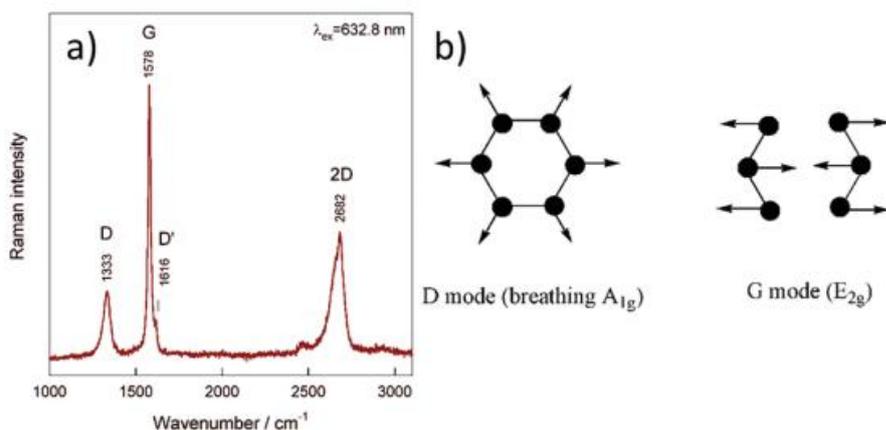


Рис.6 а) спектр комбинаций неупорядоченных графеновых чешуек; б) движения атомов углерода в колебательных пиках D и G [21]

Исторически рамановская спектроскопия использовалась в качестве простого метода для определения однослойного графена и для оценки количества слоев графена[22]. Тем не менее часто используемое применение отношения $I(2D)/I(G)$ (где I для пиковой интенсивности) не является достаточным для достоверного распознавания однослойного графена, поскольку отклик подложки и наличие примесей приводят к значительным изменениям отношения $I(2D)/I(G)$. Для правильной и точной идентификации необходимо применять дополнительный рамановский маркер, двумерную ширину FWHM (2D) (полная ширина в половине максимума полосы) [23].

1.3 Оптическая спектроскопия (UV/Vis spectroscopy).

Спектрофотометрия, метод исследования и анализа веществ, основанный на измерении спектров поглощения в оптической области электромагнитного излучения. Иногда под спектроскопией понимается раздел физики, которое объединяет спектроскопию (как науку о спектрах электромагнитного излучения), фотометрию и спектрометрию (как теорию и практики измерения в соответствующих интенсивностях и длинах волн (или частотах) электромагнитного излучения). По типам исследуемых систем спектроскопия обычно делится на молекулярную и атомную спектроскопию. Существуют спектроскопия в инфракрасных, видимых и ультрафиолетовых областях (Инфракрасная спектроскопия, Ультрафиолетовая спектроскопия).

В данной работе использовался метод UV/vis спектроскопии, он включает в себя диапазон длин волн от ультрафиолетового диапазона(UV) до видимого(vis) (Рис.6).



Рис.6 Спектр оптического излучения [24].

Применение спектроскопии в УФ и видимой областях спектра основано на поглощении электромагнитного излучения соединениями, содержащими хромофорные (напр., $C=C$, $C=C$, $C=O$) и ауксохромные (OCN_3 , OH , NH_2 и др.) группы. Поглощение излучения в этих областях связано с возбуждением электронов s -, p - и n -орбиталей основного состояния и переходами молекул в возбужденные состояния: $s : s^*$, $n : s^*$, $p : p^*$ и $n : p^*$.

Таким образом, спектр поглощения объекта зависит от его молекулярного состава, что дает широкие возможности для качественного и количественного определения различных веществ.

Закон Бугера-Ламберта-Бера — основной закон, описывающий поглощение света средой. Он связывает между собой интенсивности I_1 света, прошедшего слой среды толщиной l , и исходного светового потока I_0 .

$$I_1 = I_0 \cdot e^{k\lambda l} \quad (5)$$

где $k\lambda$ показатель поглощения вещества. Для растворов поглощающих веществ в непоглощающих растворителях показатель поглощения может быть записан как

$$k\lambda = X\lambda \cdot C \quad (6)$$

где $X\lambda$ коэффициент, характеризующий взаимодействие молекулы поглощающего вещества со светом длины волны λ , C — концентрация растворённого вещества.

Следует отметить, что наблюдаются многочисленные отклонения от этого закона, особенно в случае больших концентраций. Так в случаях высокой концентрации поглощающего вещества в растворе или его неравномерного распределения по объему может наблюдаться так называемый «эффект сита», когда одна часть поглощающих частиц начинает экранировать другие. Также отклонения от закона Бугера могут наблюдаться в случае световых потоков очень высокой интенсивности. Это связано с тем, что очень большая доля поглощающих частиц, перейдя в возбуждённое состояние и оставаясь в нём сравнительно долго, меняет (или совсем теряет) способность поглощать свет, что, разумеется, заметно изменяет характер поглощения света средой.

Спектрофотометр- прибор, предназначенный для измерения отношений двух потоков оптического излучения, один из которых — поток, падающий на исследуемый образец, другой — поток, испытавший то или иное взаимодействие с образцом. Позволяет производить измерения для различных длин волн оптического излучения, соответственно в результате

измерений получается спектр отношений потоков. Обычно используется для измерения спектров пропускания или спектров отражения излучения. Спектрофотометр является основным прибором, используемым в спектрофотометрии. Принципиальная схема спектрофотометра представлена на рис.7.

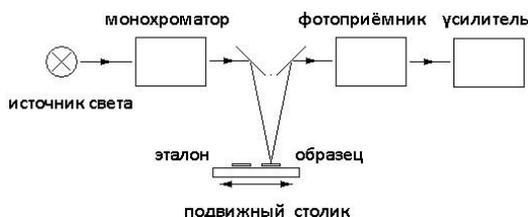


Рис.7 Принципиальная схема спектрофотометра [30]

Электронная (UV\vis) спектроскопия дает возможность: 1) определить количество нанесенных слоев GO, 2) зафиксировать процесс восстановления GO, 3) определить оптическую запрещенную зону и 4) контролировать образование гибридного материала из GO и молекул, содержащих хромофорические группы или нанокластеры плазмонных металлов. Спектр ультрафиолетового излучения GO имеет характерный пик поглощения около 230-240 нм из-за π - π^* -переходов C = C ароматических колец и плеча около 290-300 нм, соответствующего переходам n - π^* связей C = O[25]. Полоса 230-240 нм может использоваться для контроля количества слоев GO, нанесенных на прозрачную подложку. При восстановлении полоса 230-240 нм смещается на 260-290 нм из-за увеличения длины конъюгации восстановленной углеродной сети, а полоса 290-300 нм исчезает или уменьшается по интенсивности из-за исключения C = O связи[26]. Таким образом, UV\vis спектроскопия может зафиксировать восстановление GO. Однако некоторые процедуры получения графена, например, химическое осаждение из газовой фазы, не приводят к увеличению длины конъюгации; следовательно, в этом случае длинноволновое смещение не наблюдается[27].

UV\vis спектроскопия дает возможность определить оптическую запрещенную зону материалов GO. Оптические запрещенные зоны могут быть определены по спектрам поглощения с использованием выражения Таука, первоначально разработанного для аморфного германия[28]:

$$\omega^2 \varepsilon = (h\omega - E_g)^2 \quad (9)$$

Где ε - оптическое поглощение, $\omega = 2\pi / \lambda$ - угловая частота падающего излучения, λ - длина волны, $E_g = hc / \lambda_g$ - оптическая запрещенная зона, λ_g - длина волны зазора. Для определения λ_g должен быть построен график прямой линии $\varepsilon^{1/2} / \lambda$ против $1/\lambda$, а точка пересечения с осью абсцисс дает значение $1/\lambda_g$. Используя такой подход, группа Аджаяна [29] контролировала изменения запрещенной зоны во время контролируемого восстановления гидразин-пара GO от первоначально изолирующей структуры ($E_g=3,5\text{эВ}$) к полупроводникоподобному материалу ($E_g=1,6\text{эВ}$).

Наконец, UV\vis спектроскопия является очень привлекательной методикой для мониторинга образования гибридных материалов, состоящих из GO и молекул, содержащих хромофорические группы или нанокластеры плазмонных металлов. В этом случае спектроскопически можно наблюдать не только процесс прикрепления хромофора, но также можно проанализировать электронное взаимодействие между GO и молекулой сцепления/металлическим нанокластером.

Глава 2. Теоретический анализ

2.1 Объект исследования

Объектом исследования является восстановленный оксид графена. Оксид графена был приготовлен методом Хаммерса [1].

2.1.1 Приготовление оксида графена

Метод предполагает использование сильной минеральной кислоты и KMnO_4 в качестве окислителя [31]. Классический рецепт предусматривает использование 100 г графита, 2.3 л концентрированной H_2SO_4 , 50 г NaNO_3 и 300 г KMnO_4 . Последний медленно добавляют к остальной смеси, охлажденной до 0°C , и не позволяют температуре повыситься сверх 20°C . Затем смесь выдерживают 30 мин при 35°C и добавляют 4.6 л воды, что приводит к повышению температуры до 98°C . Через 15 мин вновь добавляют воду, для восстановления Mn(VII) вводят H_2O_2 и отфильтровывают полученный осадок. Для очистки от остатков катионов и анионов осадок редуцируют в воде и проводят катионообменную и анионообменную очистку. Атомарное отношение $\text{C}:\text{O}$ в продукте составляет 2.3:1.0.

Поскольку используют H_2SO_4 , получаемый GO наряду с другими содержит сульфоновые группы [32].

Классический метод Хаммерса и Оффемана дает продукт с удельной поверхностью 40–50 $\text{m}^2/\text{г}$.

Оксид графена был нанесен ручным методом (с помощью пипетки) на непроводящую подложку из пластика (полиэтилентерефталат(ПЭТ)), материал выбран из соображений прочности и гибкости, так как при одинаковой толщине, пластик меньше подвержен физическим воздействиям, чем стекло. Объем оксида графена=100 мкл.

2.1.2 Лазерное восстановление оксида графена

Лазерное восстановление оксида графена производилось на лазерном гравере NEJE (рис.8). Технические характеристики прибора представлены в таблице 1.

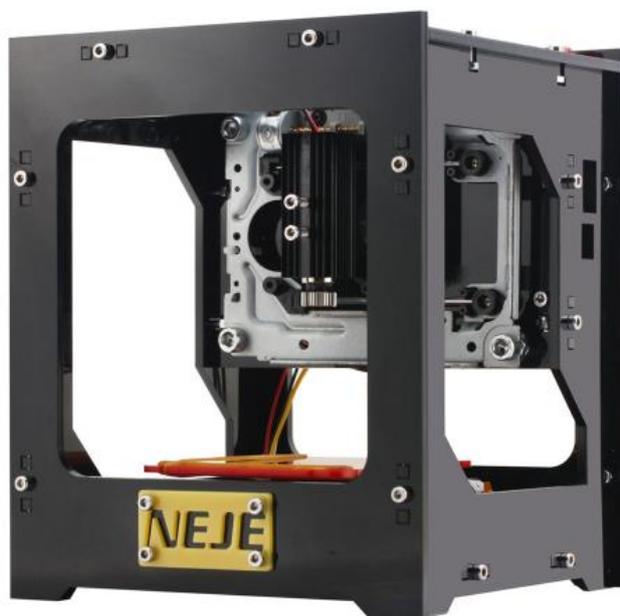


Рис.8 Лазерный гравер NEJE.

Таблица 1:

| | |
|----------------------|-------------------|
| Модель лазера | NEJE |
| Номинальная мощность | 1Вт |
| Длина волны | 532нм |
| Разрешение | 300 точек на дюйм |

На этом гравере можно регулировать время импульса. Также вместе с гравером прилагается набор светофильтров (ЖС-4, $T \cong 45,5\%$), с помощью которых можно регулировать мощность. Размер пятна регулируется расстоянием от источника излучения. Лазерный гравер работает в импульсном

режиме, чтобы усреднить мощность лазерного излучения по всей поверхности, мы «перекрываем» поверхность как показано на рисунке 9.

