



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА

Тема работы	
Импульсный плазмохимический синтез наноразмерных композитов	

УДК 621.763:544.556.1

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ	Холодная Г.Е.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кащук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Сечин А.А.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н.		

Компетенции выпускников ООП «Пучковые и плазменные технологии» по направлению
 16.04.01 Техническая физика (2021 года приёма)

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способен к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов в своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен использовать углубленные теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе технической физики
ОПК(У)-3	Способен работать в научном коллективе, готов генерировать, оценивать и использовать новые идеи, способен находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач
ОПК(У)-4	Способен вскрывать физическую, естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе осуществления профессиональной деятельности, проводить их качественный и количественный анализ
ОПК(У)-5	Способен осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, участвовать в научной и инновационной деятельности
ОПК(У)-6	Способен осваивать и применять современные физико-математические методы и методы искусственного интеллекта для решения профессиональных задач, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов
ОПК(У)-7	Способен представлять результаты исследования в формах отчетов, рефератов, публикаций и презентаций
ОПК(У)-8	Способен проводить патентные исследования, определять формы и методы правовой охраны и защиты прав на результаты интеллектуальной деятельности.
ПК(У)-1	Способен самостоятельно проводить научные исследования в областях,

Код компетенции	Наименование компетенции
	связанных с применением пучковых и плазменных технологий, с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств
ПК(У)-2	Способен к организации и выполнению научно-исследовательских разработок в области создания функциональных покрытий и технологий их изготовления методами осаждения в вакууме
ПК(У)-3	Способен к организации и выполнению научно-исследовательских разработок в области создания микро- и наноразмерных систем с использованием плазменных и пучковых технологий
ПК(У)-4	Готов принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе по направлению «Техническая физика», участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов
ПК(У)-5	Способен проводить учебные занятия, лабораторные работы, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся
ПК(У)-6	Способен применять и разрабатывать новые образовательные технологии
ПК(У)-7	Способен разрабатывать, оптимизировать и реализовывать современные наукоёмкие технологии в областях технической физики, связанных с применением пучковых и плазменных технологий
ПК(У)-8	Способен разрабатывать, проводить наладку и испытания, а также эксплуатировать наукоемкое технологическое и аналитическое оборудование для решения технологических задач в областях, связанных с применением пучковых и плазменных технологий
ПК(У)-9	Готов решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи, связанные с применением пучковых и плазменных технологий, с помощью стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
06.02.2023 г. Сиделёв Д.В.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна

Тема работы:

Импульсный плазмохимический синтез наноразмерных композитов	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №34-110/с от 03.02.2023 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2023 г.
--	---------------

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 – импульсный плазмохимический синтез наноразмерного композита $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор литературных источников с целью выяснения основных методов синтеза нанопорошков и определения достижений мировой науки и техники в области их получения и применения; 2. Постановка цели и задач научного исследования; 3. Описание экспериментальной установки и методов анализа нанопорошков 4. Получение нанокompозита $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$ импульсным плазмохимическим методом и его характеристика 5. Обсуждение результатов проведенных исследований; 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение; 7. Социальная ответственность; 8. Заключение по проделанной работе.
<p>Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500 (блок-схема ускорителя, схема плазмохимического реактора, параметры ускорителя); 2. Схемы получения нанокompозита $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$ в 1 и 2 этапах синтеза; 3. Концентрации исходных реагентов композита $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$; 4. Методы исследования нанокompозитных порошков; 5. ПЭМ-изображения образцов $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$; 6. Микродифрактограммы $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$; 7. РФА и EDX анализ $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$; 8. Заключение.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В., к.т.н, доцент отделения социально-гуманитарных наук.
Социальная ответственность	Сечин А.А., к.т.н., доцент отделения общетехнических дисциплин..
Иностранный язык	Матвеевко И.А., д.фил.наук, профессор отделения иностранных языков.
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2023 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ	Холодная Г.Е.	к.т.н.		06.02.23 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна		06.02.23 г.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б.П. Вейнберга
Уровень образования	магистр	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления во внебюджетные фонды 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ конкурентных технических решений (НИ)	Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)	Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования
3. Составление бюджета инженерного проекта (НИ)	Расчет бюджетной стоимости НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ)	Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.

Перечень графического материала

1. Оценка конкурентоспособности ИР
2. Матрица SWOT
3. Диаграмма Ганта
4. Бюджет НИ
5. Основные показатели эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.03.2023 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кащук И.В.	к.т.н		13.03.2023 г.

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна		13.03.2023 г.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
ОДМ11		Салхаева Сания Сайрановна	
Школа	Инженерная школа ядерных технологий	Отделение (НОЦ)	НОЦ Б.П. ВЕЙНБЕРГА
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

Тема ВКР:

Импульсный плазмохимический синтез наноразмерных композитов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения; – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования:</i> порошок $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$.</p> <p><i>Область применения:</i> оптика и микроэлектроника.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> производственное помещение площадью 31,4 м², 1 этаж, без окон.</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное.</p> <p>ПНД Ф 12.13.1-03. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</p> <p>ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация</p> <p>ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума.</p> <p>СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95</p> <p>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p> <p>СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. НРБ-99/2009.</p> <p>ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность</p> <p>ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность</p> <p>ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования</p>
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов; – Расчет уровня опасного или 	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Недостаток необходимого искусственного освещения; 2. Отсутствие естественного освещения; 3. Повышение уровня шума; 4. Повышенная пожаро- и взрывоопасность;

<p>вредного фактора</p> <p>производственного</p>	<p>5. Химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях</p> <p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Производственные факторы, связанные с повышенным уровнем ионизирующих излучений; 2. Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов. 3. Факторы, несущие вред здоровью при работе с химикатами. <p>Расчет: расчет системы искусственного освещения.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения</p>	<p>Воздействие на литосферу: производственные отходы; отработанное масло.</p> <p>Воздействие на гидросферу: воздействие отсутствует.</p> <p>Воздействие на атмосферу: выброс газа.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения</p>	<p>Возможные ЧС:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. короткое замыкание в силовых цепях питания оборудования; 2. деструкция плазмохимического реактора (возникает опасность взрыва); 3. пролив химических реактивов при подготовке к эксперименту; 4. отключение подачи холодной воды <p>Наиболее типичная ЧС: пожар.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	
<p>13.03.2023</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		13.03.2023 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна		13.03.2023

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 116 страниц, включающие 32 рисунка, 26 таблиц, 34 формулы, 79 источников литературы и 1 приложение.

Ключевые слова: нанокompозит $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$, импульсный плазмохимический синтез, электронный пучок.

Объект исследования – импульсный плазмохимический синтез наноразмерного композита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$.

В данной работе рассмотрен нанокompозит $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$, широко известный своими каталитическими свойствами. Изучены методы получения данного нанокompозитного порошка. Экспериментальным путем с помощью импульсного плазмохимического метода данный нанокompозит синтезирован и с помощью методик рентгенофазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии изучены физико-химические свойства полученных нанопорошков.

В результате работы были получены образцы нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ средним геометрическим размером крупных частиц более 150 нм и оболочками 2 образца, состоящих из частиц средним размером 10-20 нм.

Область применения данного нанокompозита: в микроэлектронике для солнечных батареек, сенсорных датчиков; в промышленной сфере в качестве материала для многофункциональной защитной обработки строительных камней.

Обозначения, сокращения

PVD – Physical Vapor Deposition

CVD – Chemical vapor deposition

ПЭМ – Просвечивающая электронная микроскопия

РФА – Рентгенофазовый анализ

ГИН – Генератор импульсных напряжений

ДФЛ – Двойная формирующая линия

ПХР – Плазмохимический реактор

СНиП – Строительные нормы и правила

ЧС – Чрезвычайная ситуация

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	14
1 Нанокompозиты. Методы получения и исследования	15
1.1 Определения, свойства и области применения исходных реагентов.....	15
1.2 Методы получения наноразмерных композитов	17
1.2.1 Электрофизические методы получения нанокompозитов	18
1.2.1.1 Метод получения конденсацией из газового состояния (PVD, CVD)	18
1.2.1.2 Плазмохимический синтез	21
1.2.2 Химические методы получения нанокompозитов.....	25
1.2.2.1 Золь-гель метод.....	25
1.2.2.2 Высокотемпературный пиролиз	28
1.3 Экспериментальная установка ТЭУ-500.....	29
1.3.1 Установка и принцип работы импульсного ускорителя ТЭУ-500.....	29
1.3.2 Плазмохимический реактор	37
1.4 Методы исследования нанопорошков.....	38
1.4.1 Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ).....	38
1.4.2 Энергодисперсионный рентгеновский анализ EDX метод	41
1.4.3 Рентгенофазовый анализ (РФА)	42
Выводы по Главе 1 Нанокompозиты. Методы получения и исследования.....	44
2 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения	46
2.1 Процесс плазмохимического синтеза.....	46
2.2 ПЭМ анализ полученных порошков $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$	49
2.3 EDX анализ композиционных порошков $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$	51
2.4 Рентгенофазовый анализ полученных образцов	53
Выводы по Главе 2 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения	54
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	56

3.1	Оценка коммерческого и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	56
3.1.1	Анализ конкурентных технических решений	56
3.1.2	SWOT – анализ	59
3.2	Планирование проекта	65
3.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	65
3.2.2	Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения.....	66
3.3	Бюджет проекта	71
3.3.1	Прямые материальные затраты.....	71
3.3.2	Расчет амортизации специального оборудования	73
3.3.3	Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы.....	73
3.3.4	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	75
3.3.5	Накладные расходы.....	76
3.4	Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности	77
	Выводы по Главе 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	79
4	Социальная ответственность	81
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	81
4.2	Производственная безопасность.....	82
4.2.1	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	83
4.3	Экологическая безопасность	92
4.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	94
	Выводы по Главе 4 Социальная ответственность.....	95
	Заключение	97
	Список использованных источников.....	98
	Приложение А.....	106

Введение

Нanomатериалы конструкционного и функционального назначения на сегодняшний день являются одной из наиболее востребованных областей нанотехнологии для решения различных проблем индустрии [1-3]. Основные материалы данного класса - металлические, керамические, полимерные и композиционные. Ежегодно возрастающий интерес, проявляемый к нанокomпозитам, вызван как поиском новых материалов для практических применений, так и фундаментальными вопросами, касающимися изменений свойств материалов при их уменьшении до наноразмерной области [4-6]. К настоящему времени опубликованы работы [7-9], посвященные получению нанокomпозитных материалов импульсным плазмохимическим методом. Порошки CuO@TiO_2 в настоящее время нашли применение в качестве солнечных батареек, сенсорных датчиков [10-18], когда как нанокomпозиты CuO@SiO_2 были использованы в качестве катализаторов [19], а также многофункциональной защитной обработки строительных камней [20]. Порошки получены за один импульс и при невысоких температурах (до 70 °C). Импульсный плазмохимический метод синтеза также показал свое преимущество в универсальности оборудования и в отсутствии необходимости закалки синтезируемых нанокomпозитов.

В диссертационной работе импульсным плазмохимическим методом необходимо было получить порошок $\text{Cu}_x\text{O}_y\text{@SiO}_2\text{@TiO}_2$, исследовать морфологические свойства полученного материала, а также провести РФА и EDX анализы.

1 Нанокompозиты. Методы получения и исследования

1.1 Определения, свойства и области применения исходных реагентов

Нанокompозит представляет собой многофазный материал, в котором, в отличие от микрокомпозитов, одна из фаз имеет один, два или три размера менее 100 нм, либо фазы композита имеют наноразмерные расстояния между собой [21].

Оксид меди (CuO) более известен как черный порошок с температурой плавления 1201 °С. Встречается в природе в минералах тенорита и куприта. Это один из первых красителей, используемых гончарами. Оксиды меди используются для получения сине-серого цвета в 50% смеси с фриттой, зеленого цвета при окислительном обжиге до 5%, где они приближаются к черному, и ярко-красного цвета при восстановительном обжиге. Его можно использовать для смывки и нанесения кистью на бисквитную посуду, с эмалевыми фриттами для повышения адгезии глазури. При использовании в качестве флюса оксид меди может снизить температуру плавления, необходимую для повышения текучести расплава глазури. Помимо вышеупомянутого использования для получения умеренного синего цвета, его можно использовать в качестве мгновенного порошкового окислителя из-за его быстрой реакции с магнием, алюминием или их комбинацией, порошком магналия. При использовании в термитной реакции он быстро реагирует с образованием большого количества расплавленного металлического меди, который, как известно, испускает капли расплавленного металла, и с ним следует обращаться с особой осторожностью. Используется для сварки толстых медных проводов в электрических соединениях. Иногда его используют в фейерверках для создания эффекта стробоскопа или потрескивания звезд. В последнее время многие исследователи представили получение различных структур ядро-оболочка на основе углерода, таких как CuO@углерод, CuO@УНТ и CuO@графен [22-23].

Тетрахлорид кремния (SiCl_4) представляет собой бесцветную дымящуюся жидкость с резким запахом, замерзающую при -70°C . Разлагается водой до соляной кислоты с выделением тепла. В присутствии влаги вызывает коррозию металлов и тканей. Тетрахлорид кремния энергично реагирует с водой с образованием газообразного HCl . Исходя из сценария, когда химическое вещество проливается в избыток воды (по крайней мере, в 5 раз больше воды), половина максимального теоретического выхода газообразного хлороводорода будет создана за 0,38 минуты [24]. Тетрахлорид кремния является побочным продуктом производства поликремния, ключевого компонента светоотражающих пластин в солнечных энергетических панелях, и на каждую тонну произведенного поликремния образуется не менее четырех тонн жидких отходов тетрахлорида кремния. Используется в производстве полупроводникового кремния, а также в качестве исходного материала при синтезе силикагеля, кремниевых эфиров, связующего для керамических материалов.