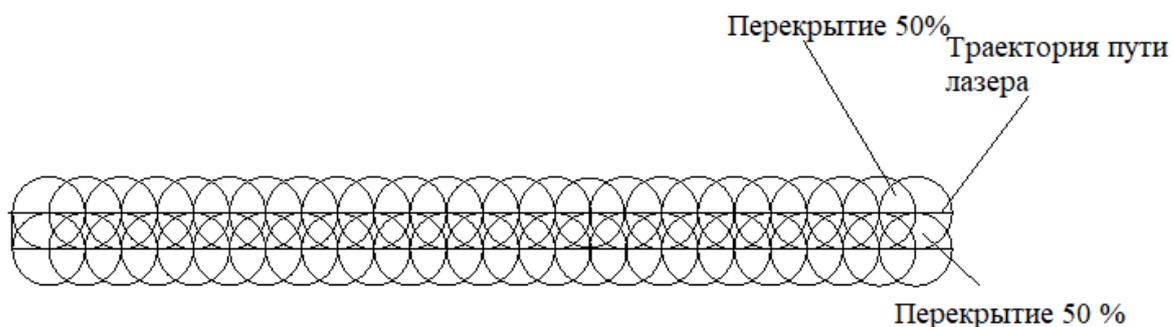


Рис.9 Лазерное перекрытие точек.

Лазерное восстановление оксида графена проводилось с разными параметрами излучения для того, чтобы получить разное восстановление оксида графена. Параметры и схема эксперимента представлены в таблице 2 и рисунке 10 соответственно. Также на рисунке 10 показаны геометрические размеры квадратов восстановленного оксида графена и расстояние между ними.

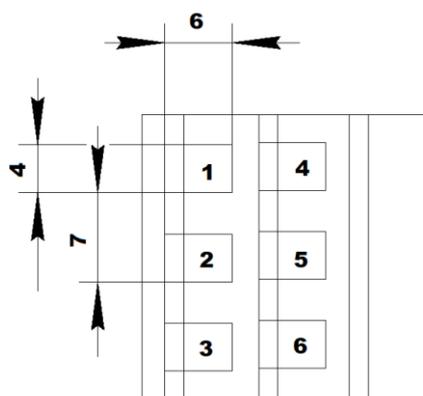


Рис.10 Расположение квадратов и их размеры

| Номер квадрата | Мощность излучения, Вт | Длительность импульса, мс |
|----------------|------------------------|---------------------------|
| 1 | 0,45 | 10 |
| 2 | 0,45 | 60 |
| 3 | 0,45 | 100 |
| 4 | 1 | 100 |
| 5 | 1 | 60 |
| 6 | 1 | 10 |

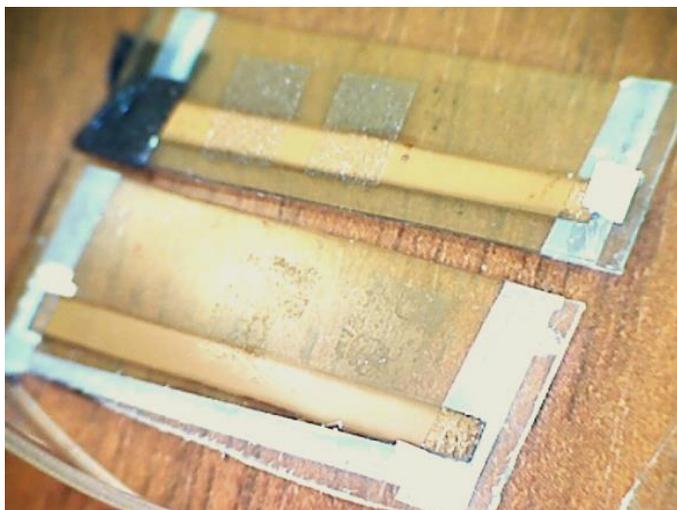


Рис.11 Внешний вид образцов.

2.2 Методы исследования и оборудование

2.2.1 Определение коэффициента пропускания

Для определения коэффициента пропускания использовался спектрометр AvaSpec-ULS204 (рис.12). Диаметр пятна на образце - 2мм. В качестве источника света использовалась лампа накаливания. Световой поток от лампы накаливания фокусируется через волноводы и проходит через образец; часть светового потока рассеивается, отражается, поглощается образцом. Прошедший световой поток детектируется приемником-спектрометром (рис.13).



Рис.12 AvaSpec-ULS204

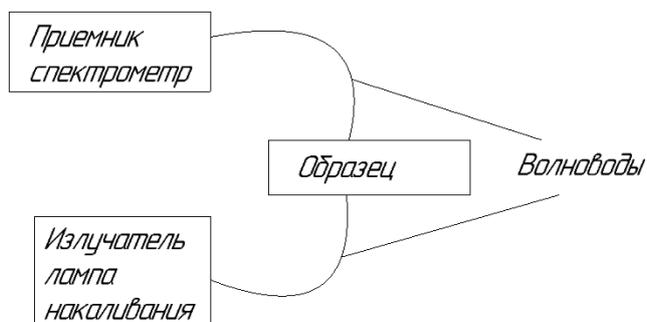


Рис. 13 Схема эксперимента

2.2.2 Определение отношения C\O

Для того, чтобы качественно оценить степень восстановления оксида, т.е. фактически отношение углерода к кислороду, решено использовать рамановскую спектроскопию. Очевидно, что в каждом квадрате восстановленного оксида графена концентрация кислорода и углерода будет различна. Измерения снимаются в 16 точках в каждом квадрате, мощность лазера 0,1Вт. Прибором для осуществления рамановской спектроскопии был спектрометр, указанный на рис. 14.



Рис.14 рамановский спектрометр «DXP2xi Raman» [33]

2.2.3 Ик спектроскопия

ИК спектроскопия применяется для того, чтобы оценить химический состав материала. Этот метод позволяет определить какие функциональные группы были присоединены к ГО, которые непосредственно влияют на пропускание восстановленного оксида графена.

Метод инфракрасной спектроскопии является универсальным физико-химическим методом, который применяется в исследовании структурных особенностей различных органических и неорганических соединений. Метод основан на явлении поглощения группами атомов испытуемого объекта электромагнитных излучений в инфракрасном диапазоне. Поглощение связано с возбуждением молекулярных колебаний квантами инфракрасного света. При облучении молекулы инфракрасным излучением поглощаются только те кванты, частоты которых соответствуют частотам валентных, деформационных колебаний молекул. Колебания молекул могут заключаться в изменении длин связей (валентные колебания) либо углов между связями (деформационные колебания).

Для регистрации спектров поверхности твердых тел применяют метод нарушенного полного внутреннего отражения. Он основан на поглощении поверхностным слоем вещества энергии электромагнитного излучения, выходящего из призмы полного внутреннего отражения, которая находится в оптическом контакте с изучаемой поверхностью. Инфракрасная спектроскопия широко применяются для анализа смесей и идентификации чистых веществ. ИК спектроскопия проводилась на ИК-спектрометре Agilent Cary 630 (рис.15).



Рис.15 ИК-спектрометр Agilent Cary 630 [34]

2.2.4 Оптическая профилометрия.

Для того, чтобы оценить толщину слоя ГО, использовался метод оптической профилометрии. Также с помощью этого метода можно рассмотреть морфологию всей поверхности.

Принцип действия оптического профилометра (интерферометра) заключается в том, что свет, излучаемый с источника, отражаясь от исследуемой и опорной поверхностей, образует интерференционную картину, которая затем регистрируется видеокамерой. Затем данные обрабатываются и набор интерференционных картин преобразуется в карту уровней поверхности высокого разрешения. Измерения проводились на профилометре MicroXAM-100, оптическая схема и общий вид профилометра изображен на рисунке 16 и 17 соответственно.

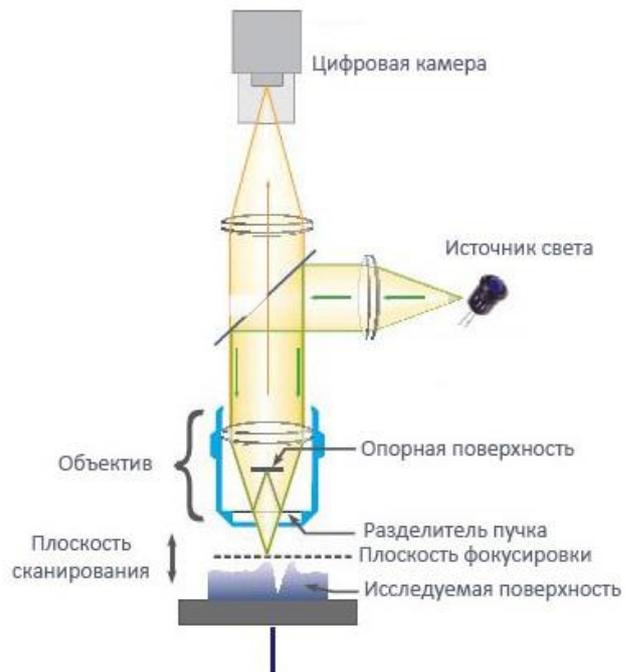


Рис.16 Оптическая схема профилометра MicroXAM-100 [35]



Рис.17 MicroXAM-100 [35]

Также морфология поверхности была просмотрена на растровой электронной спектроскопии (SEM).

Глава 3. Результаты проведенного исследования.

3.1 Оптическая спектроскопия

Для начала было решено проверить равномерность нанесения оксида графена, так как ручной метод не обеспечивает равномерного слоя оксида графена. Для того чтобы минимизировать ошибку измерений спектрометра, в каждой точке GO измерения проводились 10 раз. После каждого измерения в одной точке следует заново записать референтный световой поток для получения более точных данных, т.к. излучение лампы накаливания может деградировать. Точки в которых проводились измерения изображены на рисунке 18.

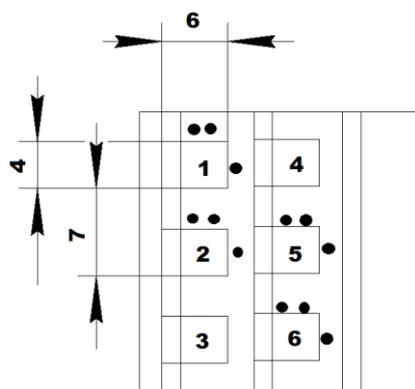


Рис. 18 Точки в которых измерялся коэффициент пропускания для GO

Был получен следующий спектр данных (Рис.19):

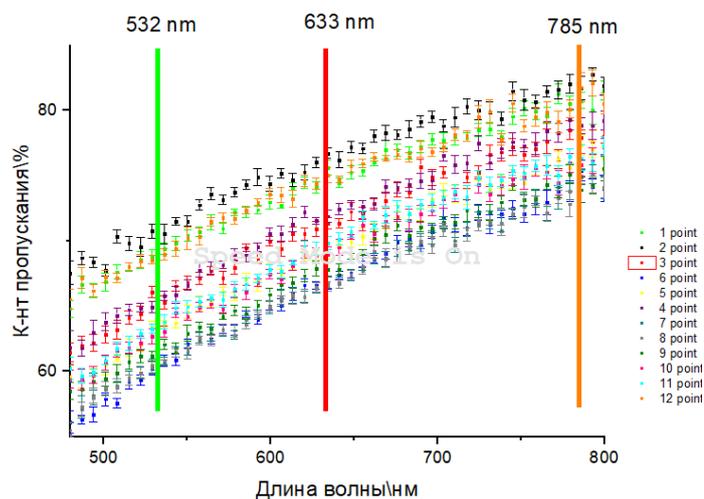


Рис.19 Спектр пропускания GO

Как видно из спектров пропускания, разброс данных лежит в пределах от 55 до 68%, это вызвано разной толщиной пленки по всей поверхности материала (следуя из закона Бугера-Ламберта- Бера). Для более точной оценки дисперсии построим разброс данных на отдельных длинах волн 532нм, 633нм, 785нм (рис.20). Эти длины волн выбраны неслучайно; 532нм-это длина волны лазерного гравера NEJE, 785нм это длина волны лазера рамоновского спектрометра, 633нм это длина волны лазера рамановского спектрометра, который мы будем использовать в дальнейшем.