Тетрахлорид титана представляет собой жидкость от бесцветного до бледно-желтого цвета с сильным проникающим запахом, который является наиболее токсичным из соединений титана. Он имеет молекулярную формулу TiCl_4 и молекулярную массу 189,7 г/моль. Он очень агрессивен и нестабилен и подвергается быстрому гидролизу в результате активной экзотермической реакции с выделением большого количества тепла и продуктов гидролиза, таких как соляная кислота и другие соединения титана, включая гидроксид титана, оксихлорид титана и диоксид титана. Тетрахлорид титана является сильно разъедающим, острым раздражителем кожи, глаз, слизистых оболочек и дыхательных путей, который может быть смертельным или может привести к необратимым травмам из-за острого или хронического воздействия, возникающего при нормальном использовании. Он используется для получения металлического титана и других титансодержащих соединений, таких как диоксид титана, который используется в качестве белого пигмента в красках и других изделиях, а также для производства других химических веществ.

Молекулярный газообразный водород, или H_2 , является основной формой, в которой встречается водород. Молекула водорода содержит два протона и два электрона, что делает ее нейтрально заряженной молекулой. Это бесцветный, не имеющий запаха и вкуса, неметаллический легко воспламеняющийся газ и очень взрывоопасный при концентрации выше 4,6 % по объему. Он легче воздуха и нерастворим в воде и имеет атомную массу 1,008 а.е.м. и энтальпию ионизации $1312 \text{ кДж моль}^{-1}$. Водород находит разнообразное применение благодаря своей двойственной природе. Ниже приведены некоторые важные области применения водорода:

- Водород используется в синтезе аммиака и производстве азотных удобрений.
- Гидрогенизация ненасыщенных растительных масел для производства ванапатного жира.
- Он используется в производстве многих органических соединений, например, метанола.

Кислород (O_2) является членом группы халькогенов в периодической таблице. Это важный элемент в большинстве процессов горения и один из самых распространенных элементов в земной коре. Кислород представляет собой бесцветный газ без запаха и вкуса, в лабораторных условиях практически нерастворим в воде немного тяжелее воздуха. Под высоким давлением и низкой температурой кислород можно перевести в жидкое состояние, который будет иметь слегка голубоватый цвет [25].

1.2 Методы получения наноразмерных композитов

Методы получения наноразмерных композитов, в зависимости от природы протекающих процессов, подразделяются на два, физические и химические. Среди физических газофазных методов часто используемыми являются конденсация из газового состояния (PVD, CVD) и плазмохимический

синтез [26]. В основе химических методов лежат золь-гель метод и метод высокотемпературного пиролиза и т.д. [27]. В физических методах легче управлять размером и формой частиц, а химические методы более универсальны и производительны [28]. Далее подробнее рассмотрим ныне существующие методы получения нанопорошков.

1.2.1 Электрофизические методы получения наноматериалов

1.2.1.1 Метод получения конденсацией из газового состояния (PVD, CVD)

PVD метод

Метод PVD представляет собой совокупность процедур, регулярно используемых для создания нанопорошков и нанесения тонких слоев материала, обычно в диапазоне от нескольких нанометров до многих микрометров. PVD — это экологически безопасный вакуумный метод показаний, состоящий из трех основных этапов: (1) испарения материала из сильного источника, (2) транспортировки дезинтегрированного материала и (3) зародышеобразования и проявления для создания тонких пленок. В методе PVD обычно используются методы распыления, электронно-лучевого испарения, импульсного лазерного осаждения и вакуумной дуги. Данные методы позволяют получать кластеры с максимально быстрой скоростью из-за быстрой потери скорости атомов испаряемого материала при столкновении с атомами газа [29]. На рисунке 1 приведена схема получения нанопорошка.

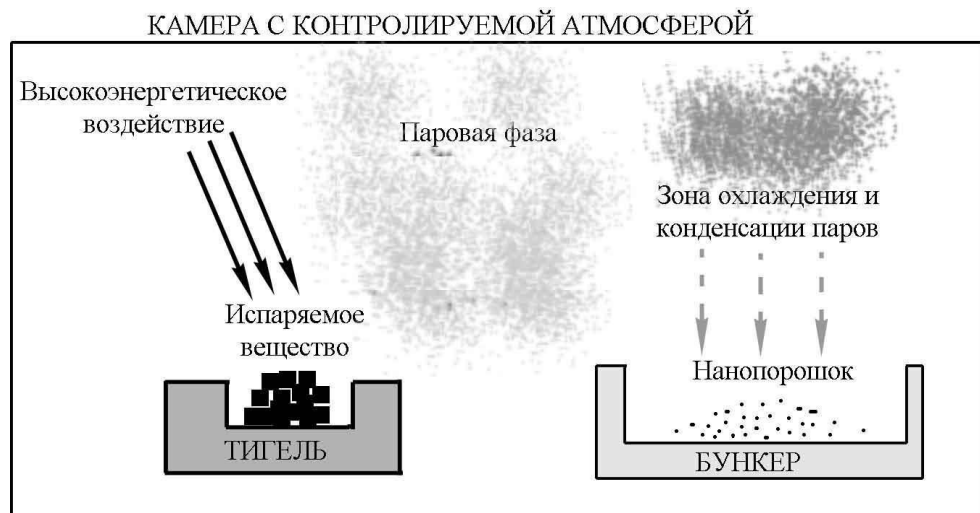


Рисунок 1 – Пример получения нанопорошка методом испарения [30]

Размеры изготавливаемых нанопорошков могут быть от 5 нм до 100 нм. Образование порошка происходит за счет охлаждения паровоздушной смеси в конденсационной области, а низкое давление газа инициирует быстрое охлаждение. Внутренняя граница области конденсации находится рядом с испарением, а внешняя может выйти за рамки реактора ввиду снижения давления газа [30].

В работе [31] композитные солнечные элементы из CuO@TiO_2 были изготовлены с использованием метода реактивного магнетронного распыления постоянным током. Было проанализировано влияние времени осаждения верхнего контактного слоя Cu на структурные и электрические свойства фотогальванических устройств. Электрические измерения показывают, что даже небольшое изменение параметров обработки приводит к резкому изменению электрических свойств. По данным рентгеноструктурного анализа солнечные элементы наблюдались в кубической (Cu_2O), моноклинной (CuO) и Ti_3O_5 фазах. Толщины слоев диоксида титана и оксида меди находились в пределах 43–55 нм и 806–1223 нм соответственно (рисунок 2).

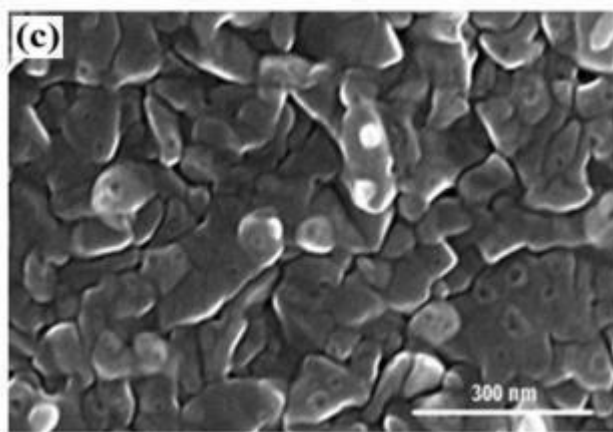


Рисунок 2 – СЭМ изображение композита CuO@TiO₂ [31]

CVD метод

В работе [32] нанокompозиты CuO@TiO₂ были синтезированы на подложках Al₂O₃ новым методом химического осаждения из газовой фазы (CVD), основанным на последовательном выращивании матриц CuO (550 °C) и сверхдисперсии TiO₂ (400°C), оба процесса проводились в атмосфере O₂ + H₂O (рисунок 3).

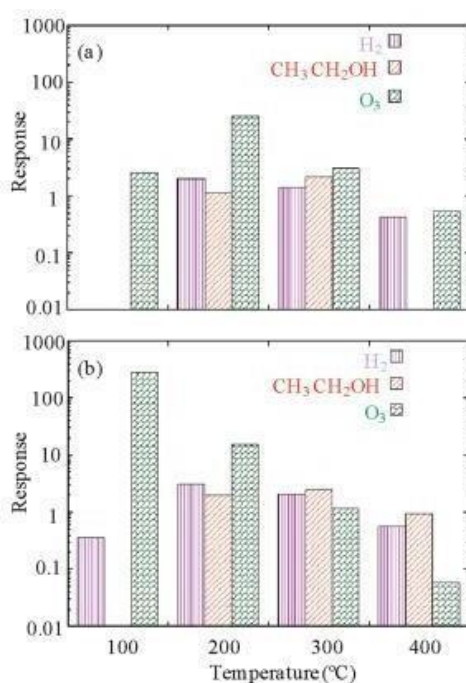


Рисунок 3 – Отклики в зависимости от рабочей температуры датчиков CuO@TiO₂ (а) и CuO@TiO₂@Au (б) в отношении выбранных концентраций [32]

Полученные материалы на подложке впоследствии были функционализированы наночастицами золота посредством радиочастотного распыления. Структура системы, nanoорганизация и химический состав были охарактеризованы с помощью мультитехнического подхода с использованием дифракции рентгеновских лучей со скользящим падением, сканирующей электронной микроскопии с полевой эмиссией, атомно-силовой микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии и определения массы вторичных ионов спектрометрия. Впервые наносистемы CuO@TiO_2 и $\text{CuO@TiO}_2\text{@Au}$ были протестированы в качестве резистивных газовых датчиков токсичных и легковоспламеняющихся газов ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, H_2 и O_3), показав привлекательные характеристики даже при умеренных рабочих температурах.

1.2.1.2 Плазмохимический синтез

Существует множество плазменных методов синтеза наноструктур, например, плазмохимический метод осаждения из паровой фазы, метод катодно-дугового осаждения, плазменно-струйный метод, метод ионного распыления и т.д. Каждый из перечисленных методов может быть организован различными способами, и каждый метод подходит для создания определенных наноструктур [33-34].

Плазмохимическим методом можно получить множество нанопорошков тугоплавких соединений. Одним из преимуществ этого метода является возможность получения различных неоксидных соединений и их композитов, что не всегда возможно другими методами.

Плазмохимическое осаждение из паровой фазы может быть использовано для синтеза тонких наноразмерных пленок. В этом случае пленки формируются из материала в газообразном состоянии, который переходит в твердое состояние на подложке. Как правило, эти процессы протекают в герметичных камерах при низких давлениях. Электрические разряды, используемые в этом процессе, могут быть постоянного тока, переменного тока, а также высокочастотного диапазона. В дополнение к электрическим разрядам можно использовать микроволновую плазму. Этот процесс может быть дополнен лазерным излучением. Подложка, на которую наносятся пленки, может иметь нагревательный элемент для поддержания определенной температуры. Существуют компьютеризированные системы, которые способны наносить пленки с заданным составом, соответственно, и свойствами в автоматизированном режиме методом плазмохимического осаждения из паровой фазы, а также проведение экспериментов и сохранение режимов работы, все это обеспечивает высокую повторяемость результатов.

Электрический разряд, примененный к газам, генерирует множество короткоживущих, но очень реакционноспособных частиц, таких как радикалы, атомы и колебательно-возбужденные молекулы, которые легче реагируют при более низких температурах. Эта функция позволяет использовать различные и альтернативные пути химических реакций, делая возможными реакции при более низких температурах, что невозможно при традиционной термической или каталитической активации реакций. Особенности плазмы позволяют значительно интенсифицировать химические процессы, существенно повышая термический КПД, и часто успешно стимулировать химические реакции, невозможные в обычной термохимии. Кроме того, при размещении катализаторов в плазме ожидаются синергетические эффекты в химическом синтезе, т. е. объединенная скорость реакции с использованием плазмы и катализа выше, чем сумма скоростей реакции каждого отдельного подхода [35]. В работе [36] наноккомпозит $Cu_xO_y@TiO_2$ был синтезирован импульсным плазмохимическим методом.

Была подтверждена зависимость среднего

геометрического размера, морфологии и фазового состава композита от молярного соотношения реагентов в исходной смеси, такой как реакционная камера. Морфология из частиц нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2$ со структурой ядро/оболочка были преобразованы в сферические частицы с однородной пористой структурой. Фазовый состав с преобладающей рутиловой фазой трансформировался в смесь нескольких кристаллических фаз (анатаз, рутил, хлорид меди) (рисунок 4).

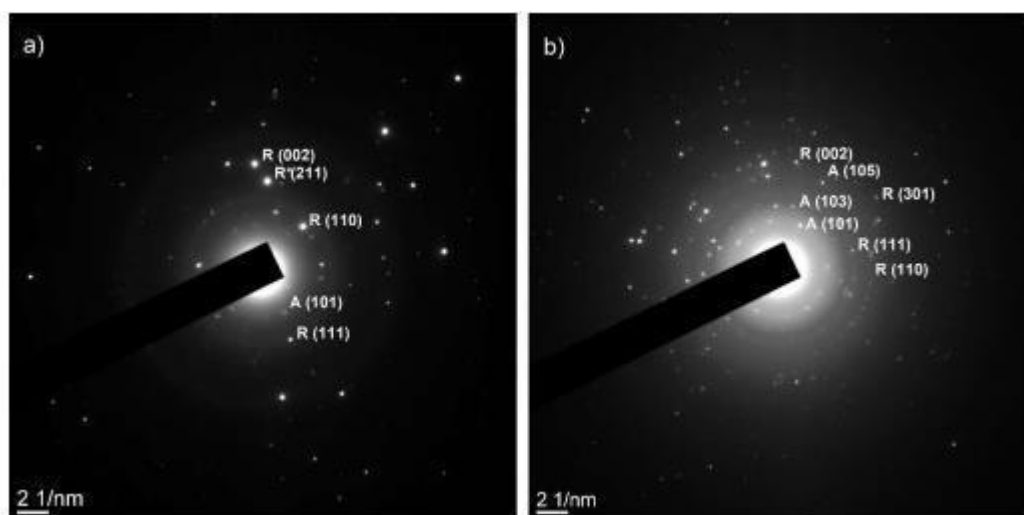


Рисунок 4 – Микродиффракционные картины образцов 1 (а) и 4 (б) нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2$ [36].

В исследовании [37] наноразмерные порошки получали путем выпаривания крупнозернистых порошков химических элементов с последующей их конденсацией в азотной плазме. Экспериментальная установка (рисунок 5) состоит из генератора радиочастоты (5,28 МГц) максимальной мощностью 100 кВт, кварцевой разрядной трубки с индукционной катушкой, систем подачи сырого порошка и газа, реактора и теплообменника из нержавеющей стали с водяным охлаждением и тканевого фильтра для сбора порошка.