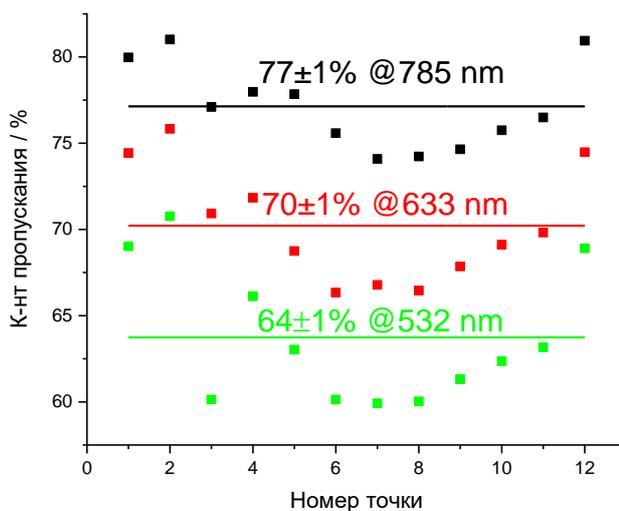


Рис.20 Дисперсия пропускания

Из рисунка можно выделить общую тенденцию для всех длин волн, что подтверждает, что измерения проводились верно. Дисперсия данных относительно математического ожидания составила 1% для каждой длины волны.

Далее было измерено пропускание восстановленного оксида графена, так как толщина слоя разная, решено было измерять в 3 разных точках, также делая в каждой точке по 10 измерений. Для оценки степени восстановления оксида графена, спектры восстановленного оксида графена будут сравниваться со спектрами GO в трех ближайших к квадрату точках. Расположение измеряемых точек восстановленного оксида графена и оксида графена для каждого квадрата изображено на рисунке 21.

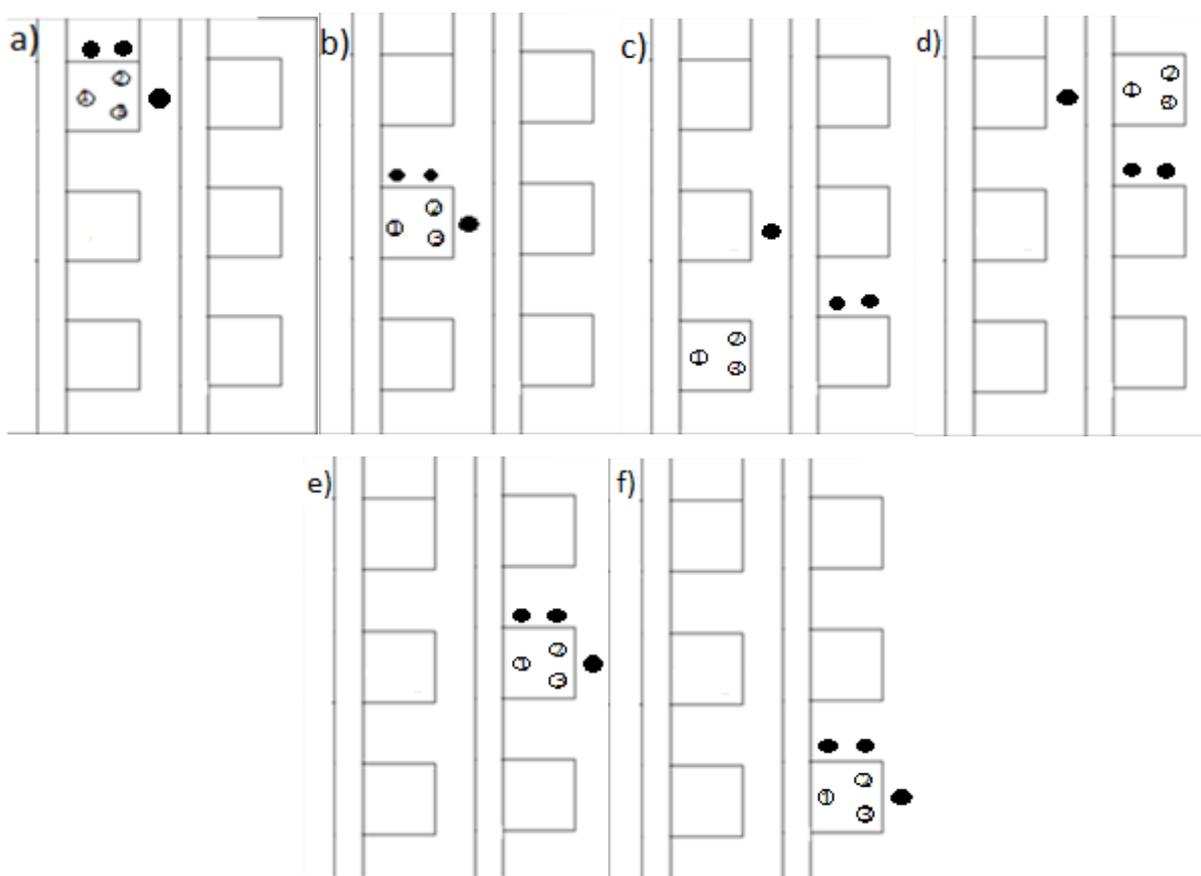


Рис. 21 Расположения точек для измерений: а) первого квадрата, б) второго квадрата, с) третьего квадрата, d) четвертого квадрата, е) пятого квадрата, f) шестого квадрата.

Для большей наглядности спектры пропускания были сопоставлены с фотографиями, сделанные на оптическом микроскопе.

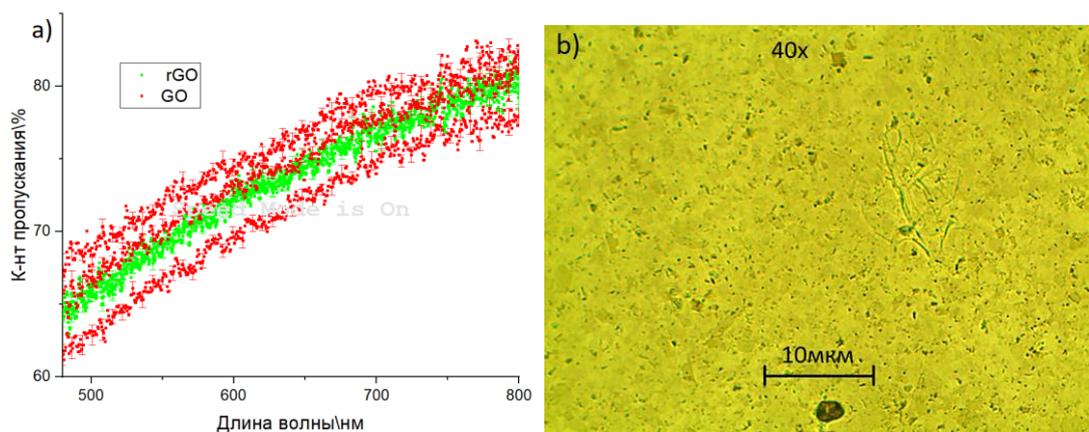


Рис. 22 а) спектр пропускания первого квадрата и области GO вокруг него; б) фотография первого квадрата, с увеличением 40 раз.

Как видно из этого графика спектр пропускания восстановленного оксида в первом квадрате (0,45Вт 10мс), из-за чего делаем вывод что при данных параметрах лазерного излучения, оксид графена не восстанавливается.

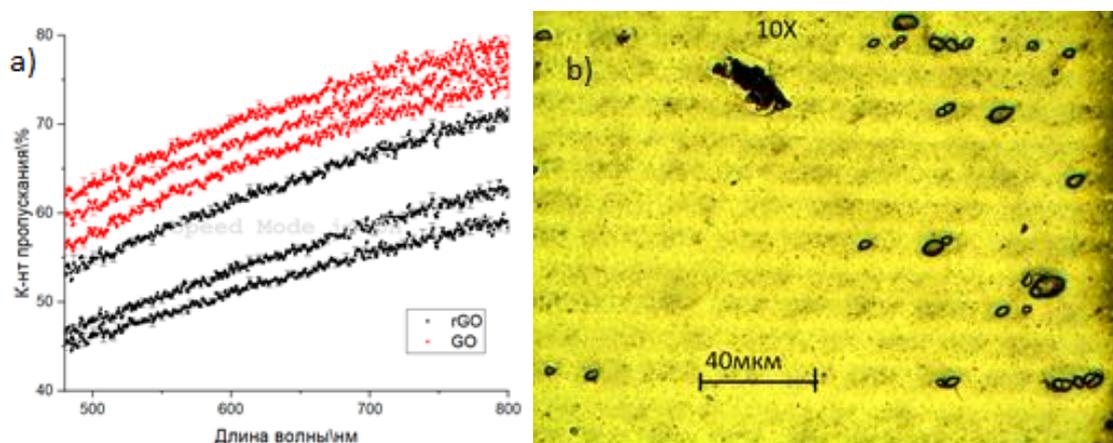


Рис.23 а) спектр пропускания второго квадрата и области GO вокруг него; б) фотография первого квадрата, с увеличением 10 раз.

Для второго квадрата (0,45Вт 60мс) видно, что произошло восстановление, т.к. спектры кардинально отличаются, пропускание этого квадрата порядка 50%.

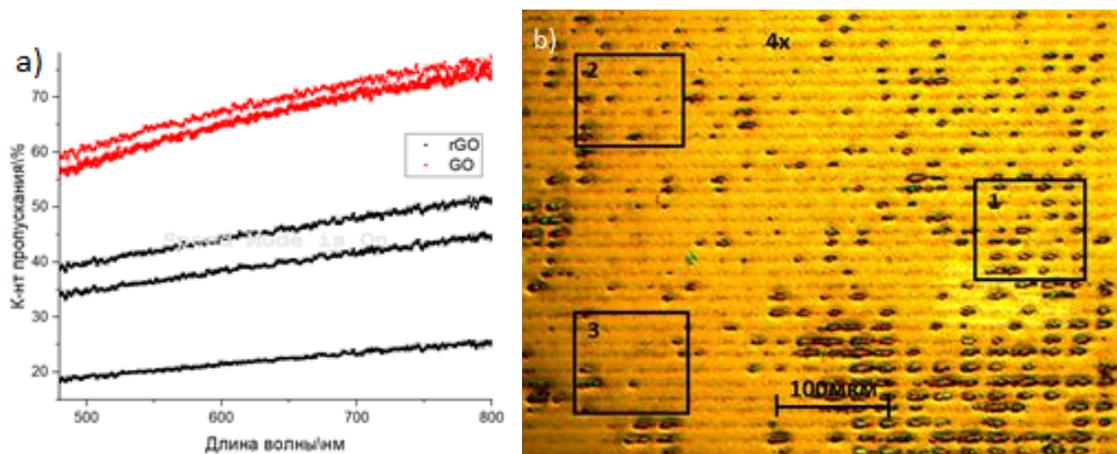


Рис.24 а) спектр пропускания третьего квадрата и области GO вокруг него; б) фотография первого квадрата, с увеличением 4 раз.

Для третьего квадрата (0,45Вт 100мс) видно, что восстановление произошло лучше, чем для второго. Пропускание уменьшается и по картинке видно, что восстановление произошло лучше. Но все еще недостаточное восстановление и разброс слишком велик, отсюда делаем вывод, что при такой энергии невозможно хорошо восстановить оксид графена.

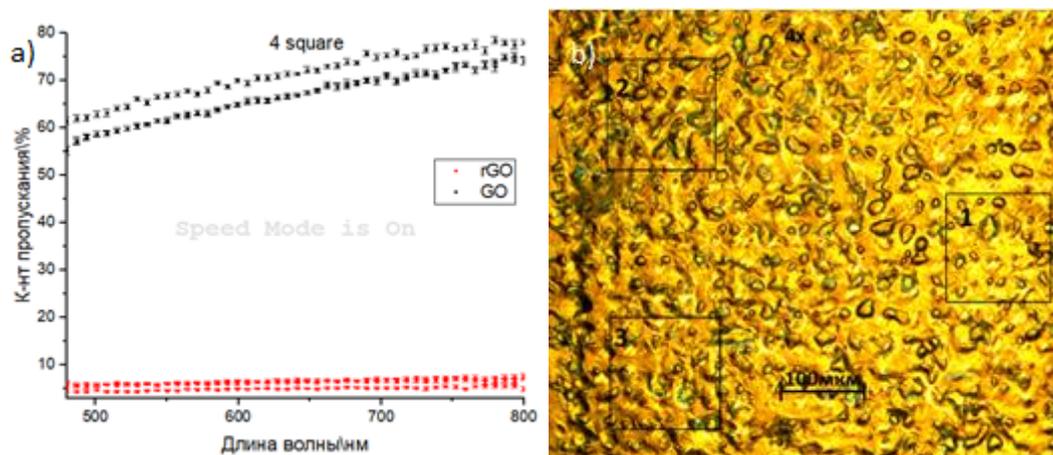


Рис.25 а) спектр пропускания четвертого квадрата и области GO вокруг него; б) фотография первого квадрата, с увеличением 4 раз.

Для этого квадрата (1Вт 100мс) видно, что восстановление произошло лучше остальных, следовательно, делаем вывод, что энергия 1 Вт является оптимальной для восстановления. Пропускание образца колеблется около 4-6%, это значит, что образец поглощает, рассеивает и отражает весь свет.

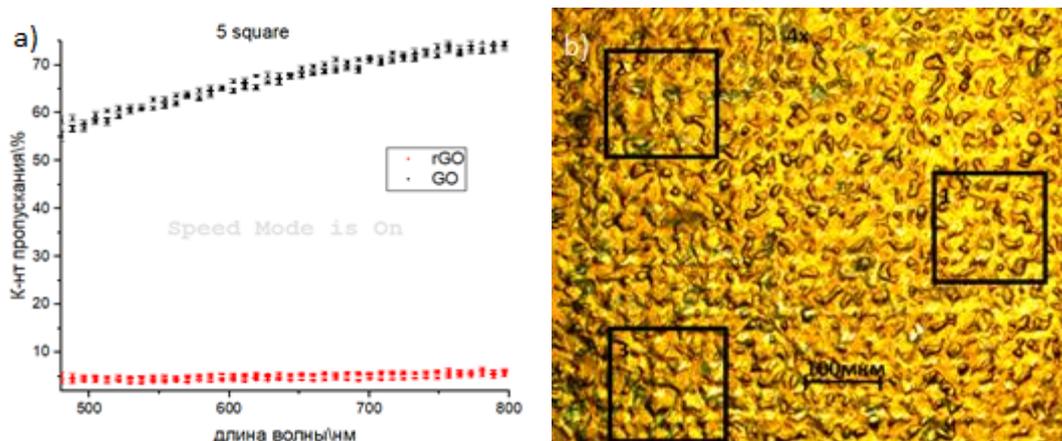


Рис. 26 а) спектр пропускания пятого квадрата и области GO вокруг него; б) фотография первого квадрата, с увеличением 4 раз.

Для этого квадрата (1Вт 60мс) восстановление прошло, как и при 4 квадрате, пропускание варьируется от 4-6%, как и у 4 квадрата.

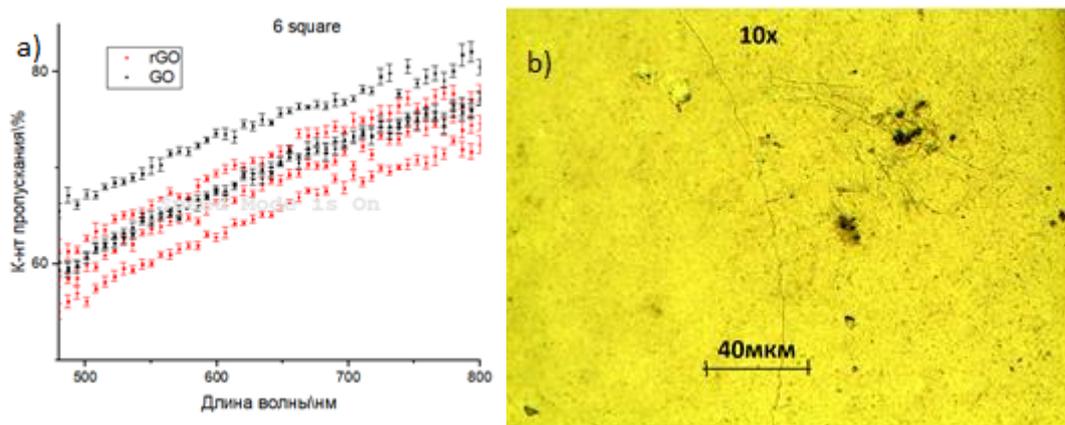


Рис.27 а) спектр пропускания шестого квадрата и области GO вокруг него; б) фотография первого квадрата, с увеличением 10 раз.

На этом квадрате (1Вт 10мс) наблюдается та же ситуация что и на первом квадрате; оксид графена не восстановился, и нет отличий между спектром пропускания восстановленного оксида графена в этом квадрате и оксида графена вокруг него.

Проанализировав все данные можно сделать вывод, что оптимальными параметрами лазерного излучения для восстановления оксида графена это 1Вт, 100-60мс. При этих параметрах поглощение материала будет

максимальным для восстановленного оксида графена. Поглощение и пропускание материала зависят друг от друга по закону Бугера-Ламберта-Бера.

Из чего мы делаем такой вывод?

Чем больше поглощение материала, тем больше электронов могут поглотить фотон и перейти на верхний электронный уровень. Так как у оксида графена верхний электронный уровень (орбиталь) занят функциональными группами кислорода, то оксид графена является диэлектриком, в отличие от восстановленного оксида графена, в котором функциональные группы кислорода сведены к минимуму. Из этого вытекает что, чем больше функциональных групп мы удаляем лазером (больше степень восстановления оксида графена), тем больше поглощение материала.

2.2 Рамановская спектроскопия

Для того чтобы определить концентрацию углерода и кислорода, решено использовать метод рамановской спектроскопии. Измерения проводились на микроскопе со встроенным спектрометром DXR2xi (рис.24). Для четырех квадратов был снят спектр КР (комбинационного рассеяния), а также для пластика и просто GO. Результаты представлены на графике:

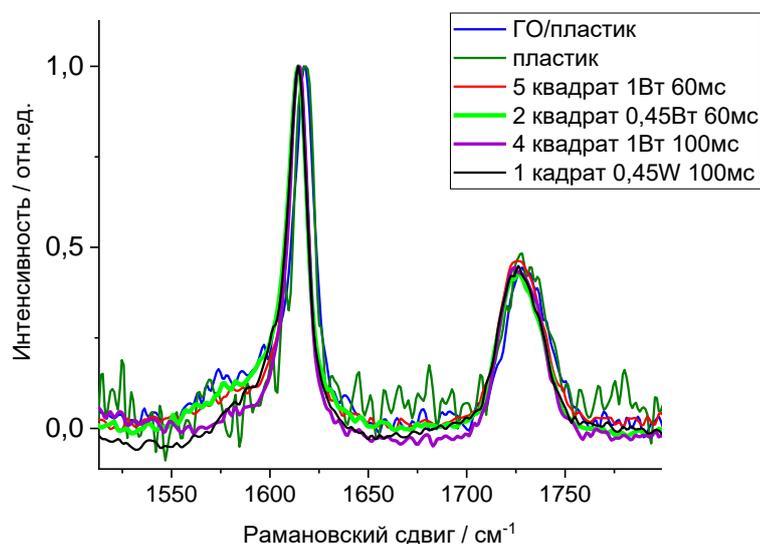


Рис. 28 Спектр КР восстановленного оксида графена.

Обнаружено, что в процессе взаимодействия лазера с пластиком образовывается композит, и сигнал от него перекрывает все G, D, D', 2D пики. Интересующий нас пик, несущий информацию о степени восстановления оксида графена находится на «плече» D пика в районе 1550-1600см⁻¹, но он перекрывается откликом от композита, следовательно, нельзя обработать эти данные.

2.3 ИК спектроскопия и растровая электронная спектроскопия

Для того, чтобы определить функциональные группы, присоединенные к оксиду графена воспользовались методом ИК спектроскопии. Измерения проводились на ИК-спектрометре Agilent Cary 630 (рис. 15). Для удобства, 4 и 5 квадрат, где произошло лучшее лазерное восстановление (1Вт 100, 60 мс) примем как восстановленный оксид графена. Был получен спектр пропускания в ИК диапазоне (рис.29), также по пикам определены функциональные группы и записаны в таблице 3.

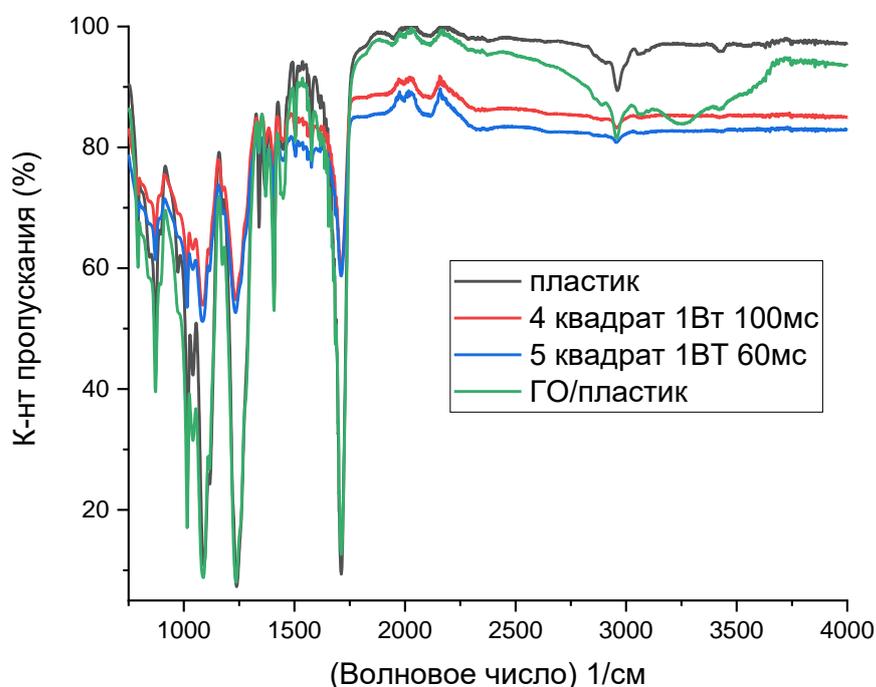


Рис.29 ИК-спектр восстановленного оксида графена, пластика, ГО.

Таблица 3.