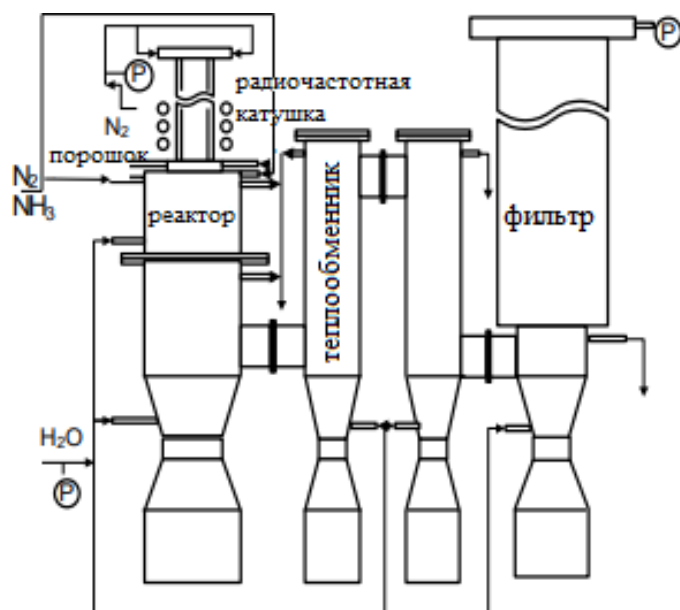


Рисунок 5 – Схематический вид плазменного аппарата [37]

Расход плазмообразующего газа (азота) составляет 7,2-8,0 м³/ч, скорость подачи сырьевых порошков - 0,6-1,8 кг/ч. Рассчитанные фракции необработанных порошков химических элементов, а также некоторых оксидов предварительно смешивают и вводят в хвост плазмы через 4 или 8 трубок с помощью газа-носителя. Условия впрыска и размер частиц определяются теоретическими расчетами и предварительными экспериментами. Полного испарения необработанных порошков можно достичь, изменяя размер частиц и скорость их впрыска, скорость подачи, скорость плазмы и температуру [38]. Образование продуктов, размер их частиц, химический и фазовый состав контролируются введением холодного азота, аммиака и углеводорода в реакционную камеру. Методом плазмохимического синтеза было получено множество нанопорошков тугоплавких соединений и их композиций (рисунок 6).

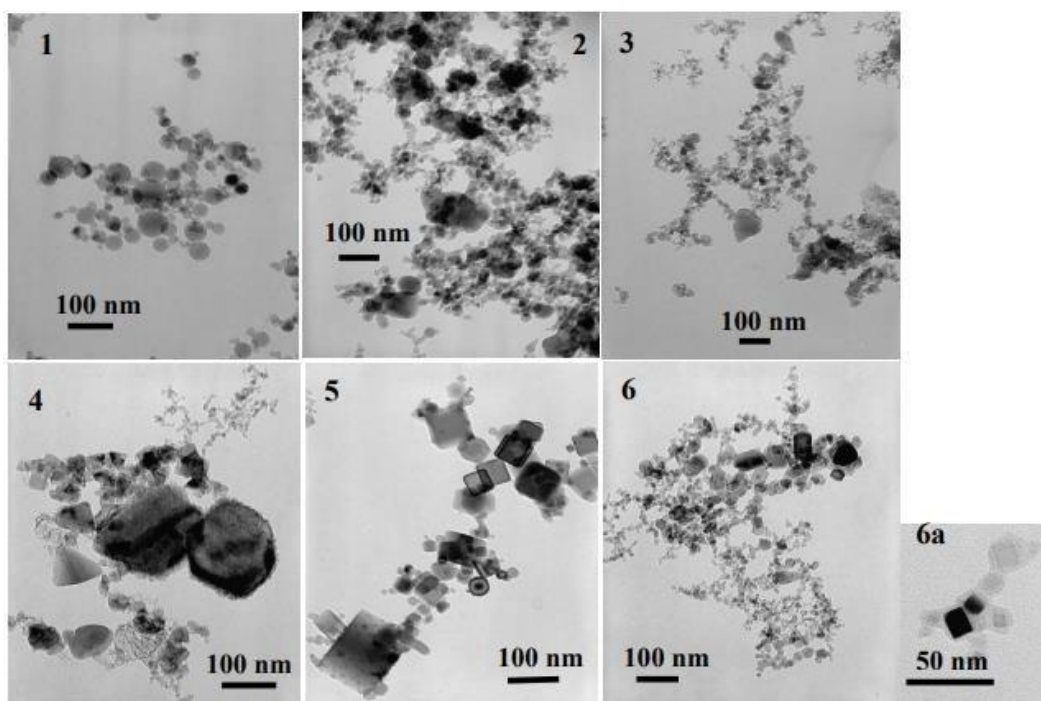


Рисунок 6 – Характерная форма частиц нанопорошков: 1 – Al_2O_3 ; 2 – $\text{Si}_3\text{N}_4@6\text{Y}_2\text{O}_3@3\text{Al}_2\text{O}_3$; 3 – β -сиалон; 4 – Si_3N_4 -80 мас.% SiC; 5 – олово; 6 – $\text{Si}_3\text{N}_4@ \text{TiN}$ [38].

Этот способ получения нанопорошков подходит для получения соединений с широким спектром химического состава, например, $\text{TiN} \dots \text{TiN}_{0,3}\text{C}_{0,7}$, $\text{NbN} \dots \text{NbN}_{0,1}\text{C}_{0,9}$, $\text{Si}_3\text{N}_4 \dots 10$ мас. % Si_3N_4 – 90 мас. % SiC, Si_3N_4 с изменяемым количеством и составом из оксидов в качестве присадок для спекания, сплавов изменяемого состава и т.д.

1.2.2 Химические методы получения наноматериалов

1.2.2.1 Золь-гель метод

Золь-гель метод основан на принципе перехода материалов из фазы раствора или золя в студенистую или гелевую фазу. Это процесс образования оксидной сетки посредством реакции поликонденсации в фазе раствора. Золь-гель процесс, один из восходящих подходов, уже много лет используется для производства оксидов металлов и керамических порошков высокой чистоты и

высокой однородности. Кроме того, этот метод подходит для синтеза композиционного нанопорошка, генерации оксидных наночастиц и производства неорганических-органических гибридных материалов. [39-41]. Конечно, существуют и другие методы, такие как плазменный метод и электрохимические методы, которые позволяют синтезировать изделия из сплавов за одну стадию, но их основным отличием от золь-гель-метода является промышленный масштаб [42-43].

Золь-гель метод полезен для синтеза только оксидов металлов из-за наличия связей металл-кислород в предшественнике алкоксида, и полученные гели в основном представляют собой гидроксиды или оксиды металлов. Когда дело доходит до получения наночастиц оксидов металлов, этот метод имеет ряд существенных преимуществ перед другими. Среди них получение порошков высокой чистоты в результате гомогенного молекулярного смешения сырьевых компонентов и крупномасштабное промышленное производство нанопорошков. Помимо этого, к основным преимуществам можно отнести:

- синтез наночастиц оксидов металлов;
- экономичность и высокий контроль химического состава продукта;
- продукты синтеза с высокой степенью чистоты;
- возможность производить тонкие слои аморфных материалов с

использованием этого подхода;

- покрытие поверхности;
- производство оптических компонентов геометрической формы;
- золь-гель метод можно использовать в качестве формовочной

массы при производстве керамики и в качестве переходного слоя между тонкими пленками оксидов металлов в различных областях применения.

Недостатком золь-гель метода является высокая стоимость реагентов алкоксидов.

На рисунке 7 показан обзор различных стадий золь-гель процесса от реагента до аэрогеля. Для синтеза бинарных или третичных гибридных систем используется смесь солей с различным химическим составом [44-45].

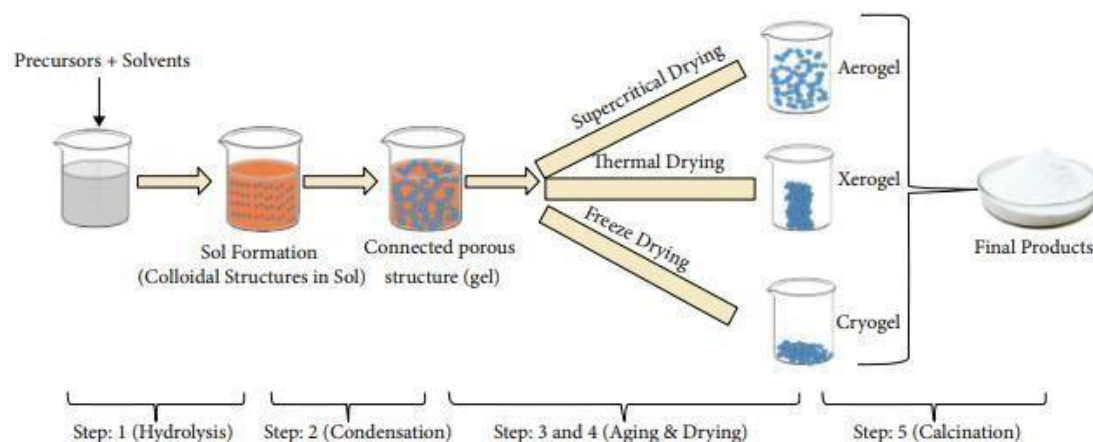


Рисунок 7 – Схема различных стадий золь-гель процесса: от реагента до аэрогеля (1-5) [46]

В первом способе гель после изготовления помещают в атмосферу для самопроизвольного высыхания. Гель, полученный таким способом, называется ксерогелем. Во втором методе, называемом сверхкритическим методом, изменения в сплошной сети сводятся к минимуму. материал, полученный этим способом, имеет пористые сетки и низкую прочность и является “полым” по форме. Этот продукт называется аэрогель. И, в третьем способе, путем сублимационной сушки получали смесь криогеля.

Следует отметить, что, контролируя условия сушки геля, можно добиться наноразмерной пористости [47]. В золь-гель процессе превращение золя в гель обычно осуществляется путем изменения pH или концентрации раствора. Основными преимуществами золь-гель процесса являются высокая чистота продукта, узкое распределение частиц по размерам и достижение однородной наноструктуры при низких температурах. Этот метод обычно используется для синтеза наноксидов металлов.

В работе [48] нанокompозитные порошки CuO@TiO_2 готовили золь-гель методом с использованием $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$ и $(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_4\text{Ti}$ в качестве

реагентов. Характеристики порошков исследованы методами дифференциального термического и термогравиметрического анализа, фурье-преобразования в инфракрасном спектре, рентгеновской дифракции и просвечивающей электронной микроскопии. Результат эксперимента показал, что средний размер зерна CuO@TiO_2 после термообработки составил около 40 нм. Температура кристаллизации и температура фазового превращения TiO_2 постепенно снижались с увеличением содержания CuO , соответственно уменьшалась добавка и агрегация нанопорошков.

Композиты CuO@SiO_2 в работе [49] синтезировались золь-гель методом для их потенциального каталитического и фотокаталитического применения. Из смеси тетраэтилортосиликата и раствора аммиака получали гель голубого цвета, который отделяли от смеси, промывали и выдерживали в растворе воды и этанола. После сушки геля в печи при $100\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 6 часов и прокаливании при $600\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 3 часов образовывался нанокompозит CuO@SiO_2 . Геометрические расчеты показали средний размер частиц 16 нм, а испытания на фотокаталитическое разложение показало, что частицы CuO и их нанокompозиты на основе диоксида кремния могут быть многообещающими кандидатами для удаления широкого спектра органических загрязнителей и устойчивых к лекарствам патогенов.

1.2.2.2 Высокотемпературный пиролиз

В работе [50] получили частицы CuO сферической формы со средним диаметром 0,5 – 2 мкм, используя добавки в растворе предшественника в двухэтапном процессе, который включает приготовление полуфабрикатов путем пиролиза ультразвуковым распылением при $500\text{ }^\circ\text{C}$ в атмосфере воздуха, а затем их прокаливание при температуре от 400 до $900\text{ }^\circ\text{C}$. Было показано, что температура прокаливания сильно влияет на морфологию полученных частиц. В этом исследовании наночастицы CuO и субмикронные сферы были получены непосредственно с помощью пиролиза ультразвуковым распылением без

дополнительной стадии прокаливания и с использованием водного раствора нитрата меди без каких-либо добавок. Сообщается о влиянии условий процесса, таких как температура реакции и концентрация прекурсора, на структурные и морфологические особенности порошков. Полученные результаты дают базовые знания для расширения процесса массового производства частиц CuO различных форм и морфологий.

1.3 Экспериментальная установка ТЭУ-500

Импульсный плазмохимический синтез наноразмерного композиционного порошка $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ проводился в два этапа. Для проведения исследований использовался лабораторный стенд на базе импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500.

1.3.1 Установка и принцип работы импульсного ускорителя ТЭУ-500

Импульсный электронный ускоритель ТЭУ-500 является установкой для проведения научно-исследовательских работ по изучению взаимодействия электронного пучка с газо-фазными, жидкими и твердыми веществами. В состав установки входят следующие элементы: генератор импульсных напряжений (ГИН), автотрансформатор, двойная формирующая линия (ДФЛ), вакуумный пост, пульт управления, блок размагничивания, вакуумная камера со стойкой, стойка управления ускорителя. Фотография и функциональная схема ускорителя представлены на рисунках 8 и 9.