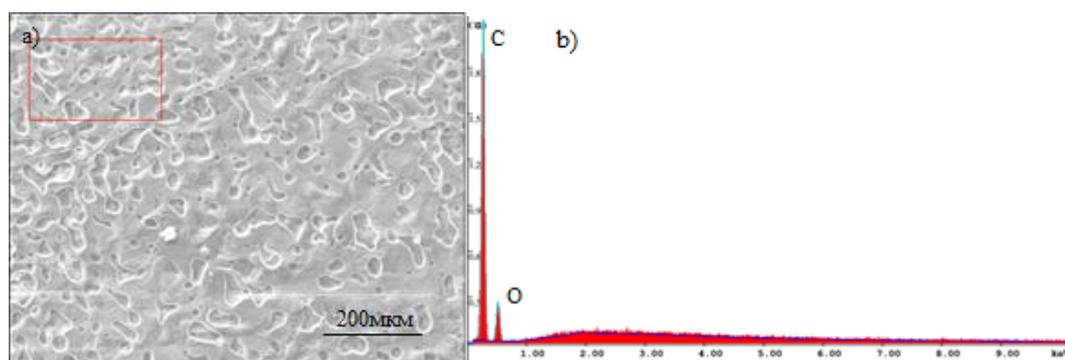
| Частота колебаний | Группы | пластик | ГО | ВОГ |
|-----------------------|---------------------------------|---------|----|-----|
| 2954см ⁻¹ | Валент. колеб. ОН | + | + | - |
| 2115см ⁻¹ | С≡С валентное | - | - | + |
| 1712см ⁻¹ | Валентные колебания С=О | + | + | - |
| 1577 см ⁻¹ | Валентное колебание С-С кольца | - | + | + |
| 1505 см ⁻¹ | Деформ. колеб. Н ₂ О | - | + | + |
| 1449 см ⁻¹ | Валент. симм. СН ₃ | + | - | - |
| 1407 см ⁻¹ | =СН деформационное колебание | + | + | - |
| 1371 см ⁻¹ | Валент. ассим. =СН ₃ | + | - | - |
| 1340см ⁻¹ | Колеб. С-ОН | - | + | - |
| 1234см ⁻¹ | С-О валентное | - | + | - |
| 1084см ⁻¹ | С-О-С вал. сим. | - | + | - |
| 1041см ⁻¹ | С-О-С вал. ассим | - | + | - |
| 1015см ⁻¹ | С-О-О вал. | - | + | - |
| 984см ⁻¹ | О-О вал. | + | - | - |
| 722см ⁻¹ | NH ₂ деф. | + | - | - |

Также образцы решено проверить на растровом электронном микроскопе (SEM). Этот метод не является качественным методом для определения концентрации кислорода и углерода в образце. Но для того чтобы подтвердить, правда ли восстановился оксид графена он подходит. Общий вид микроскопа изображен на рис.30



Рис. 30 Растровый электронный микроскоп EDAX [36]

Измерения проводились только на 4 квадрате (1Вт 100мс) в трех разных областях. Результаты приведены на рисунках ниже.



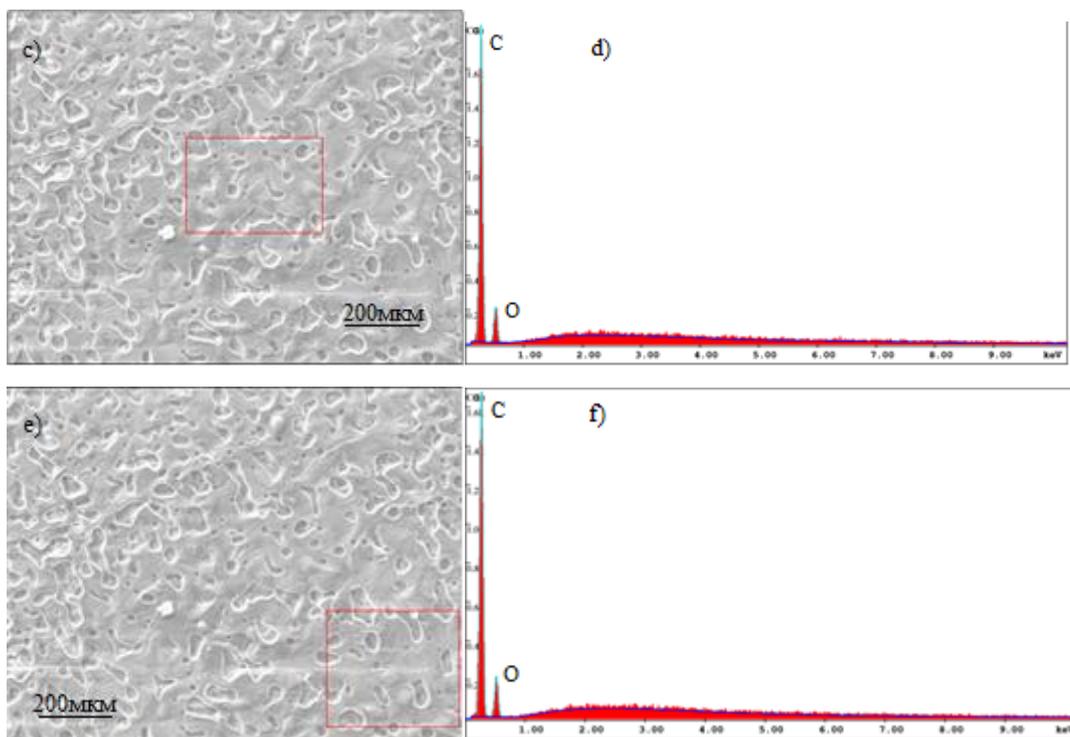
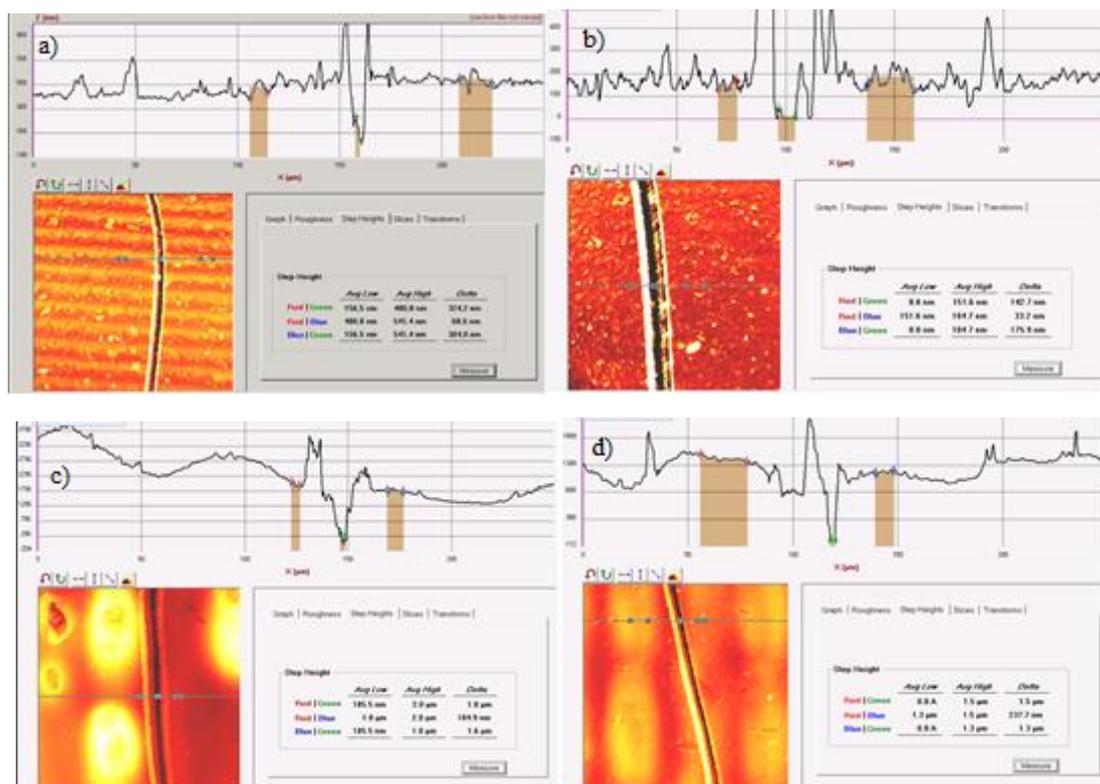


Рис.31 Растровая электронная микроскопия 4 квадрата (1Вт 100мс) а) фото с растрового электронного микроскопа в первой области, с которой снималась концентрация углерода и кислорода, б) концентрация углерода и кислорода в первой области C:O (79.95%:20.05%), с) фото SEM во второй области, д) концентрация углерода и кислорода во второй области C:O (80.35%:19.65%), е) фото SEM в третьей области; ф) концентрация углерода и кислорода в третьей области C:O (79.93%:20.07%).

Как можем видеть из результатов, концентрация углерода и кислорода в образце практически не изменяется, что коррелируют с результатами полученными оптической спектроскопией. Но следует помнить, что этот метод не используется для оценки степени восстановления оксида графена, т.к. не может дать качественную характеристику, в отличие от рамановской спектроскопии.

3.4 Оптическая профилометрия

Как было раньше сказано, пропускание восстановленного оксида графена, очень зависит от топологии поверхности. Любой перепад высоты существенно влияет на оптические свойства. Поэтому чтобы оценить толщину не только восстановленного оксида графена, но и просто ГО было решено воспользоваться методом оптической профилометрии. Измерения проводились на приборе MicroXAM-100 (рис.17). Предварительно перед измерениями, делалась намеренное «царапание» поверхности (скретч), чтобы создать перепад высот. Важно, чтобы скретч был сделан только на измеряемом слое, иначе нельзя однозначно говорить о правильности измерения. Результаты оптической профилометрии представлены ниже, а также для наглядности занесены в таблицу 4.



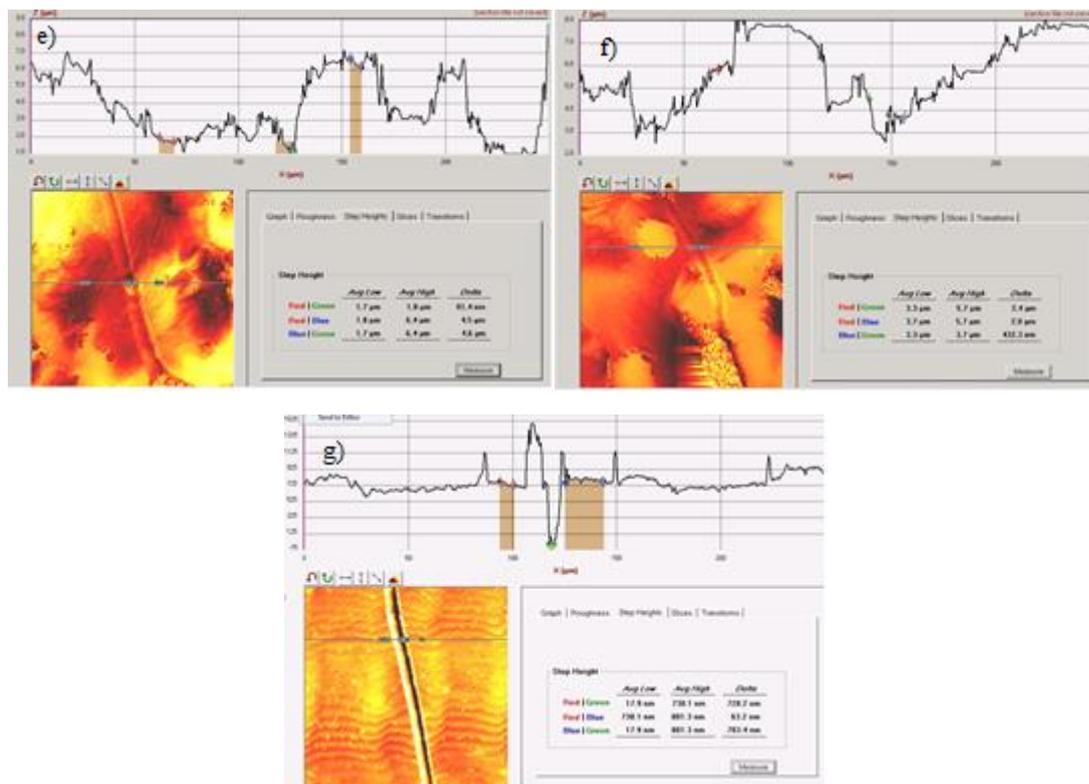


Рис.32 Результаты с профилометра для: а) ГО, б) 1 квадрата (0,45Вт 10мс), с) 2 квадрата (0,45Вт 60мс), d) 3 квадрата (0,45Вт 10мс), е) 4 квадрата (1Вт 100мс), f) 5 квадрата (1Вт 60мс), g) 6 квадрата (1Вт 10мс).

Таблица 4.

| | ГО | 1 квадрат (0,45Вт 10мс) | 2 квадрат (0,45Вт 60мс) | 3 квадрат (0,45Вт 100мс) | 4 квадрат (1Вт 100мс) | 5 квадрат (1Вт 60мс) | 6 квадрат (1Вт 10мс) |
|-----------------|-----|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Толщина (нм) | 384 | 175 | 1600 | 405 | 542 | 598 | 784 |

Как видно из результатов, что практически во всех квадратах толщина слоя больше чем толщина слоя ГО, это вызвано тем, что при сжигании лазером ГО продукты горения улетучиваются, создавая при этом пористую структуру. Во втором шестом квадрате ясно, что процарапали не только слой восстановленного оксида графена, но и сам пластик, из-за этого такой

результат. Структура поверхности между слоем ГО и первым, шестым квадратом не отличается, что еще раз подтверждает, что оксид графена на этих квадратах не был восстановлен. На четвертом и пятом квадрате структура самая уникальная, а перепады высот достигают 5мкм.

Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Научно-исследовательская работа представляет собой процесс исследования оптических свойств оксида графена и непосредственное применение этих свойств как оценка качества степени восстановления оксида графена и его электрических свойств. Исследование оптических свойств проводится на спектрофотометре. Связь между оптическими и электрическими свойствами позволяет запустить массовое производство приборов на основе графена. Также такая методика является дешевой и технологичной по сравнению с применяющимися сейчас методами для оценки степени восстановления оксида графена (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, рамановская спектроскопия, с помощью атомного силового микроскопа). Работа выполнялась в научном парке в офисе и лаборатории отделения материаловедения направления «Оптотехника». К приборам, используемым в ходе выполнения работы, относятся лазерная установка «NEJE», Спектрофотометр «СФ 256 УВИ» и персональный компьютер.

Целью данного раздела является экономическое обоснование научно-исследовательской работы по применению оптического анализа восстановленного оксида графена в массовом производстве.

Достижение цели обеспечивается решением ряда следующих задач:

- составление календарного плана и графика работ;
- оценка стоимости материально-технических, человеческих и финансовых ресурсов для исполнения проекта;
- формирование сметы на реализацию проекта;

4.1. Потенциальные потребители результатов проекта

Результатом проекта является создание органической и гибкой электроники на основе графена. Потенциальными потребителями данного исследования являются компании, производящие электронику. Для Российской Федерации, этот продукт уникальный, так как на ее территории нет компаний, которые производят прозрачную гибкую электронику. Для контроля степени восстановления оксида графена, что непосредственно влияет на его электрические свойства используется оптический анализ.

Сегментирование произведено по количеству работников на предприятии.

Таблица 5- Карта сегментирования рынка

| Размер компании | Способ измерения степени восстановления | | |
|-----------------|---|---------------|------------|
| | Химический | Электрический | Оптический |
| Малые | Фирма А | Фирма Г | |
| Средние | Фирма Б | Фирма Д | Фирма Е |
| Крупные | Фирма В | | |

Из приведенной карты можем видеть, что оптический способ измерения еще не так широко используется в оценки степени восстановления, соответственно, уровень конкуренции в этой категории низок. Таким образом, получили, что:

- к основному сегменту данного рынка можно отнести средние компании;
- больше перспектив представляется малым компаниям, которые производят оценку степени восстановления на основе оптического измерения;
- в будущем также перспективным и привлекательным является предложение оценивать степень восстановления на основе оптического измерения средними компаниями.

4.2. Планирование научно- исследовательских работ

Предполагаемые работы планируются следующим образом:

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

4.3. Структура и порядок работ научного исследования

Для начала необходимо определить участников проводимого исследования. Таковыми являются профессор отделения материаловедения (или руководитель), студент группы 4В41. Каждой выполняемой работе соответствует исполнитель, обладающей определенной должностью.

Таблица 6- Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы | № раб. | Содержание работ | Должность исполнителя |
|--|--------|---|-----------------------|
| Разработка задания ВКР | 1 | Определение направления исследования | Руководитель |
| | 2 | Составление задания | Руководитель |
| | 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 | Руководитель, студент |
| | 7 | Разработка технологии изготовления | Студент |
| | 8 | Изготовление | Студент |
| | 9 | Ознакомление с методами оптического анализа | Руководитель, студент |
| | 10 | Оптический анализ | Студент |
| | 11 | Оптимизация параметров | Студент |
| | 12 | Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | Студент |
| Обобщение и оценка результатов | 13 | Оценка эффективности полученных результатов | Студент, руководитель |
| Оформление отчета по НИР | 14 | Представление результатов для отчета по НИР | Студент |
| | 15 | Анализ результатов отчета, выводы | Студент |

4.4. 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.

Переведем длительность каждого из этапов в календарные дни:

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

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

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

$k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кг}} - T_{\text{вг}} - T_{\text{пг}}} = \frac{365}{365 - 57} = 1,19,$$

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 7.

Таблица 7- Временные показатели научного исследования

| № раб. | Содержание работ | t_{min} , дн. | t_{max} , дн. | $t_{ож}$, чел.-дн. | T_{pi} , раб. дн. | Продолжительность, календ. дн. |
|--------|---|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------------------|
| 1 | Определение направления исследования | 1 | 3 | 1,8 | 0,9 | 1 |
| 2 | Составление задания | 2 | 3 | 2,4 | 1,2 | 1 |
| 3 | Согласование задания с исполнителем | 1 | 2 | 1,4 | 0,7 | 1 |
| 4 | Подбор и изучение материалов по теме | 5 | 7 | 5,8 | 2,9 | 3 |
| 5 | Календарное планирование работ по теме | 2 | 3 | 2,4 | 1,2 | 2 |
| 6 | Проведение теоретических обоснований | 3 | 5 | 3,8 | 1,9 | 3 |
| 7 | Разработка технологии изготовления | 9 | 13 | 10,6 | 5,3 | 6 |
| 8 | Изготовление | 2 | 4 | 2,8 | 1,4 | 2 |
| 9 | Ознакомление с методами оптического анализа | 3 | 5 | 3,8 | 1,9 | 3 |
| 10 | Оптический анализ | 2 | 3 | 2,4 | 1,2 | 2 |
| 11 | Оптимизация параметров | 4 | 6 | 4,8 | 2,4 | 3 |
| 12 | Сравнение результатов экспериментов с теоретическими исследованиями | 2 | 3 | 2,4 | 1,2 | 2 |
| 13 | Оценка эффективности полученных результатов | 2 | 3 | 2,4 | 1,2 | 2 |
| 14 | Представление результатов для отчета по НИР | 14 | 20 | 16,4 | 8,2 | 10 |
| 15 | Анализ результатов отчета, выводы | 5 | 8 | 6,2 | 3,1 | 4 |
| Итого | | | | | | 45 |

4.5. Смета научно- технического исследования

В этом разделе необходимо достоверно отобразить абсолютно все вид расходов, которые были произведены во время выполнения научно-технического исследования. Затраты группируются по следующим статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для экспериментов;
- основная зарплата исполнителей задания;
- дополнительная зарплата;
- страховые отчисления;
- накладные расходы.

4.4.1. Расчет материальных затрат НТИ

В этом разделе должны быть учтены все материалы, которые использовались при выполнении задания. Это может быть сырье и материалы, которые требуются для выполнения исследования, покупные материалы для полного функционального обеспечения процесса, запасные части и приспособления, а также считаются затраты на канцелярские принадлежности, картриджи и т.д.

В данной работе конкретно для исследования никаких затрат, кроме канцелярских, не осуществлялось, то есть все необходимое уже было в наличии.

Расчет материальных затрат производится по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i},$$

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

$N_{расх\ i}$ - количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования;

C_i - цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов;

k_T - коэффициент, который учитывает транспортно- заготовительные расходы.

Материальные затраты, произведенные для выполнения данного научно- технического исследования, представлены в таблице 8.

Таблица 8- Материальные затраты

| Наименование | Ед. изм. | Кол-во | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, руб. |
|------------------------|----------|--------|----------------------|----------------------------------|
| Электроэнергия | кВт/ч | 40 | 2,7 | 108 |
| Канцелярские товары | | | | 330 |
| Расходные материалы | Шт. | 1 | 1000 | 1000 |
| Связь | | | 450 | 900 |
| Итого: | | | | 2338 |

4.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментов

В данном разделе учитываются все затраты, которые связаны с приобретением оборудования, необходимого для проведения работ по исследовательской работе. Но для данного исследования оборудование отдельно не приобреталось, поэтому следует рассчитать амортизацию оборудования, которое уже было в наличии и использовалось для экспериментов.

Расчет амортизации производится по следующей формуле:

$$Z_{об} = \frac{(Ц \cdot F_{\phi})}{(F_{н} \cdot F_{сс})}$$

где Ц- цена оборудования, руб.;

$F_{н}$ - номинальный фонд времени (рабочее время в году), ч.;

$F_{сс}$ - срок службы оборудования, год;

F_{ϕ} - фактическое время занятости оборудования в ВКР, ч.

$$F_H = (365 - T_{\text{вых}}) \cdot t_{\text{раб}} = (365 - 118) \cdot 8 = 1976 \text{ ч.}$$

Амортизация использовавшегося оборудования представлена в таблице

Таблица 9- Затраты на амортизацию оборудования

| № п/п | Наименование оборудования | Цена ед. оборудования, руб. | Срок службы, год | Время занятости, ч. | Затраты на амортизацию, руб. |
|--------|---------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------|------------------------------|
| 1 | Лазер “MINI-MARKER-2” | 1 230000 | 6 | 12 | 1244 |
| 2 | Спектрофотометр “AVANTES” | 122 391 | 3 | 52 | 1073 |
| 3 | Компьютер | 30 000 | 4 | 400 | 1012 |
| Итого: | | | | | 3329 |

4.4.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается основная заработная плата всех участвующих в выполнении работы дипломной работы. Данные об окладе в зависимости от трудоемкости работ служат основой для расчета заработной платы.

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн.}} \cdot T_p,$$

где T_p - продолжительность работ, выполняемых научно- техническим сотрудником, раб. дн.; $Z_{\text{дн.}}$ - среднедневная заработная плата сотрудника, руб.

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

где Z_m - месячный оклад сотрудника, руб.; M - количество месяцев работы без отпуска в течение года; F_d - действительный годовой фонд времени научно-технического персонала, раб. дн.

Таблица 10- Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени | Руководитель | Студент |
|---|--------------|---------|
| Календарное число дней | 365 | 365 |
| Количество нерабочих дней -выходные дни; -праздничные дни | 56 | 56 |
| Потери рабочего времени -отпуск -невыходы по болезни | 48 | 48 |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 261 | 261 |

Месячный должностной оклад сотрудника рассчитывается следующим образом:

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

где $Z_{тс}$ - заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{пр}$ - премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d - коэффициент доплат и надбавок в диапазоне от 0,2-0,5; k_p - районный коэффициент равный 1,3.

Таблица 11- Расчет основной заработной платы

| Исполнители | Разряд | k_t | $Z_{тс}$, руб. | $k_{пр}$ | k_d | k_p | Z_m | $Z_{дн.}$ | T_p | $Z_{осн}$ |
|--------------|--------|-------|--------------------|----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-----------|
| Руководитель | ППС 4 | 1 | 36800 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 71760 | 2162 | 15 | 32430 |
| Студент | ППС 1 | 1 | 9893 | 0,3 | 0,2 | 1,3 | 19291 | 529 | 49 | 25921 |
| Итого: | | | | | | | | | | 58351 |

4.5.4. Страховые отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления в этой статье производят согласно нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Отчисления считаются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{внеб}}$ - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 12- Отчисления во внебюджетные фонды каждого исполнителя работы

| Исполнитель | Основная зарплата, руб. | $Z_{\text{внеб}}$, руб. |
|--------------|-------------------------|--------------------------|
| Руководитель | 32 430 | 8 789 |
| Студент | 25 921 | 7025 |
| Итого: | | 15 814 |

4.5.5. Накладные расходы

В этой статье учитываются все затраты, не вошедшие в предыдущие статьи расходов. Определим величину накладных расходов по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

$$Z_{\text{накл}} = 19\,796 \cdot 0,16 = 6527 \text{ руб.}$$

4.5.6. Смета затрат научно- исследовательского проекта

Все расчеты, произведенные в предыдущих статьях, являются основой для формирования бюджета научно- исследовательского проекта. Определение бюджета затрат на НИИ по каждой статье приведен в таблице 13.