Рисунок 8 – Фотография ускорителя ТЭУ-500

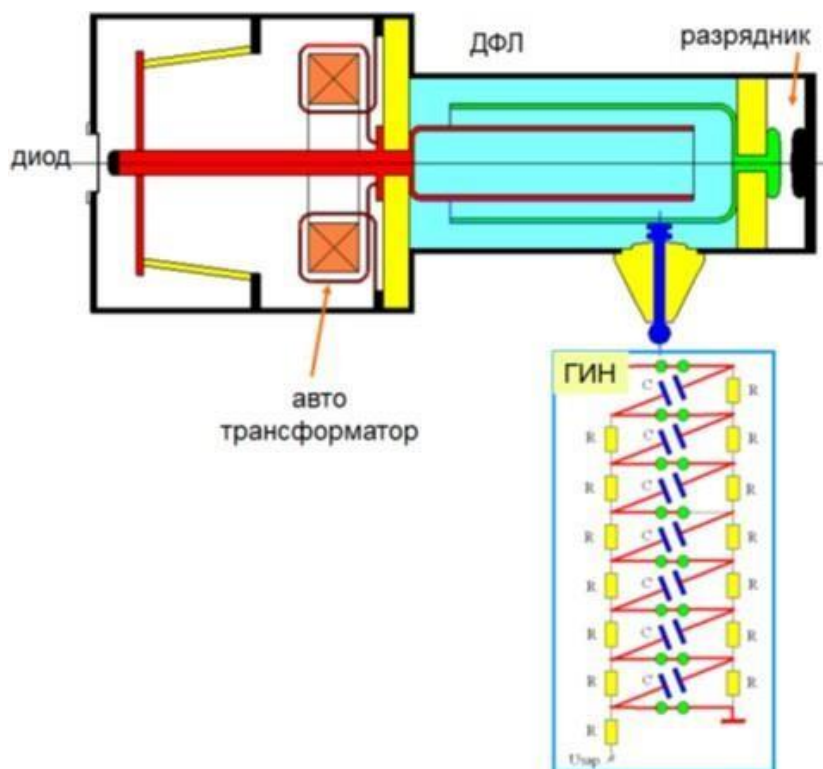


Рисунок 9 – Блок-схема ускорителя ТЭУ-500 [51]

Технические данные импульсного электронного ускорителя представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические данные ускорителя ТЭУ – 500:

Напряжение, формируемое ГИН	до 300 кВ
Ускоряющее напряжение	450 кэВ

Продолжение таблицы 1

Напряжение на выходе высоковольтного трансформатора	35-40 В
Напряжение в силовых цепях вакуумных насосов	380 В
Давление газа в корпусе ГИНа	до 0,7 атм.
Ток электронного пучка	до 10 кА
Длительность импульса	до 60 нс
Энергия импульса	до 200 Дж
Частота следования импульсов	до 5 ударов/с
Давление в газовом разряднике	до 8 атм.

Газонаполненный генератор импульсов высокого напряжения (рисунок 10), собранный по схеме генератора Аркадьева-Маркса, содержит семь каскадов конденсаторов К75–74 (40 кВ, 47 нФ) с двумя конденсаторами в каждой ступени.

Разряд в зазоре первой ступени инициируется тригатроном (рисунок 11), и зазор синхронизируется импульсом от дросселя насыщения.

Внутренняя индуктивность ГИН составляет 2,4 мкГн. ДФЛ с деионизированной водой имеет электрическую длительность 30 нс, а емкости ответвлений составляют $C1 = C2 = 6,5$ нФ. Общая емкость ДФЛ равна выходной емкости ГИН. ДФЛ переключается с помощью газонаполненного зазора (зазор диаметром 11 мм, заполненный промышленным азотом до давления 8 атм). Маслонаполненный резервуар входит в состав согласующего трансформатора, который содержит четыре сердечника размером $360 \times 150 \times 25$ мм, изготовленные из ленты из пермаллоя размером $50 \times 0,01$ мм.

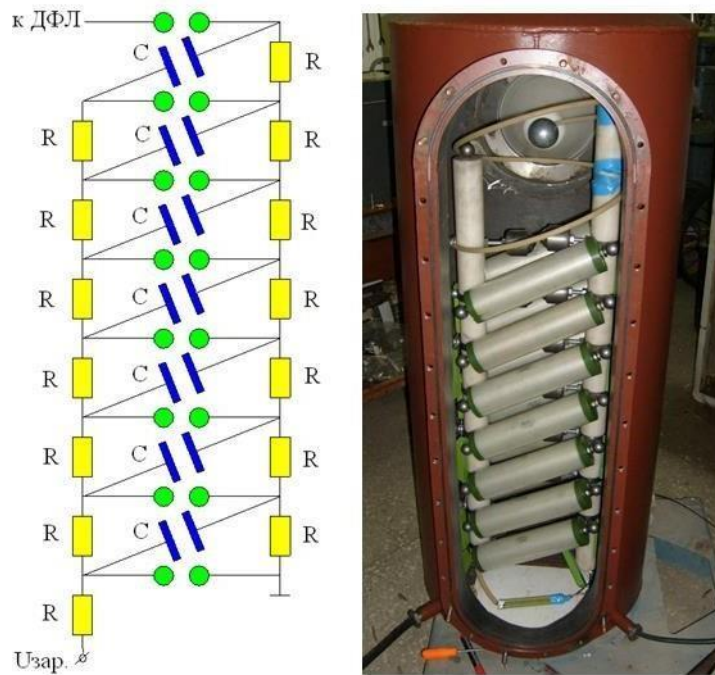


Рисунок 10 – Электрическая схема и конструкция ГИНа [51]

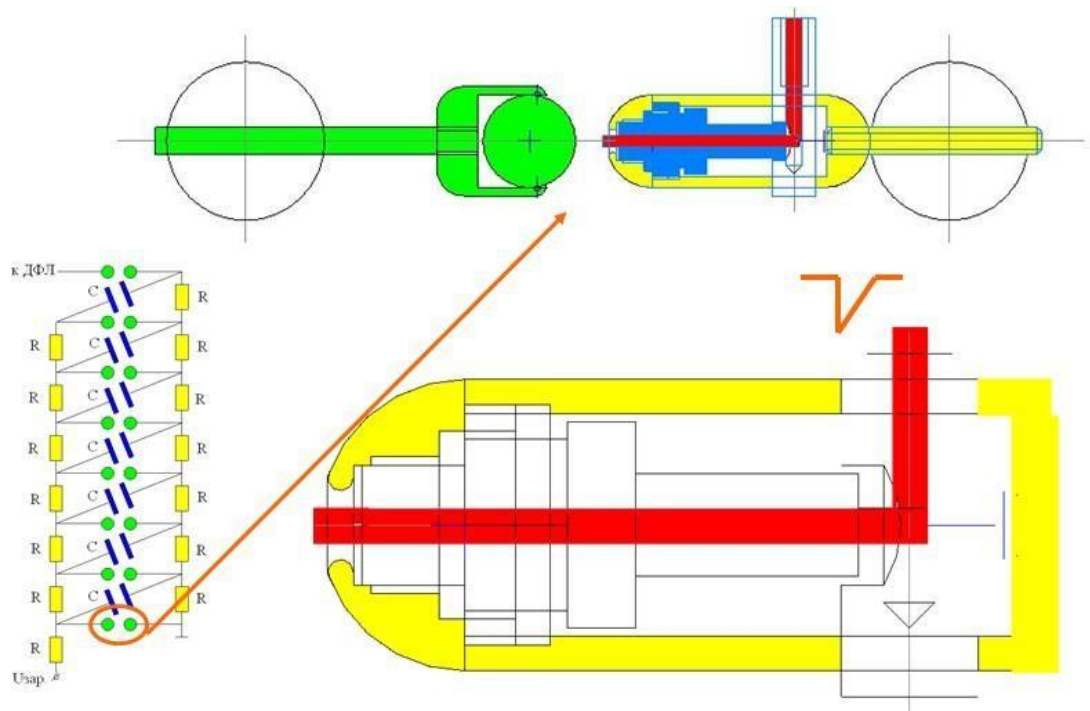


Рисунок 11 – Тригатрон первой ступени ГИНа [51]

Вокруг сердечников намотано двенадцать одиночных витков. Они припаяны к электродам ДФЛ через равные по азимуту промежутки времени. Сердечники и витки скреплены между собой изолирующей втулкой и

боковыми пластинами, расположенными на катододержателе. Наряду с витками автотрансформатора (рисунок 12), виток, образованный катододержателем и корпусом ускорителя, соединен с анодно–катодным зазором диода. Таким образом, диод включается в схему автотрансформатора с напряжением, в два раза превышающим выходное напряжение ДФЛ.



Рисунок 12 – Фотография выходного автотрансформатора [52]

Начальное магнитное состояние сердечника — это ток, проходящий через цепь индуктивности с катододержателем во время разрядки конденсаторов. Конденсатор предварительно заряжается от внешнего источника до напряжения, обеспечивающего протекание тока размагничивания величиной (150 – 200) А. После зарядки конденсатора на управляющий вывод тиристора узла размагничивания подается импульс запуска с блока управления ускорителем. Тиристор открывается и начинается процесс разрядки конденсатора. В момент перехода тока из цепи тиристора в цепь диода, дроссель насыщения формирует импульс на запуск ГИНа, после срабатывания которого начинается формирование основного импульса напряжения (рисунок 13) [52].

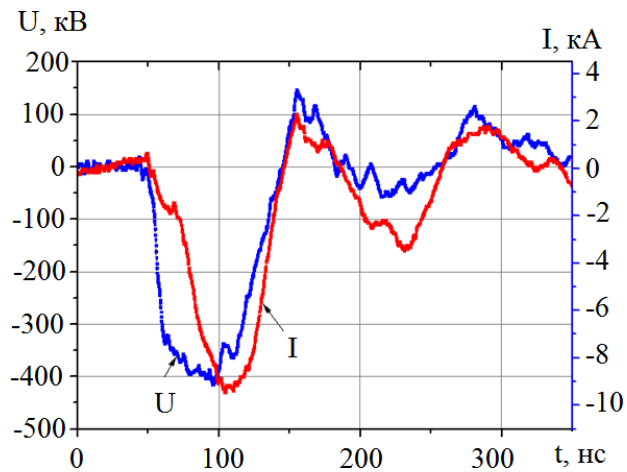


Рисунок 13 – Осциллограммы ускоряющего напряжения (U) и полного тока (I) диода [52]

В состав установки ТЭУ-500 входит диагностическое оборудование, изображенное на рисунке 14:

- 1) Пояс Роговского;
- 2) Цилиндр Фарадея, $R_{ш} = 0,0485 \text{ Ом}$;

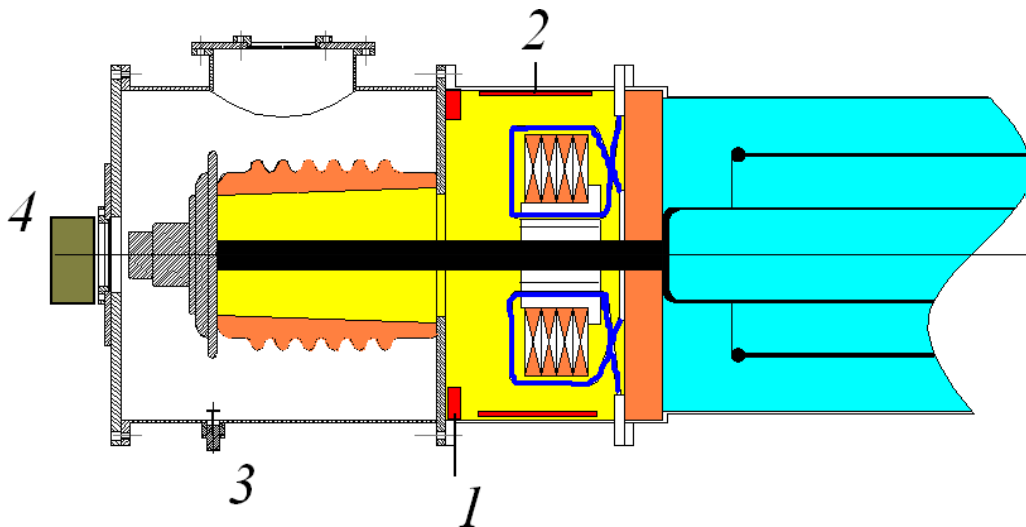


Рисунок 14 – Диодная камера ускорителя ТЭУ-500: 1- пояс Роговского, 2 – емкостной делитель, 3 – дифференциальный делитель, 4 – цилиндр Фарадея [53]

Пояс Роговского

Для показания тока, протекающего в нагрузке генератора, используется пояс Роговского с обратным витком. Пояс Роговского (рисунок 15) представляет собой равномерно намотанную катушку из N витков на метр на немагнитном каркасе с постоянной площадью поперечного сечения A . Обмоточный провод возвращается в исходную точку вдоль центральной оси каркаса, и два конца обычно соединяются с кабелем. Свободный конец катушки обычно вставляется в гнездо рядом с кабельным соединением таким образом, чтобы его можно было отсоединить, что позволяет намотать катушку на проводник, по которому течет измеряемый ток.

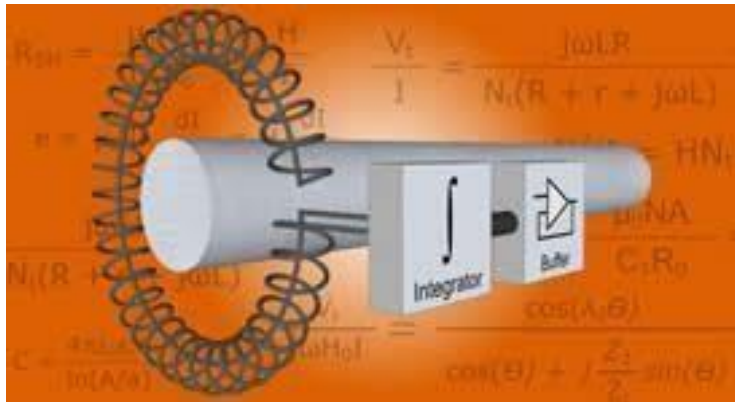


Рисунок 15 – Пояс Роговского с обратным витком [54]

Переменный или импульсный ток в проводнике создает магнитное поле, и взаимодействие этого магнитного поля и пояса Роговского, локализованного по отношению к полю, приводит к индуцированному напряжению внутри катушки, которое пропорционально скорости изменения измеряемого тока. При условии, что катушка представляет собой замкнутый контур без разрывов, можно показать, что напряжение E , индуцируемое в катушке, пропорционально скорости изменения окружающего тока I согласно соотношению (5):

$$E = N \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

где N – чувствительность катушки, пропорциональная $N \cdot A$.

Использование пояса Роговского для измерения переменного тока или быстрых переходных токов имеет много преимуществ по сравнению с другими методами измерения тока:

- Датчик с поясом Роговского, который легко модернизируется, отличается тонкостью, легкостью, гибкостью и надежностью;
- Размер катушки не зависит от величины измеряемого тока;
- Катушки достаточно маленькие, чтобы поместиться между ножками полупроводника;

Цилиндр Фарадея

Устройство для измерения полного электрического заряда и интенсивности пучка частиц – цилиндр Фарадея [55], может быть изготовлен не только в цилиндрической форме, главное, чтобы толщина материала была достаточная для полного поглощения частиц пучка. Обычный цилиндр Фарадея содержит металлический приемник в виде стакана для подавления электронов, закрытый и изолированный от металлической крышки, снабженной круглым осевым сквозным отверстием. Как приемник, так и крышка электронного подавителя заключены в заземленный цилиндрический экран, имеющий осевое круглое отверстие, совпадающее с отверстием в крышке электронного подавителя, и изолированы от него. Крышка электронного подавителя соединена радиочастотным кабелем 50 Ом с источником V_{es} переменного постоянного напряжения U_{es} . Приемник соединен радиочастотным кабелем 50 Ом через нагрузочный резистор R_F с генератором развертки, вырабатывающим импульсы типа $U_g(t)$.

Емкостный делитель напряжения

Схемы делителя напряжения могут быть сконструированы из реактивных компонентов так же легко, как и из резисторов фиксированного значения (рисунок 16).

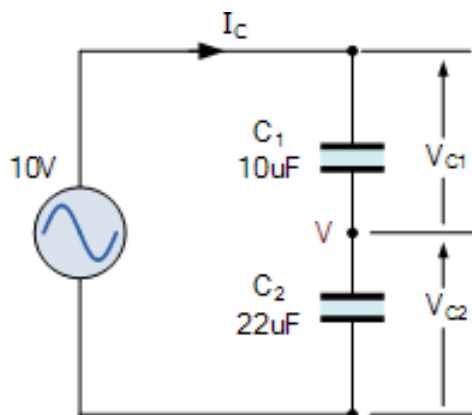


Рисунок 16 – Схема емкостного делителя напряжения [56]

В схеме присутствуют два конденсатора, C_1 и C_2 , соединенные последовательно через переменный источник питания напряжением 10 вольт. Поскольку два конденсатора расположены последовательно, заряд на них одинаков, но напряжение на них будет разным и связано со значениями их емкости.

Емкостные схемы деления напряжения используются в различных электронных приложениях, начиная от генераторов Кольпитта и заканчивая емкостными сенсорными экранами, которые изменяют свое выходное напряжение при прикосновении пальца человека. Также схемы деления используются в качестве дешевой замены сетевых трансформаторов при понижении высокого напряжения, например, в подключенных к сети цепях, использующих низковольтную электронику или микросхемы и т.д [56].

1.3.2 Плазмохимический реактор

Для экспериментов использовался плазмохимический реактор, состоящий из цилиндра с внутренним диаметром 14,5 см и объемом 6 литров (рисунок 17).



Рисунок 17 – Фотография плазмохимического реактора

Реактор имеет форму трубы, а инжекция электронов начинается с алюминиевой фольги на конце трубки. Выходной фланец плазменного реактора имеет ряд трубок, используемых для подключения вакуумметра и манометра, пьезоэлектрического преобразователя, для первоначального впрыска смеси реагентов и для вакуумирования реактора перед откачкой газа.

1.4 Методы исследования нанопорошков

1.4.1 Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ)

Просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – это метод исследования микрочастиц, при котором используется ускоренный пучок электронов, который проходит через очень тонкий образец, что позволяет ученым наблюдать такие особенности, как структура и морфология.

В ПЭМ для создания изображения используется электронный пучок высокого напряжения. Электронная пушка в верхней части ПЭМ испускает

электроны, которые проходят через вакуумную трубку микроскопа. Вместо стеклянной линзы, фокусирующей свет (как в случае световых микроскопов), в ПЭМ используется электромагнитная линза, которая фокусирует электроны в очень тонкий пучок. Затем этот пучок проходит через очень тонкий образец, и электроны либо рассеиваются, либо попадают на флуоресцентный экран в нижней части микроскопа. На экране появляется изображение образца с его разнородными частями, показанными разными оттенками в зависимости от плотности. Затем это изображение можно изучить непосредственно в ПЭМ или сфотографировать.

Хотя ПЭМ и световые микроскопы работают на одних и тех же основных принципах, между ними есть несколько различий. Основное отличие состоит в том, что в ПЭМ для увеличения изображений используются электроны, а не свет. Мощность светового микроскопа ограничена длиной волны света и может увеличивать что-то до 2000 раз. Электронные микроскопы, с другой стороны, могут создавать гораздо более сильно увеличенные изображения, потому что пучок электронов имеет меньшую длину волны, что создает изображения с более высоким разрешением.

Изображение, полученное с помощью ПЭМ (рисунок 18), называемое микрофотографией, проецируется на фосфоресцирующий экран. При облучении электронным лучом этот экран испускает фотоны. Пленочная камера, расположенная под экраном, может использоваться для захвата изображения, или цифровой захват может быть достигнут с помощью камеры с зарядовой связью.

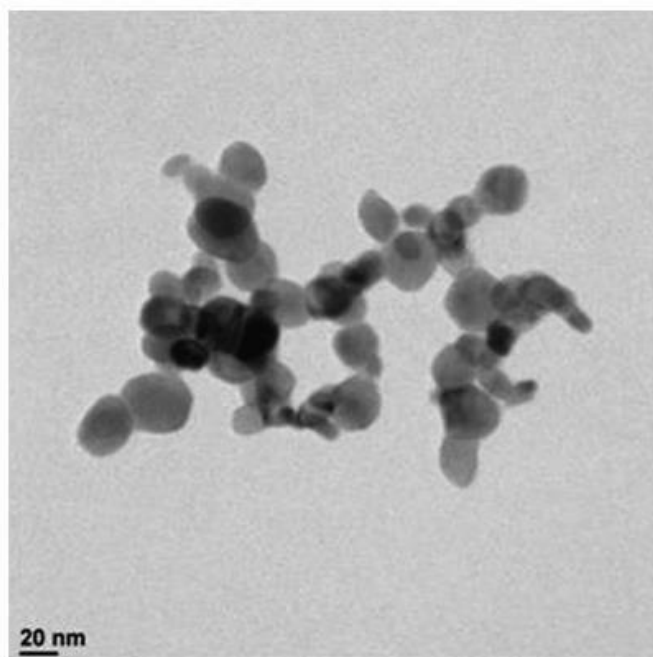


Рисунок 18 – ПЭМ-изображение наночастиц CuO [57]

На рисунке 19 представлена установка просвечивающего микроскопа JEOL-2100с ускоряющим напряжением 200 кВ. Технические характеристики микроскопа представлены в таблице 2.



Рисунок 19 – Фотография просвечивающего микроскопа JEOL-2100

Таблица 2 – Технические параметры микроскопа JEOL-2100

Характеристика	Значение
Разрешение по точкам	0,19 нм
Разрешение по линиям	0,1 нм
Ускоряющее напряжение	от 80 до 200 кВ
Диапазон увеличений	от x 50 до x1 500 000

Данная установка была использована для микроскопического и энергодисперсионного анализа порошка $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$.

1.4.2 Энергодисперсионный рентгеновский анализ (EDX)

Энергодисперсионный рентгеновский анализ (EDX или EDS) широко используется современными учеными-материаловедами. При использовании вместе с электронным микроскопом детектор EDX может генерировать больше информации об образце, чем только микроскоп. В микроскопе различные сигналы предлагают различную информацию о данном образце. Например, обратнорассеянные электроны создают контрастные изображения, которые несут информацию о различиях в атомном номере, в то время как вторичные электроны создают топографическую информацию об образце. Тем не менее, когда микроскоп соединяется с детектором EDX, рентгеновские лучи также могут использоваться в качестве сигнала для получения химической информации.

Принцип работы EDX-анализа заключается в том, что электронный луч попадает на внутреннюю оболочку атома, выбивая электрон из оболочки, оставляя при этом положительно заряженную электронную дырку (рисунок 20). Когда электрон смещается, он притягивает другой электрон из внешней оболочки, чтобы заполнить вакансию. По мере того, как электрон перемещается из внешней высокоэнергетической оболочки атома во внутреннюю низкоэнергетическую, эта разница энергий может высвободиться

в виде рентгеновского излучения. Энергия этого рентгеновского излучения уникальна для конкретного элемента и перехода.

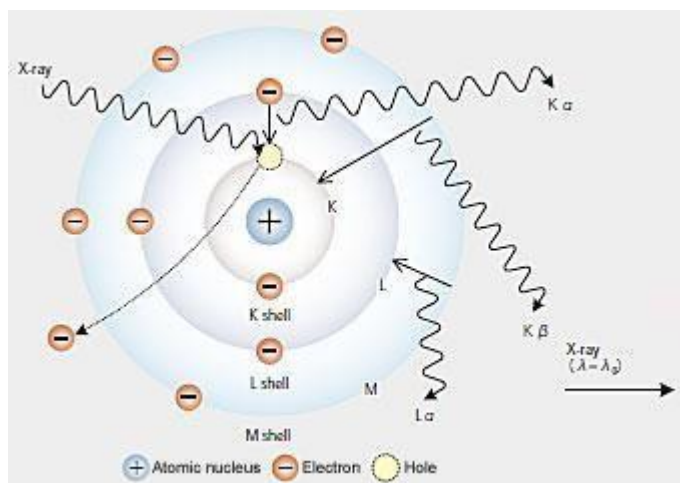


Рисунок 20 – Схема процесса работы EDX-анализа [58]

Рентгеновские лучи можно использовать для идентификации каждого элемента, присутствующего в образце. EDX можно использовать как для качественного, так и для количественного анализа, позволяя пользователям определять, как тип присутствующих элементов, так и процентную концентрацию каждого элемента в образце. Метод практически не требует подготовки образца и является неразрушающим, то есть не повреждает образец [58].

1.4.3 Рентгенофазовый анализ (РФА)

Рентгенофазовый анализ (РФА) - это неразрушающий аналитический метод, используемый для определения элементного состава материалов.

Рентгеноанализаторы определяют химический состав образца путем измерения фазового (или вторичного) рентгеновского излучения, испускаемого образцом при его возбуждении первичным источником рентгеновского излучения. Каждый из элементов, присутствующих в образце, производит набор характерных рентгеновских лучей (“отпечаток пальца”), который уникален для данного конкретного элемента, именно поэтому рентгеновская

спектроскопия является отличной технологией для качественного и количественного анализа состава материала.

Твердый или жидкий образец облучают высокоэнергетическими рентгеновскими лучами из контролируемой рентгеновской трубки. Когда на атом в образце воздействует рентгеновское излучение достаточной энергии (превышающее энергию связи К- или L-оболочек атома), электрон из одной из внутренних орбитальных оболочек атома выбивается. Атом восстанавливает стабильность, заполняя вакансию, оставшуюся во внутренней орбитальной оболочке, электроном из одной из орбитальных оболочек атома с более высокой энергией. Электрон переходит в более низкое энергетическое состояние, испуская рентгеновский луч. Энергия этого рентгеновского излучения равна удельной разнице в энергии между двумя квантовыми состояниями электрона. Измерение этой энергии является основой рентгеновского анализа. Длина волны этого флуоресцентного излучения может быть рассчитана из закона Планка (6).

$$\lambda = \frac{hc}{E} \quad (6)$$

где λ – длина волны, h - постоянная Планка, c – скорость света, E – энергия.

На рисунке 21 показан типичный вид резких спектральных линий, полученных методом дисперсии по длинам волн.

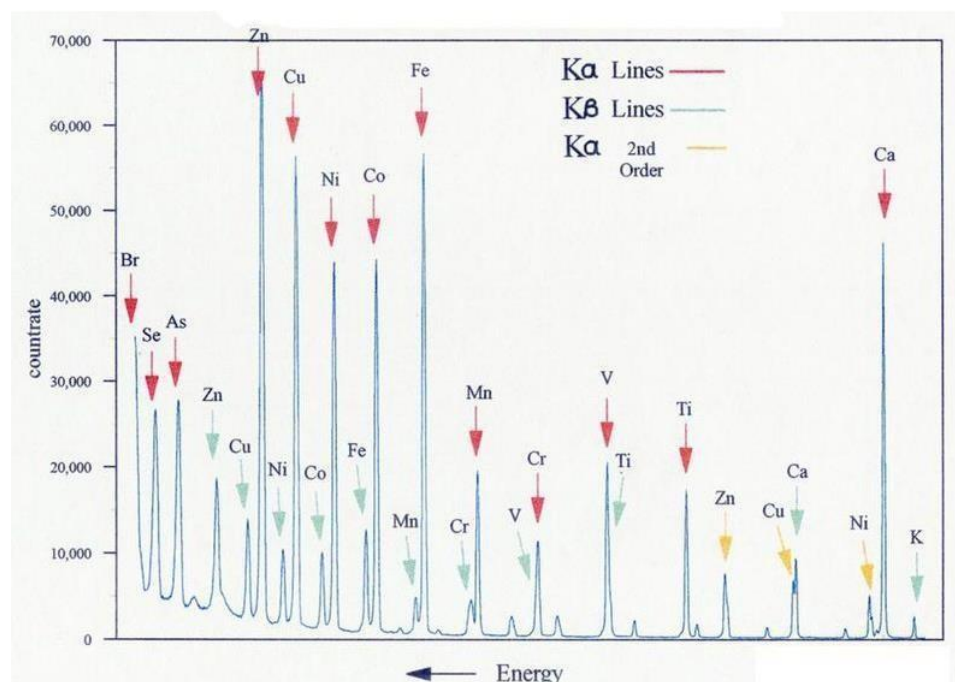


Рисунок 21 – Типичный спектр РФА с дисперсией по длине волны [59]

При анализе с дисперсией по длине волны рентгеновское излучение, испускаемое образцом, направляется в монохроматор на основе дифракционной решетки. Используемая дифракционная решетка обычно представляет собой монокристалл. Изменяя угол падения и выхода на кристалл, можно выбрать небольшой диапазон длин волн рентгеновского излучения. Полученная длина волны определяется законом Брэгга:

$$n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin(\theta) \quad (7)$$

где d — расстояние между атомными слоями, параллельными поверхности кристалла [59].