Таблица 13- Смета затрат НТИ

| Наименование статьи | Сумма, руб. | Примечание |
|---|-------------|---------------------------------------|
| 1. Материальные затраты НТИ | 2 338 | |
| 2. Амортизация на специальное оборудование | 3 329 | |
| 3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 58 351 | Суммарная величина обоих исполнителей |
| 4. Отчисления во внебюджетные фонды | 15 814 | Суммарная величина обоих исполнителей |
| 5. Накладные расходы | 6 527 | |
| 6. Смета затрат НТИ | 86 359 | |

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

Планирование исследовательских работ показало, что для выполнения всего исследования необходимо затратить 45 дней. Следовательно, работа может быть выполнена менее чем за 3 месяца. Наиболее продолжительным этапом является написание отчета о работе.

Бюджет данного исследования составил 86 359 рублей. Основные затраты составляют заработная плата и амортизация используемого оборудования.

Исследование довольно ресурсоэффективно, то есть с точки зрения ресурсопотребления экономически целесообразно.

Глава 5. Социальная ответственность

В любой сфере трудовой деятельности необходимо обязательно обеспечить безопасные условия труда, то есть сделать такую организацию рабочего места, при которой все опасные, вредные и угрожающие жизни факторы сводятся к минимуму.

Данный раздел подразумевает принятие проектных решений, которые исключают несчастные случаи в производстве, снижают вредное воздействие на окружающую среду, защита здоровья работников, экономичное использование невозобновимых природных ресурсов. Главная задача – опознавание основных опасностей в ходе выполнения темы научно-исследовательской работы и выбор комфортных условия труда как для лаборатории, так и для организации в целом.

Научно-исследовательская работа представляет собой процесс исследования оптических свойств оксида графена и непосредственное применение этих свойств как оценка качества степени восстановления оксида графена и его электрических свойств. Исследование оптических свойств проводится на спектрофотометре. Связь между оптическими и электрическими свойствами позволяет запустить массовое производство приборов на основе графена. Также такая методика является дешевой и технологичной по сравнению с применяющимися сейчас методами для оценки степени восстановления оксида графена (рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, рамановская спектроскопия, с помощью атомного силового микроскопа). Работа выполнялась в научном парке в офисе и лаборатории отделения материаловедения направления «Оптотехника». К приборам, используемым в ходе выполнения работы, относятся лазерная установка “MINI-MARKER 2”, Спектрофотометр “СФ 256 УВИ” и персональный компьютер.

Согласно ГОСТ 12.1.005 – 88 работа относится к разряду легких, но имеет характер высокой умственной и нервно-психологической нагрузки.

5.1. Анализ вредных и опасных производственных факторов

В этом разделе отображены все вредные и опасные факторы, способные возникнуть при разработке и эксплуатации проектируемого решения. В ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ (с измен. 1999 г.) выделяются опасные производственные факторы, которые имеют влияние на здоровье и работоспособность сотрудника.

Таблица 14- Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при выполнении научно-исследовательской работы [35].

| Наименование видов работ | Воздействующие факторы | Тип воздействия | Нормативные документы |
|--|---|-----------------|----------------------------|
| 1. Лазерное восстановление оксида графена 2. Проведение измерений на спектрометре 3. Обработка измерений (ЭВМ) | Повышенная температура поверхностей оборудования, материалов; | Опасные | ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ |
| | Отклонение показателей микроклимата | Вредные | СанПиН 2.2.4.548–96 |
| | Повышенный уровень шума и вибраций на рабочем месте | Вредные | ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ |
| | Повышенный уровень электромагнитных излучений | Вредные | СанПиН 2.2.4.1191–03. |
| | Поражение электрическим током | Опасные | ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ |
| | Недостаточная освещенность рабочей зоны | Вредные | СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 |
| | Психофизические факторы | Вредные | СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03 |

Все перечисленные факторы приводят к нарушению нормальной жизнедеятельности и работоспособности человека. Это выражается в нарушении целостности кожных покровов, утомлении, умственном перенапряжении, напряжении зрительного аппарата, усталости, болезненных ощущениях.

Соответственно, высокая производительность труда напрямую зависит от грамотной организации рабочего места и обеспечения комфортных условий труда. Только при соблюдении этих условий работник будет иметь максимальную работоспособность и, как следствие, хороший результат выполненной работы. Микроклимат, освещенность, шум, ПЭВМ и электричество являются основными характеристиками условий труда.

5.2. Производственная санитария

5.2.1. Уровень шума на рабочем месте

Производственная санитария – это система организационных мероприятий и технических средств, предотвращающих или уменьшающих воздействие на работающих опасных производственных факторов.

Шум – это, один из самых распространенных в производстве вредных факторов. Он создается непосредственно от работающих оборудования, преобразователями напряжения, а также работающими осветительными приборами. За счет шума у человека начинаются головные боли, ослабляется внимание и ухудшается память.

Согласно требованию, СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96 защита и уровень шума в помещении, в котором работает инженер-проектировщик на персональном компьютере не должно превышать 50 дБА [36]. Уровень шума в кабинете где проходило основная часть написания дипломной работы колеблется от 35 до 40 дБА. Следовательно, можно сказать, что данный кабинет соответствует требованиям.

5.2.2. Показатели микроклимата

Санитарные правила устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест, с учетом интенсивности энерготрат работающих, в зависимости от времени года, характера трудового процесса и характера производственного помещения. В зависимости от характеристик отдельных категорий работ, можно отнести работу инженера-проектировщика к категории Ib (таблица 2), к этим категориям относятся работы с интенсивностью энерготрат 140-174 ккал/ч, производимые в основном сидя и сопровождающиеся физическими напряжениями [37].

Таблица 15 – Параметры микроклимата для категории работ Ib.

| Период года | Температура в помещений, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|-----------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный | 21-23 | 60-40 | До 0,1 |
| Теплый | 22-24 | 60-40 | До 0,1 |

Параметры микроклимата в помещении, где расположено рабочее место, регулируются системой центрального отопления, естественной приточно-вытяжной вентиляцией и имеют следующие значения: относительная влажность воздуха 40-60 %, скорость движения воздуха до 0,1 м/с летом и 0,1 м / с зимой, летняя температура 23 °с зимой 23 °С, эти значения поддерживаются автоматической системой кондиционирования.

Площадь помещения, в котором выполнялась научно-исследовательская работа составляет 27 м² (ширина $a = 5,95$ м; длина $b = 4,55$ м), при высоте потолка 3,8 м, соответственно, объем равен 102,6 м³. Помещение подразумевает 5 рабочих мест, а по СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 на одного человека должны приходится площадь в 4,5 м² и объем 15 м³. Судя по

этим значениям, можно сказать, что размеры помещения и количество рабочих мест соответствуют нормам и стандартам.

Как упоминалось выше, вентиляция в помещении естественная при помощи оконных и дверного проемов. По нормам СП 60.13330.2012. объем воздуха, который требуется для одного человека без вспомогательной вентиляции, не должен быть более 40 м³, то есть необходимо сделать дополнительную вентиляцию для лучших и достаточных условий труда в данном помещении.

5.2.3. Электромагнитное излучение

Все электрические приборы, даже самые мелкие, характеризуются электромагнитным излучением. Большая часть такого излучения исходит от кабелей, системных блоков, блоков питания. К примеру, монитор компьютера включает в себя рентгеновское, ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, в том числе остальной диапазон электромагнитных волн других длин волн.

СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 содержит в себе предельно- допустимые значения напряженности электромагнитного поля: на расстоянии полуметра от установки с электромагнитным излучением напряженность не должна превышать 25 В/м от 5-2кГц и 2,5 В/м в диапазоне 2-400 кГц [38].

Основными организационными мероприятиями, которые направлены на предотвращение вредного воздействия электромагнитного излучения на организм человека, являются:

- размещение источников излучения так, чтобы минимизировалось воздействие излучения на человека и окружающую среду;
- ограниченное количество времени пребывания с излучающими приборами;
- ограничительные знаки, содержащие информацию о приборе;
- использование защитных экранов для монитора;
- регламентированные перерывы в 15 минут на каждый час работы;

В лаборатории каждый монитор и блок расположен на безопасном расстоянии от работника, так что можно сказать, что условия соответствуют требуемым нормам.

5.2.4. Освещенность в помещении

Освещение производственных помещений требует тщательного подхода, поскольку, например, при рассмотрении структуры оксида графена крайне важно иметь достаточный уровень освещенности для хорошего результата. Также достаточная освещенность служит признаком предотвращения аварийных ситуаций. Все требования к освещению производственного помещения изложены в СП 52.13330.2016 [39].

Грамотно спроектированное освещение поможет уменьшить нагрузку на органы зрения, не утомляет психологически человека, способствует высокой производительности труда.

Падающий световой поток должен быть равномерным, без пульсаций, также на уровень освещения влияет цвет и отражательная способность стен, потолков и полов. В данном помещении реализуется совместное освещение, то есть естественное, через окна и дверной проем, и искусственное. В дневное время весной и летом может быть достаточно только естественного освещения, но, учитывая географическое расположение лаборатории, в холодное время года световой день достаточно короткий, поэтому нужно иметь такие источники света, которые обеспечат достаточный уровень освещенности.

Освещенность в помещении с работой средней точности должна быть 400 Лк на рабочей поверхности согласно СанПиНу 2.2.2/2.4.1340-0. В качестве источников света выступают светодиодные источники света, которые обладают рядом преимуществ над другими типами ламп, например, они имеют высокую светоотдачу при малой мощности и большим сроком службы, а также не требуют теплового нагрева, обладают хорошим индексом цветопередачи, являются безопасными источниками света. Освещение

должно обязательно обеспечивать безопасность эксплуатации, удобство и экономичность.

5.3. Электрическая безопасность

Повышенную опасность представляют электрические сети, силовые кабели, любая электро- и радиоаппаратура. Поражение электрическим током влечет за собой большую угрозу для жизни человека. Наличие в лаборатории оборудования напряжением 220В и частотой 50 Гц уже несет потенциальную угрозу.

Существует ряд факторов, которые могут усилить или, наоборот, ослабить, степень поражения электрическим током. К примеру, при таких условиях, как повышенная влажность (более 75% относительной влажности воздуха), высокая температура (более чем 35°C), токопроводящая мебель и остальные элементы интерьера, способные соприкасаться имеющим соединение с землей металлическим элементам и корпусам электрооборудования возрастает возможность поражения электрическим током. В лаборатории, где проводилась научно-исследовательская работа такие условия отсутствуют, поэтому нет повышенной опасности, а возможность поражения током способна возникнуть только при прямом соприкосновении с токоведущими частями электроприборов, с нетоковедущими частями, но под напряжением (а также полом и стенами), при возникновении короткого замыкания в блоках питания различной аппаратуры.

Так как помещение не относится к классу опасных и особо опасных, то следует соблюдать простые меры предосторожности, которые предотвратят возникновение чрезвычайных ситуаций:

- перед началом работы проверить устойчивость и целостность выключателей и розеток;
- убедиться в отсутствии открытых токоведущих частей в помещении;
- проверить заземляющий проводник и его целостность;

- обнаружив неисправности, не следует самостоятельно пытаться их исправить, а оповестить ответственных сотрудников лаборатории;

- не загромождать рабочее пространство лишними предметами, которые могут помешать.

Еще на стадии проектирования помещения должны предусматриваться защитные меры, такие как:

- токоизоляция;
- ограждение;
- блокировка;
- установка пониженных напряжений;
- наличие электротехнических средств;
- сигнализация;
- знаки безопасности.

В обязательном порядке необходимо наличие защитного заземления, зануления и отключения [40].

5.4. Экологическая безопасность

Работа любого производства сопровождается образованием отходов, которые попадают в окружающую среду в виде выбросов в атмосферу, сбросов в водоем, твердых промышленных и бытовых отходов и мусора на поверхность и в недра Земли. Загрязнение среды обитания и образование в ней опасных зон, для которых характерны высокие концентрации токсичных веществ и повышенные уровни энергетического воздействия. Неисправные компьютеры и прочая оргтехника и является отходами при данном виде работ. Профессиональная утилизация компьютеров – это сложный, но важный процесс. Для выполнения процедуры утилизации техники существуют профессиональные фирмы, прошедшие регистрацию в Пробирной Палате [41].

5.5. Пожарная безопасность

Пожарная безопасность - это состояние защищённости человека, общества, материального имущества и государства от пожаров.