Выводы по Главе 1 Нанокompозиты. Методы получения и исследования

В первой главе дано определение нанокompозитов, представлены физические и химические исходных реагентов, используемых для получения нанопорошка $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$. В настоящее время нанокompозиты

$\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2$ и $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2$ находят применение в качестве фотокатализаторов, солнечных батареек и сенсорных датчиков [7-9].

Наноконпозиты на основе оксидов кремния, титана и меди получают различными химическими и электрофизическими методами, имеющими свои недостатки. Импульсный плазмохимический метод наноконпозитов видится перспективным, благодаря таким преимуществам, как быстрая скорость синтеза в низкотемпературной плазме и получение частиц с упорядоченной структурой, не нуждающихся в последующей обработке. Эксперименты проводились на лабораторном стенде, включающем в себя ускоритель ТЭУ-500 и плазмохимический реактор.

Также в первой главе рассматривались методы исследования нанопорошка, такие как ПЭМ, РФА и EDX-анализ, которые применялись в исследовательской работе.

2 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения

В данной главе последовательно описываются этапы плазмохимического синтеза наночастиц композита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$. Итоговым продуктом реакции должен получиться порошок белого цвета, со средним размером частиц не более 200 нм и толщиной не более 50 нм.

Для исследования морфологии и геометрического размера, синтезированного нанокompозита использовали просвечивающий электронный микроскоп «JEOL-2100» с ускоряющим напряжением 200 кВ (JEOL, Japan). С помощью программы “Photoshop” вручную измерялся геометрический размер частиц с выборкой более 1000 частиц. Для определения кристаллической структуры синтезированного нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ использовали дифрактометр «Shimadzu XRD – 6000» (Shimadzu, Japan). Дифракционные спектры были получены при использовании отфильтрованного $\text{CuK}\alpha$ -излучения (электрический ток: 40 мА, электрическое напряжение: 45 кВ, длина волны: 1,5405 Å). Съемка рефлексов проводилась в режиме сканирования с шагом 0.02° в диапазоне от 0 до 75° .

2.1 Процесс плазмохимического синтеза.

Порошок $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ получен в два последовательных этапа. Общая схема двух этапов представлена на рисунке 22.

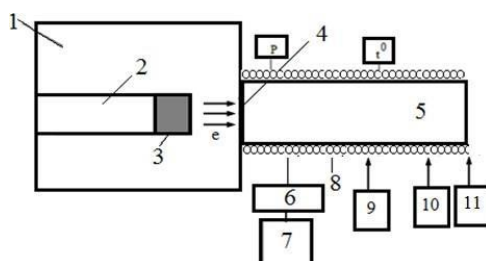


Рисунок 22 – Схема синтезирующей установки: 1 – камера ускорителя ТЭУ 500; 2 – крепление катода; 3 – катод; 4 – анод; 5 – плазмохимический реактор (ПХР); 6 – кран откачки; 7 – форвакуумный насос; 8 – нагревательная система ПХР; 9 – подушка O₂; 10 – подушка H₂; 11 – дозатор SiCl₄/TiCl₄

На первом этапе по предварительным расчетам должен был быть получен наноразмерный композит $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2$. Для этого в качестве реагента использовался порошок CuO , который получен методом электрического взрыва проводника.

Средний геометрический размер частиц порошка CuO не превышал 40 нм. Для получения SiO_2 использовали тетрахлорид кремния (SiCl_4 , 99,8%), кислород (O_2 , 99,9%) и водород (H_2 , 99,9%). Эксперимент плазмообразования для получения образца $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2$ производился в ПХР под действием импульсного электронного пучка. Схема первого этапа синтеза представлена на рисунке 23.

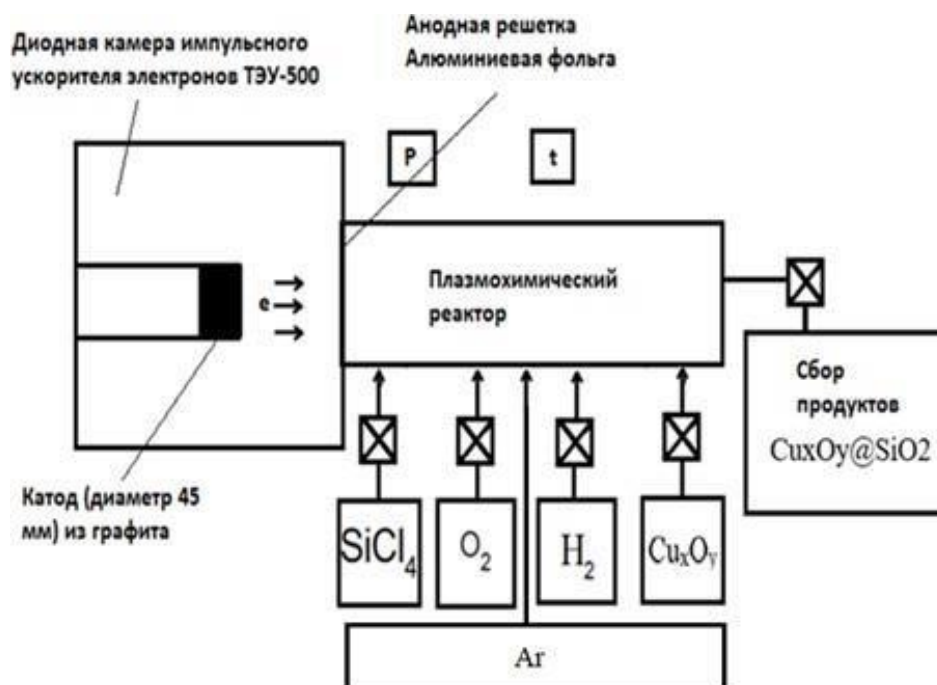


Рисунок 23 – Схема 1 этапа получения $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$

Суть плазмохимического синтеза заключалась в том, что исходные реагенты, а именно SiCl_4 , O_2 , H_2 , Cu_xO_y , вводятся в ПХР, который изначально был прогрет до температуры 350 К и откачан до давления ~ 1 Па. В камеру

реактора инжектируется электронный пучок с кинетической энергией 450 кэВ, длительностью 60 нс и током пучка 3 кА. За один импульс происходит объемное возбуждение реакционного газа импульсным электронным пучком, за которым следуют реакции в области возбуждения. Под действием пучка возникает неравновесная плазма, и, следовательно, запускаются химические реакции, продуктом которых является нанокompозит. В таблице 3 приведены начальные концентрации реагентов, используемых для первого этапа синтеза.

Таблица 3 – Концентрация исходных реагентов первого этапа синтеза

Номер образца	SiCl ₄ , ммоль	H ₂ , ммоль	O ₂ , ммоль	Cu _x O _y , г	Ar, ммоль	Количество импульсов
Образец 1	62	40	80	0.4	12	1
Образец 2	62	40	80	0.4	12	1

Второй этап синтеза нанокompозита Cu_xO_y@TiO₂@SiO₂ происходил сразу после первого. Не открывая крышку камеры, вводились исходные реагенты, а именно тетрахлорид титана (TiCl₄), кислород, водород, и инжектировали импульсный пучок в смесь предыдущего синтеза (рисунок 24).

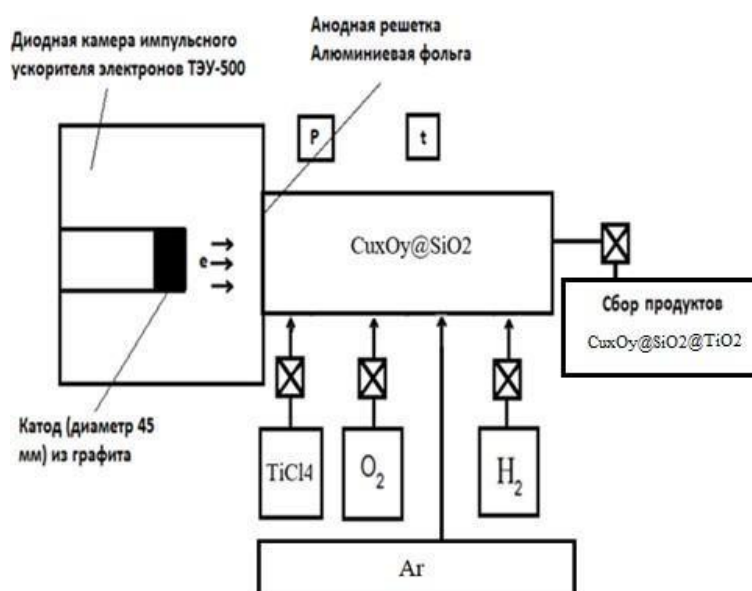


Рисунок 24 – Схема 2 этапа получения Cu_xO_y@TiO₂@SiO₂

Концентрация исходных реагентов второго тапа синтеза представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Концентрация исходных реагентов второго этапа синтеза.

Номер образца	TiCl ₄ , ммоль	H ₂ , ммоль	O ₂ , ммоль	Ar, ммоль	Количество импульсов
Образец 1	20	26	80	12	1
Образец 2	40	26	80	12	1

Итоговым продуктом реакций двухэтапного синтеза становится порошок композита Cu_xO_y@TiO₂@SiO₂ (рисунок 25).



Рисунок 25 – Фотографии двух образцов полученного нанопорошка Cu_xO_y@TiO₂@SiO₂

Полученные образцы 1 и 2 были использованы для морфологии и рентгенофазового анализов.

2.2 ПЭМ анализ полученных порошков Cu_xO_y@SiO₂@TiO₂

Морфология и геометрический размер частиц полученного наноразмерного образца определялась с применением просвечивающего электронного микроскопа.

Полученные снимки показаны на рисунках 26-27.

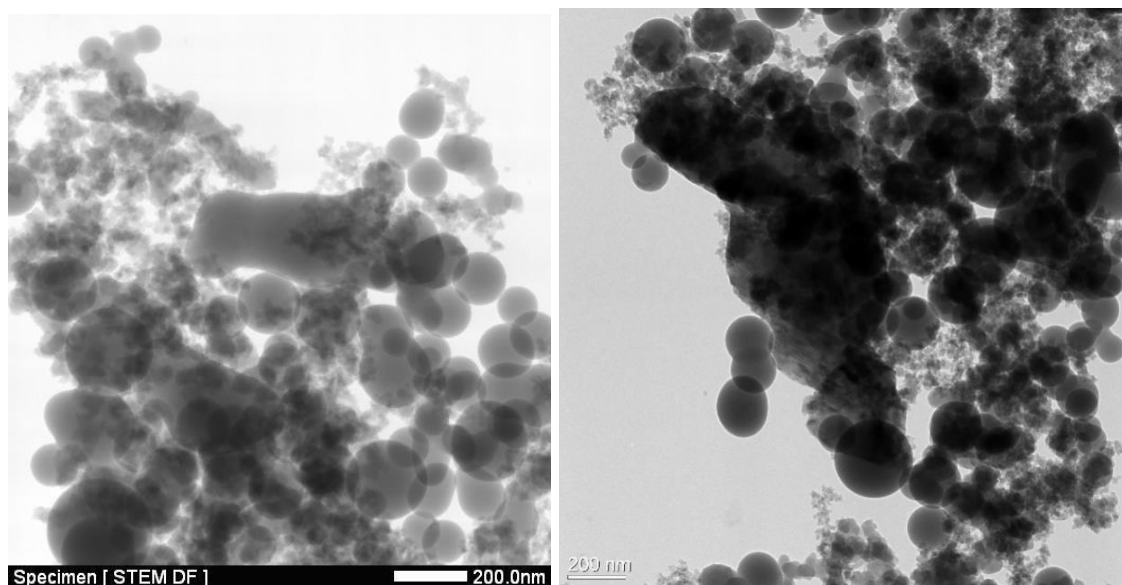


Рисунок 26 – Фотографии наноразмерного порошка $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{TiO}_2@ \text{SiO}_2$.
Образец №1.

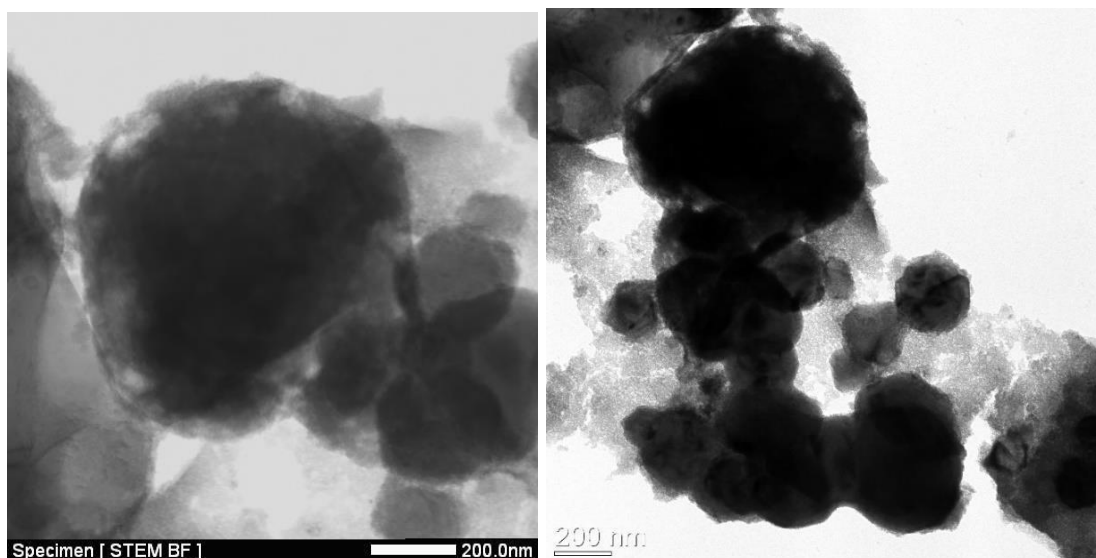


Рисунок 27 – Фотографии наноразмерного порошка $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{TiO}_2@ \text{SiO}_2$.
Образец №2.