5.5.1. Оценка пожарной безопасности помещения

В зависимости от характеристик веществ, используемых в производстве и их количество, при пожаре и взрывоопасной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Д. Горючие компоненты в кабинете: мебель, двери, полы, изоляция кабелей и т. д. Источниками зажигания в шкафу могут быть электронные схемы от ПК, устройства, используемые для обслуживания устройства электроснабжение, кондиционирование воздуха, где в результате возмущения формируются перегретыми элементами, электрическими искрами и дугами, способных вызвать воспламенение горючих материалов.

Для Кабинета № 036 была установлена категория пожароопасности В [42].

Возможными причинами пожара могут быть

- короткое замыкание;
- опасная перегрузка сетей, что приводит к сильному нагреву токоведущие детали и светоизоляция;
- высокая плотность размещения электронных схем;
- нередко возникают пожары при запуске оборудования после ремонта;
- несоблюдение правил пожарной безопасности (курение в запрещенном месте, сжигание случайно брошенных матчей и т. д.). Для предотвращения пожаров от коротких замыканий и перегрузок правильный выбор, установка и соблюдение установленного режима эксплуатации электрических сетей, дисплеев и других электрических объектов автоматизации. Поэтому необходимо предусмотреть ряд профилактических мер, деятельность технического, оперативного, организационного плана.

5.5.2. Мероприятия по устранению и предупреждению пожаров

Чтобы предотвратить возникновение пожара, необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности [43]:

- предотвращать образование горючей среды (герметизирующее оборудование, управление воздушной средой, работа и аварийная вентиляция);

- применение в строительстве и отделке зданий огнестойких или сложных горючих материалов. В офисе необходимо провести следующий профилактический контроль:

- организационные мероприятия для технического процесса с учетом пожаробезопасности объекта;

- операционная деятельность с учетом существующего оборудования;

- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтаж электрооборудования и обогревателей.

Организационная мера:

- противопожарное обучение обслуживающего персонала;

- обучение персонала правилам безопасности;

- публикация инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Операционная деятельность:

- соответствие действующим стандартам оборудования;

- обеспечение свободного подхода к оборудованию;

- поддержание работоспособности изоляции токопроводящих проводников.

Техническая мера:

– соблюдение мер пожарной безопасности на устройстве электропроводка, оборудование, отопление, вентиляция и освещение.

– профилактический осмотр, ремонт и испытания оборудования. Здание должно быть оборудовано первичными средствами пожаротушения, пожарные краны, пожарная сигнализация и план эвакуации люди в огне.

5.6. Психофизиологическая безопасность

Как известно, на психическое здоровье человека влияют в равной степени как внешние условия, так и внутренние (межличностные отношения). В обязанности работодателя входит обеспечение комфортного рабочего места работника, при котором психическое напряжение сводится к минимуму. Вредными и опасными факторами являются:

- напряженность органов зрения и внимания;
- интеллектуальные и эмоциональные перегрузки;
- плохая организации рабочего места.

Таким образом, при организации плохого освещения с большой пульсацией светового потока или недостаточной освещенности может возникнуть переутомление зрительных органов, головная боль; при неудобном и неправильном рабочем месте возникает боли в теле, снижение концентрации внимания, усталость и утомляемость.

Во избежание психического переутомления необходимо установить регламентированные перерывы для отдыха органов зрения и просто смены физического положения.

Заключение

В ходе данного научного исследования было подробно изучены оптические характеристики восстановленного оксида графена и оксида графена. В ходе экспериментов было определено, что оптические свойства зависят от толщины слоя и от функциональных групп кислорода, не удаленные лазером.

В ходе работы также были получены оптимальные параметры лазерного восстановления 1Вт и 100, 60мс. Но эти параметры действуют только для этого лазера, если же восстановление будет происходить на другом лазере оптимальные параметры восстановления оксида графена будут другие. В дальнейшей работе оксид графена будет восстанавливаться другим лазером, где будет произведен перерасчет на удельную плотность мощности. На данном лазере не велся перерасчет на удельную плотность мощности, т.к. интенсивность в разных точках лазерного пятна различна и сделать такой перерасчет не является корректным.

При измерениях на спектроскопии комбинационного рассеяния обнаружено что при взаимодействии лазерного излучения с оксидом графена и пластиком образуется композит, интенсивность которого перекрывает все пики, по которым можно получить какую-либо информацию. В дальнейшей работе будет проведен анализ этого композита и причины его возникновения.

Также на образцах с наилучшим восстановлением произведено измерение сопротивления. Сопротивление колеблется в пределах от 100 до 200 кОм. В дальнейшей работе планируется получение зависимости электрической проводимости от коэффициента пропускания.

Так как подобное исследование является новым, некоторые эксперименты оказались неудачные. Но по проделанной работе можно понять, что данное исследование является перспективным и потенциально может

использоваться при изготовлении инновационных гибких электронных устройств.

Список использованной литературы

1. Алексенко А. Г. А47 Графен [Электронный ресурс] / А. Г. Алексенко. — Эл. изд. — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. — 168 с.
2. Changgu Lee, Xiaoding Wei, Jeffrey W. Kysar, James Hone. Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene.// *Science*.**321**. с. 385
3. K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva, A. A. Firsov. Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films. // *Science*.**306**. с. 666
4. Ткачев С.В., Буслаева Е.Ю., Наумкин А.В., Котова С.Л., Лауре И.В., Губин С.П. Графен, полученный восстановлением оксида графена. // *Неорганические материалы* 2012. т. 48. № 8. с. 909-915
5. Е.Д. Грайфер, В.Г. Макотченко, А.С. Назаров, С.-Дж. Ким, В.Е. Федоров, Графен: химические подходы к синтезу и модифицированию. // *Успехи химии* 2011. т. 60. №8. с. 784
6. Trzciński, K.; Rodriguez, R. D.; Schmidt, C.; Rahaman, M.; Sawczak, M.; Lisowska-Oleksiak, A.; Gasiowski, J.; Zahn, D. R., Micropatterning of BiVO₄ Thin Films Using Laser-Induced Crystallization. *Advanced Materials Interfaces* **2016**, 3 (4).\
7. The reduction of graphene oxide Songfeng Pei, Hui-Ming Cheng *// *Carbon* 2011. т. 50. с. 3210-3227.
8. Dongxing Yang , Aruna Velamakanni , Gulay Bozoklu , Sungjin Park , Meryl Stoller , Richard D. Piner , Sasha Stankovich , Inhwa Jung , Daniel A. Fieldd, Carl A. Ventrice Jr. , Rodney S. Ruoff. Chemical analysis of graphene oxide films after heat and chemical treatments by X-ray photoelectron and Micro-Raman spectroscopy// *Carbon* 2019. т. 47. с. 145-152.
9. Нефедов В.И., Вовна В.И. Электронная структура химических соединений. — М.: Наука, 1987. — 347 с.
10. Einstein A. *Ann. Phys.* — 1905. — № 17. — P 132.
11. Драго Р. Физические методы в химии. - Т. 1. - М.: Мир, 1981. - 424 с
12. Нефедов В.И. Рентгеноэлектронная спектроскопия химических соединений. – М.: Химия, 1984. 256 с.

13. Осьмушко И. С., Вовна В. И., Короченцев В. В. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия твёрдых тел: теория и практика: Учебное пособие. Владивосток: Изд-во Дальневост. Университета, 2010. 42 с.
14. C. Lai, Y. Sun, H. Yang, X. Zhang, B. Lin. \ Acta Chim. Sinica. \ 2013, 71, 1201.
15. M. Freitag. \ Nat. Phys. 2011, 7, 596.
16. S. K. Srivastava, J. Pionteck, J. Nanosci. \ Nanotechnol. \ 2015, 15, 1984.
17. Шмидт В. Оптическая спектроскопия для химиков и биологов Москва: Техносфера, 2007.- 368 с.
18. A. C. Ferrari, J. Robertson. \ Phil. Trans. R. Soc. \ London. A 2004, 362.
19. C. Thomsen, S. Reich. \ Phys. Rev. Lett. \ 2000, 85, 5214.
20. H. Wang, H. S. Casalongue, Y. Liang, H. Dai, J. Am. \ Chem. Soc. \ 2010, 132, 7472.
21. Romualdas Trusovas, Gediminas Rac̃iukaitis, Gediminas Niaura, Jurgis Barkauskas, Gintaras Valušis and Rasa Pauliukaite. Recent Advances in Laser Utilization in the Chemical Modification of Graphene Oxide and Its Applications. \ Adv. Optical Mater. \ 2016, 4, 37–65.
22. C. Gómez-Navarro, J. C. Meyer, R. S. Sundaram, A. Chuvilin, S. Kurasch, M. Burghard, K. Kern, U. Kaiser. \ Nano Lett. \ 2010, 10, 1144.
23. [Электронный ресурс] [URL: http://ligis.ru/tech_52.htm](http://ligis.ru/tech_52.htm), свободный доступ- Яз. рус. Дата обращения 18.04.2018 г.
24. I. Jung, D.A. Field, N.J. Clark, Y. Zhu, D. Yang, R. D. Piner, S. Stankovich, D. A. Dikin, H. Geisler, C.A. Ventrice, R.S. Ruoff . \ J. Phys. Chem. \ 2009, 113, 18480.
25. D. Yang, A. Velamakanni, G. Bozoklu, S. Park, M. Stoller, R.D. Piner, S. Stankovich, I. Jung, D.A. Field, C.A. Ventrice Jr., R.S. Ruoff. \ Carbon. \ 2009, 47, 145.
26. J. Guerrero-Contreras, F. Caballero-Briones. \ Mater. Chem. Phys. \ 2015, 153, 209.

27. Z. Lin, Y. Yao, Z. Li, Y. Liu, Z. Li, C.P. Wong. \ J. Phys. Chem. \ 2010, 114, 14819.
28. J. Таус, R. Grigorovici, A. Vancu. \ Phys. Stat. Sol. \ 1966, 15, 627.
29. A. Mathkar, D. Tozier, P. Cox, P. Ong, C. Galande, K. Balakrishnan, A.L.M. Reddy, P.M. Ajayan. \ J. Phys. Chem. Lett. \ 2012, 3, 986.
30. Д. Джадд, Г. Вышецки. \ Цвет в науке и технике. \ изд. Мир, Москва. \ 1978. стр. 124
31. Hummers W.S., Offeman R.E. \ Preparation of graphitic oxide \ J. Am. Chem. Soc. \ 1958. V. 80. № 6. P. 1339–1339.
32. Petit C., Seredych M., Bandoz T.J. \ Revisiting the chemistry of graphite oxide and its effect on ammonia adsorption \ J. Mater. Chem. \ 2009. V. 19. P. 9176–9185.
33. Прибор «DXR2xi Raman» [Электронный ресурс] URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/70005-17-dxr2-smartraman-dxr2-raman-microscope-dxr2xi-raman-imaging-microscope-i-ixr-raman-79421>, свободный доступ- Яз. рус. Дата обращения 18.04.2018 г.
34. Прибор Agilent Cary 630 [Электронный ресурс] URL: http://www.millab.ru/equipments/3009_ftir-spektrometry-agilent-cary-630/, свободный доступ- Яз. Рус. Дата обращения 12.04.2018 г.
35. Прибор MicroXAM-100 [Электронный ресурс] URL: <https://www.intertechcorp.ru/aboutproduct.asp?gr=21&prid=195&subgr=71>, свободный доступ- Яз. Рус. Дата обращения 02.05.2018 г.
36. Прибор Hitachi S4700 / EDAX [Электронный ресурс] URL: <http://www.inrf.uci.edu/facility/equipment/characterization/sem-hitachi-4700-edax/>, свободный доступ- Яз. Англ. Дата обращения 06.05.2018 г.
37. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные факторы. Классификация.
38. СП 51.13330.2011. Защита от шума

39. СанПиН 2.2.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
40. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона.
41. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.
42. ПУЭ (Правила устройства электроустановок), 2000.
43. Долин П.А. Основы техники безопасности в электрических установках. – М.: Энергия, 1990. – 312 с.
44. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
45. Правила пожарной безопасности ППБ 01-03.