Из рисунков 26 и 27 видно, что композит имеет сложную структуру. Образцы 1 и 2 характеризуются наличием крупных и мелкодисперсных фракций частиц. Часть частиц в обоих образцах имеет форму близкую к сферической, одна можно увидеть и ядра овальной формы. Расчеты показали,

что геометрический размер некоторых частиц превышал 150 нм. Частицы образца 2 покрыты оболочкой, толщина которой не превышал 40 нм.

Далее в ходе работы были сняты снимки микродифрактограмм полученных образцов (рисунок 28).

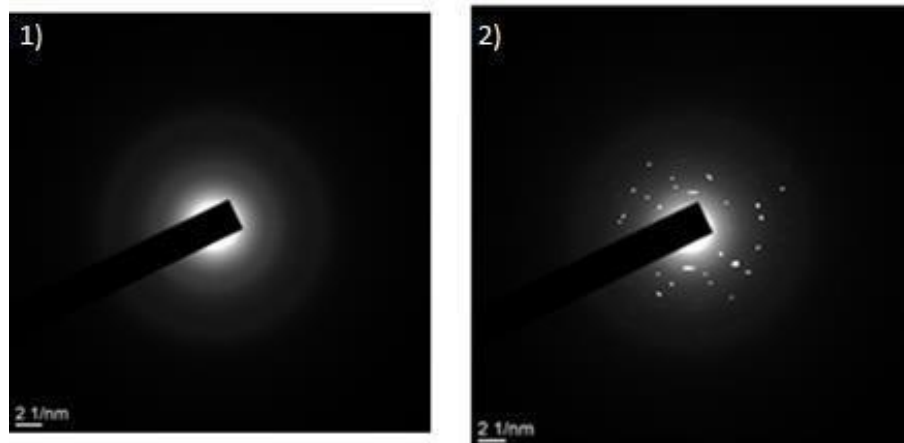


Рисунок 28 – Снимки микродифрактограмм частиц образцов 1 (1) и 2 (2)

Из рисунка 28 видно, что в отличие от образца 1, образец 2 содержит яркие рефлекссы, характерные для кристаллической решетки. Для образца 1 на микродифрактограмме замечено гало, характерное для аморфного диоксида кремния.

2.3 EDX анализ композиционных порошков $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$

Образцы 1 и 2 были исследованы с помощью EDX метода, который позволяет проводить качественный и количественный анализ образцов, а именно, химический состав и относительное содержание каждого элемента (таблица 5) (рисунки 29-30).

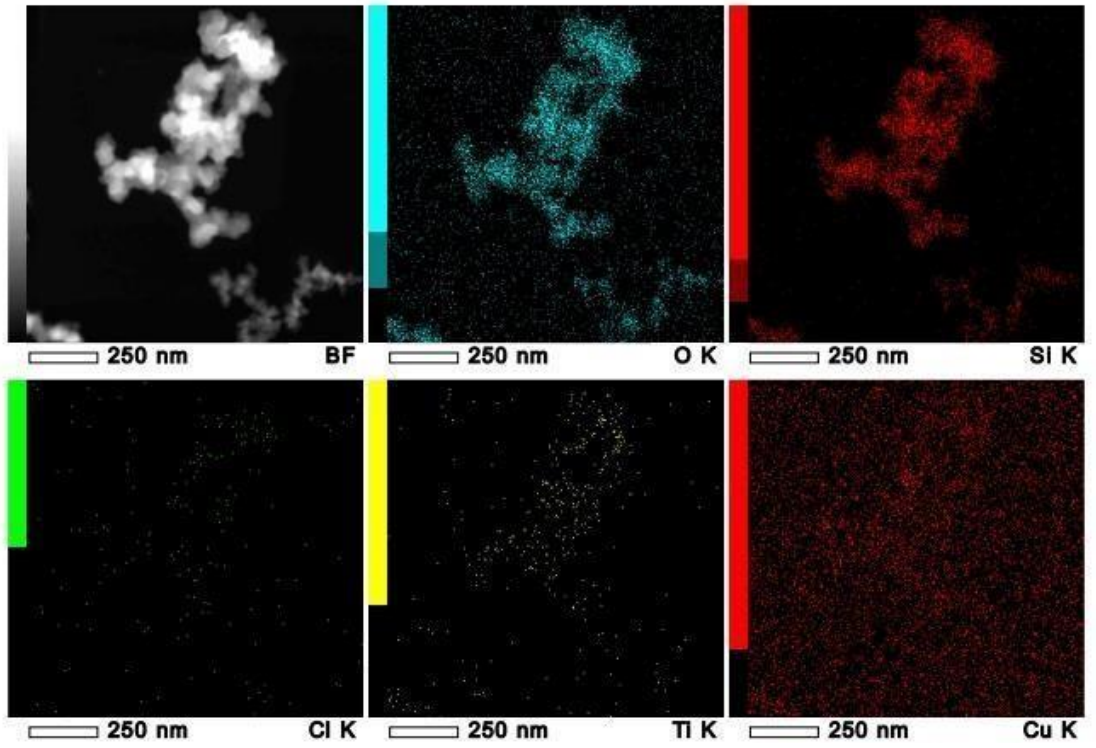


Рисунок 29 – Цветовые окна, отображающие элементы образца 1

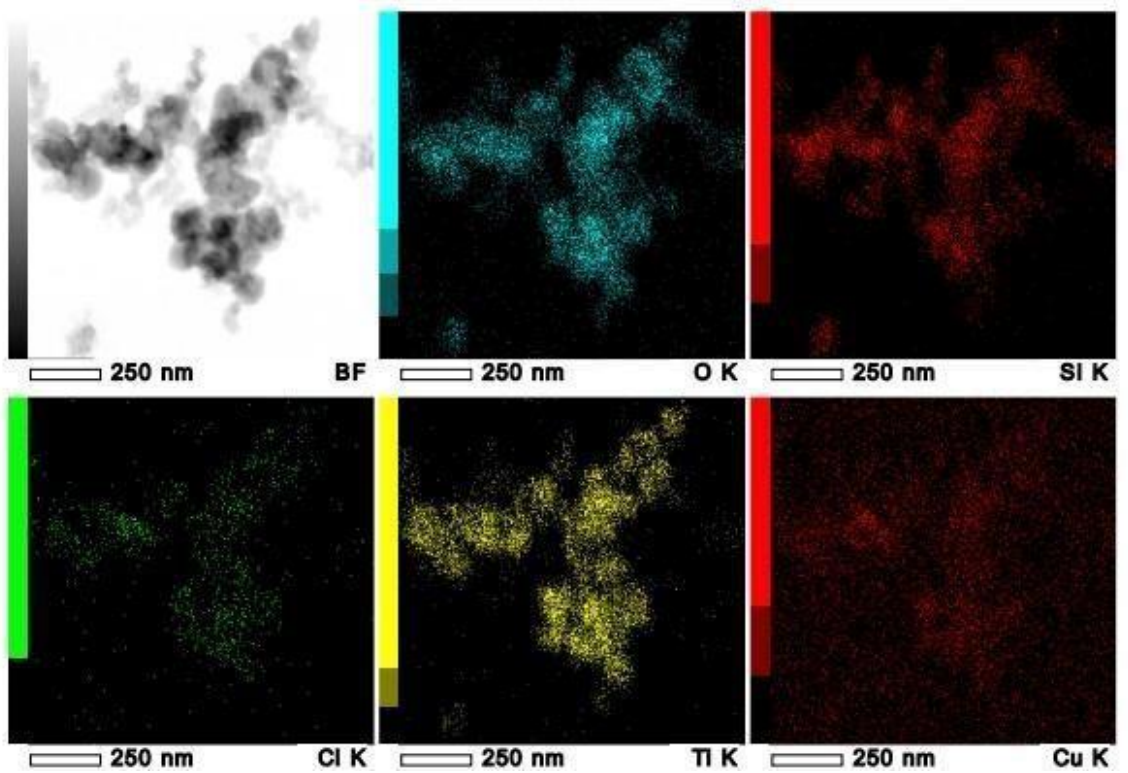


Рисунок 30 – Цветовые окна, отображающие элементы образца 2

Таблица 5 – Относительное содержание кислорода, кремния, титана, меди и хлора в образцах 1 и 2 по данным EDX-спектров

Элемент	Масс. %	
	1 образец	2 образец
O	40.97	32.73
Si	15.70	10.92
Ti	0.78	19.17
Cu	42.42	35.95
Cl	0.14	1.23

Из рисунков 25-26 видно, что увеличение содержания $TiCl_4$ во II этапе синтеза для образца 2 показало различия содержания титана. В образце 1 титан практически отсутствует, тогда как в образце 2 имеются кристаллы оксида титана. Небольшое содержание хлора предполагает наличие кристаллических фаз в обоих образцах.

2.4 Рентгенофазовый анализ полученных образцов

Кристаллическая структура наноразмерного порошка $Cu_xO_y@TiO_2@SiO_2$ определялась методом рентгенофазового анализа (рисунок 31).

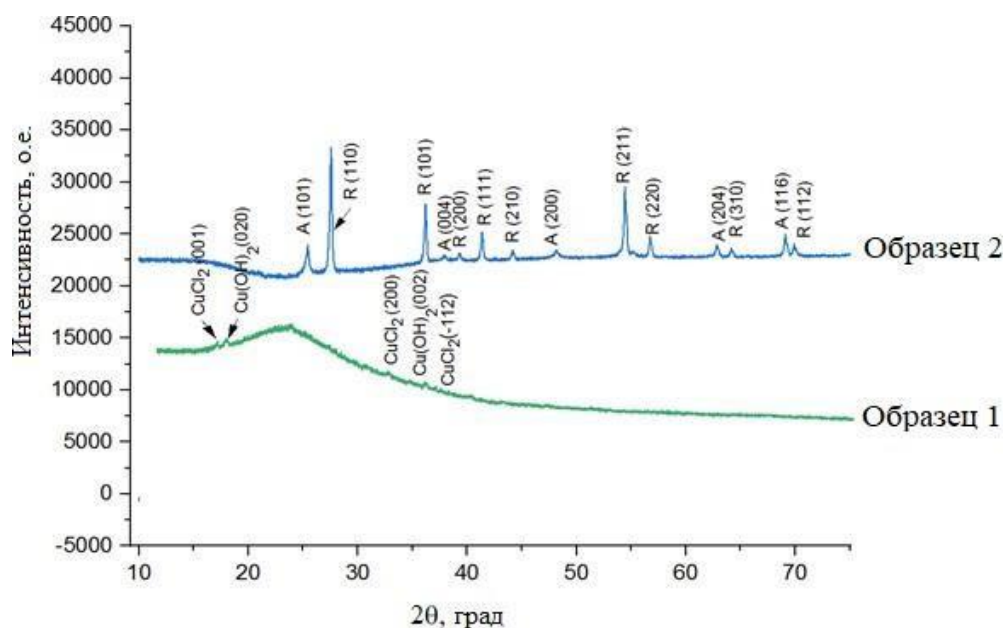


Рисунок 31 – Рентгенограмма образцов 1 и 2: А – анатаз, R - рутил

Из рисунка видно, что на фазовый состав нанокompозитов влияет концентрация исходных реагентов (образец 1 и 2). Для образца 1 отсутствие обширных пиков подтверждает, что наночастицы композита $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$ находятся в аморфном состоянии. Зафиксированы рефлексы для $CuCl_2$ ((001), (200), (-112) (JCPDS no.35-0690)). Для образца 2 также характерно аморфное гало, но присутствуют несколько кристаллических фаз. Интенсивные рефлексы (111), (220) характерны для кристаллической структуры Si (JCPDS no. 27-1402). Небольшой пик $2\theta=48,9^\circ$ соответствуют кристаллической фазе Cu (JCPDS: 03-1015). Пики $2\theta=25,6^\circ$ и $56,23^\circ$ на рентгенограмме соответствуют кристаллической фазе CuCl (JCPDS 77-2383).

Выводы по Главе 2 Экспериментальная часть. Результаты и обсуждения

В настоящей работе показана принципиальная возможность получения наноразмерного композита импульсным плазмохимическим методом.

Используя данные работ [7-9], были составлены условия синтеза для получения трехэлементного композита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$, а именно были подобраны концентрации исходных реагентов, данные температуры, давления и параметры импульса.

Двухэтапным синтезом был получен порошок $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$. Геометрическое исследование с помощью ПЭМ-анализа показало наличие крупных частиц сферической формы, средний размер которых превышал 150 нм. Для образца 2 характерно наличие оболочки, состоящей из частиц средним размером 10-20 нм. Микродифрактограммы, полученные на микроскопе показали присутствие ярких отражений во 2 образце, характерных для кристаллических решеток оксида титана.

EDX-анализ показал элементное различие в двух образцах, а именно, практически полное отсутствие Ti в образце 1. Рентгенограмма, полученная РФА-анализом подтвердила аморфную фазу образца 1 отсутствием пиков интенсивности, когда как образец 2 показал наличие фаз, характерных для диоксида титана – анатаз и рутил с соотношением 5:8.

Что бы сделать заключение о том, что получился композит $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ или это смесь порошков $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2$ и $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2$ необходимо провести дополнительные исследования с изменением концентрация исходных реагентов, в частности, оксида меди, температуры нагрева рабочей камеры, количества импульсов, инжектируемых в смесь исходных реагентов.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Настоящая НИР рассматривает научно-технические основы разработки и получения наноразмерных композиционных порошков $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$ методом импульсного плазмохимического синтеза. Данный нанокompозит является материалом, обладающим высококаталитическими свойствами и находящим применение в оптике и микроэлектронике. Разработка такого материала является перспективной с точки зрения экономики и капиталовложения. А используемый плазмохимический метод становится доступным, благодаря простоте установки и отсутствию дополнительных обработок получаемых образцов. Преимуществом данного метода синтеза является применение для получения широкого спектра нанопорошков и их композиций. Все больший интерес в научном сообществе и в сфере бизнеса раскрывается термин «нано», поэтому разработка методов и материалов для нано индустрии вызывает интерес исследователей и изобретателей. Большой вклад в развитие методики получения нанопорошков внесли Ремнев Г.Е., Пушкарев А.И., Пономарев Д.В., Сазонов Р.В. и Холодная Г.Е [7-9].

Целью данного раздела является оценка коммерческого и инновационного потенциала научного исследования, разработка и планирование процесса, определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности.

1.1 Оценка коммерческого и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

1.1.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ рынка конкурентной среды позволяет организации оценить слабые и сильные стороны конкурентов, выявить тенденции развития

интересующей области деятельности, и, соответственно этим данным, определить свои цели и ориентиры, сформировать схему привлечения потребителя, спрогнозировать развитие ситуации на рынке и в организации и, наконец, смоделировать схему роста бизнеса.

На рынке получения нанопорошков, основными конкурирующими методами получения нанокompозитов являются золь-гель метод и гидротермальный метод. Проведем анализ конкурентных методов синтеза наноразмерных порошков с помощью оценочной карты (таблица 6). Позиция импульсного плазмохимического синтеза и альтернативных вариантов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Таблица 6 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Производительность	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
2. Энергоэкономичность	0,1	4	2	3	0,4	0,2	0,3
3. Проведение синтеза в один цикл	0,05	5	1	1	0,25	0,05	0,05
4. Универсальность технологии и оборудования для получения различных композитов	0,05	5	1	3	0,25	0,05	0,15
5. Проведение синтеза при низких температурах	0,05	3	5	4	0,15	0,25	0,2
6. Контроль параметров продукта (форма, размер, фазовый состав)	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
7. Чистота конечного продукта	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
8. Простота эксплуатации оборудования	0,1	3	3	3	0,3	0,3	0,3

Продолжение таблицы 6

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
9. Возможность синтезировать принципиально новые материалы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	3	5	4	0,3	0,5	0,4
3. Цена продукта	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Итого	1	54	38	40	4,4	3,3	3,4

ф – импульсный плазмохимический метод; к1 – золь-гель метод; к2 – гидротермальный метод.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot V_i, \quad (8)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента; V_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности импульсного плазмохимического метода получения наноразмерных порошков:

$$k_K = \frac{K_{\text{ф}}}{K_{\text{ксред}}} = \frac{4,4}{(3,3+3,4)/2} = 1,31. \quad (9)$$

Так как $k_K > 1$, следовательно, данный метод конкурентоспособен [60]. Согласно оценочной карте, главные преимущества импульсного плазмохимического метода получения наноразмерных порошков:

- низкие удельные энергозатраты;
- потенциально низкая себестоимость нанопорошков;
- возможность контролируемого проведения реакций;
- универсальность технологии и оборудования для получения различных композитов;

- потенциально высокая производительность оборудования (десятки кг/час готового продукта);

- возможность управления параметрами выпускаемого продукта по всем основным характеристикам: форма и размер (20–200 нм) частиц, химическая чистота, фазовый состав.

Недостатками импульсного плазмохимического метода получения композитов являются:

- дорогостоящее и сложное в эксплуатации оборудование;
- низкое проникновение на рынок.

Дальнейший анализ и расчёты будут применены только к импульсному плазмохимическому методу получения нанокompозитов.

3.1.2 SWOT - анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) — это структура, используемая для оценки конкурентной позиции компании и разработки стратегического планирования. SWOT-анализ оценивает внутренние и внешние факторы, а также текущий и будущий потенциал.

SWOT-анализ предназначен для облегчения реалистичного, основанного на фактах и данных взгляда на сильные и слабые стороны организации, инициатив или отрасли. Организации необходимо поддерживать точность анализа, избегая предвзятых убеждений или серых зон и вместо этого сосредотачиваясь на реальных контекстах. Компании должны использовать его в качестве руководства, а не обязательно в качестве предписания.

Сводные данные SWOT - анализа представлены в таблице 7, ..., 11. В процессе анализа определяются нижеприведенные пункты.

1. Использование сильных сторон для освоения рыночных возможностей (S-O). Метод синтеза обособлен такими важными конкурентными достоинствами, как простота метода, скорость,

энергоэффективность, экологическая безопасность и низкая стоимость метода синтеза, что может привлечь инвесторов для реализации проекта, а также доступна российский и мировой рынки. Учитывая эти преимущества и инновационный характер разработки, можно надеяться на государственную поддержку проекта.

2. Преодоление слабых сторон для смягчения угроз (W-T). Наиболее важными слабыми сторонами проекта являются отсутствие маркетологов и экономистов, ведущих проект, и, как следствие, отсутствие стратегии развития, неизвестность торговой марки, отсутствие автоматизированной производственной линии, что в настоящее время приводит к низким объемам производства. Если в процессе разработки проекта в команду будет добавлен хороший экономист, то он сможет тщательно изучить мировой и российский рынки и разработать стратегию развития компании. Наличие правильной стратегии позволит компании уменьшить угрозу неразвитых и монопольных рынков.

3. Преодоление слабых сторон и использование возможностей (W-O). Преодоление слабых сторон, связанных с отсутствием в команде экономистов и маркетологов и с отсутствием массового производства, открывает возможности для проникновения и развития рынка наноразмерного порошка $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$.

4. Использование сильных сторон для смягчения угроз (S-T). Такие сильные стороны, как большой опыт компетентной проектной группы и тесная командная работа, могут способствовать успешному проведению опытно-конструкторских работ и созданию автоматизированных производств, что уменьшить угрозу неразвитости на рынок и монополии [61].

Из полученных стратегических вариантов необходимо выбрать те, которые обладают наибольшей силой, весом.

Таблица 7 - Матрица SWOT

Внутренние факторы	Сильные стороны научно-	Слабые стороны научно-исследовательского проекта
---------------------------	--------------------------------	---

Продолжение таблицы 7

<p>Внешние факторы</p>	<p>исследовательского проекта</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Уникальность методики 2. Опытный персонал 3. Чистота продукта 4. Универсальность технологии и оборудования 5. Высокая производительность 6. Контроль параметров продукта 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Потребность в больших инвестициях 2. Дорогостоящее и сложное в эксплуатации оборудование 3. Отсутствие импульсных ускорителей электронов с длительным ресурсом работы 4. Генерация тормозного рентгеновского излучения
<p>Возможности</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов. 2. Большой потенциал применения метода. 3. Возможность выхода на внешний рынок. 4. Рост потребности в обеспечении безопасности производственного процесса. 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность использования инфраструктуры ТПУ 2. Получение продукта высокого качества 3. Возможность использования оборудования для других применений и проектов 4. Привлечение дополнительного государственного финансирования 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Использование вспомогательного оборудования 2. Использование возможностей и площадок ТПУ 3. Обеспечение безопасности производственного процесса 4. Усовершенствование ускорителя с целью увеличения ресурса работы 5. Модифицирование оборудования для сбора готового продукта
<p>Угрозы</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сложность выхода на рынок по причине длительной процедуры апробации метода 2. Отсутствие большого спроса на наноразмерные композиты 3. Развитая конкуренция технологий производства 4. Недостаточное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства 5. Спад в экономике 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невысокая стоимость конечного продукта 2. Компенсирование затрат за счет государственного финансирования 3. Повышение конкурентоспособности используемого метода 4. Высокая компетентность персонала и выполнение задач в полном объеме и с рок позволят привлечь дополнительное финансирование 	<p>Возможные стратегии</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ускоренная апробация данного метода синтеза 2. Реклама конечного продукта 3. Возможности привлечения пиар отдела ТПУ для продвижения технологии на рынок.

Выявим соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Данные соответствие или несоответствие помогут выявить потребность в проведении стратегических изменений. Для этого построим интерактивные матрицы проекта (таблицы 8-11).

Таблица 8 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	-	+	-
	B2	+	-	+	+	0
	B3	+	0	+	+	0
	B4	+	-	0	+	-
	B5	+	0	0	0	0

Таблица 9 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	0	0	+	0	0
	B2	-	-	0	0	0
	B3	0	-	-	-	0
	B4	0	0	0	-	0
	B5	-	-	-	0	0

Таблица 10 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4	C5
		У1	+	-	0	+
	У2	-	-	+	0	+
	У3	-	0	0	0	0
	У4	-	0	-	-	-
	У5	0	-	-	0	0

Таблица 11 - Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Слабые стороны проекта							
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5	
		У1	0	0	0	+	0
		У2	0	0	0	0	-
		У3	-	0	0	0	0
		У4	-	0	-	-	-
		У5	0	-	0	0	0

Результаты анализа представлены в итоговую таблицу 12.

Таблица 12 – Итоговая таблица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Принципиально новая методика С2. Наличие опытного руководителя С3. Способность разрабатываемого метода быть применимым к мало изученным веществам и материалам. С4. Актуальность разработки. С5. Не требует уникального оборудования.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Применение проекта только для химической промышленности. Сл2. Возможность появления новых методов. Сл3. Не испытан в работе. Сл4. Медленный процесс вывода на рынок новой методики. Сл5. Не полный спектр применения.</p>
<p>Возможности: В1. Возможность создания партнерских отношений с рядом исследовательских институтов. В2. Большой потенциал применения метода. В3. Возможность выхода на внешний рынок. В4. Рост потребности в обеспечении безопасности производственного процесса. В5. В случае принятия рынком выход на большие объемы</p>	<p>Направления развития: Актуальность разработки, опытный руководитель и принципиально новая методика дает возможность сотрудничать с рядом ведущих исследовательских институтов; Большой потенциал применения методики, а также возможность выхода на внешний рынок обуславливаются принципиально новой методикой, способностью нового метода к применению к мало изученным веществам и материалам, актуальностью разработки; Рост потребности в обеспечении безопасности технологического производственного процесса возможен за счет принципиально новой методики.</p>	<p>Сдерживающие факторы: Возможность наличия партнерских отношений с исследовательскими институтами в испытании методики в работе</p>

Продолжение таблицы 12

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Снижение стоимости разработок конкурентов. У2. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок.</p>	<p>Угрозы развития:</p> <p>У1С2. Несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, наши продукты имеют лучшие механические свойства, больше перспектив развития. У2С2. Наши продукты обладают лучшими механическими свойствами, являются более привлекательными мировом рынке.</p>	<p>Уязвимости:</p> <p>У1Сл4Сл5. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения погрешности и неопределенности.</p>
---	--	--

Таким образом, SWOT-анализ показал, что наиболее важные вопросы, которые необходимо решить в ходе реализации проекта, - это увеличение производства композитных нанопорошков с помощью автоматизированного завода и привлечение в команду компетентных экономистов и маркетологов.

3.2 Планирование проекта

3.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Целью проекта является воплотить экспериментальное получение опытных образцов $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$. Этапы проекта включают в себя:

- подготовка необходимого оборудования (ТЭУ-500, диагностические установки);
- подготовка реагентов;
- экспериментальная часть – получение образцов;
- исследование полученных образцов (ПЭМ, РФА и EDX-анализ);

Проект был реализован на базе ускорителя ТЭУ-500, осуществлялся двумя работниками. Состав проектной группы приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
---	---------------------------------------	----------------	---------

Продолжение таблицы 13

1	Холодная Галина Евгеньевна, научный сотрудник, к.т.н НИ ТПУ лаб. «№1»	Руководитель проекта (НР – научный руководитель)	Проведение экспериментов, предоставление заданий; консультации; обсуждение результатов, диссертации;
2	Салхаева Сания Сайрановна, НИ ТПУ, магистрант группы 0ДМ11	Исполнитель по проекту (И - инженер)	Проведение экспериментов, обработка результатов, написание ВКР

Для описания этих задач удобно построить линейную диаграмму, которая представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР	НР – 100%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Обсуждение литературы	НР, И	НР – 30% И – 100%
Эксперименты на ускорителе	НР, И	НР-100% И – 30%
Анализ результатов исследования	НР, И	НР-100% И – 30%
Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР-10% И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 70% И – 100%

3.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Расчет продолжительности этапов работ проводился двумя методами.

- Техничко-экономическим;
- Опытно-статистическим.

В данном случае используется опытнo-статистический метод, который реализуется двумя способами: [62]

- аналоговый;
- вероятностный.

$$t_{ожi} = \frac{3t_{mini} - 2t_{maxi}}{5}, \quad (10)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

Среднее значение трудоемкости составляет:

$$t_{ожi} = \frac{3 \cdot 14 + 2 \cdot 35}{5} = 22,4 \text{ чел. - дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес заработной платы в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (11)$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

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

Продолжительность одной работы составляет:

$$T_{pi} = \frac{22,4}{2} = 11,1 \text{ раб. дн.}$$

Для выполнения перечисленных в таблице 14 работ требуются:

- научный руководитель;
- магистрант;

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ

Длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (12)$$

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

T_{pi} – продолжительность выполнения i -ой работы в рабочих днях;

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (13)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Коэффициент календарности составляет:

$$k_{\text{кал. рук}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Продолжительность выполнения i -ой работы:

$$T_{ki} = 11,1 \cdot 1,22 = 13,54 \approx 14 \text{ кал. дн.} \quad (14)$$

В таблице 15 приведены расчеты временных показателей проведения научного исследования, а в таблице 16 представлен графический линейный график работ.

Таблица 15 – Временные показатели проведения НИР

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительно сть работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел- дни		t_{max} , чел- дни		$t_{ожі}$, чел- дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	2	-	4	-	2,8	-	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения работ	1	3	3	4	1,8	3,4	2,6	4
3. Обзор научной литературы	-	6	-	10	-	7,6	7,6	11
4. Выбор методов исследования	-	3	-	5	-	3,8	3,8	6
5. Планирование эксперимента	2	6	4	8	2,8	6,8	4,8	7
6. Подготовка образцов для эксперимента	-	5	-	7	-	5,8	5,8	9
7. Проведение эксперимента	-	15	-	20	-	17	17	25
8. Обработка полученных данных	-	10	-	15	-	12	12	18

Продолжение таблицы 15

9. Оценка правильности полученных результатов	2	3	4	5	2,8	3,8	3,3	5
10. Составление пояснительной записки		8		10	-	8,8	8,8	13
Итого:	7	59	15	84	13,5	68,5	68,5	102



На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 17).

Таблица 16 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп.1	4	■													
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп.1 Исп.2	4	■													
3	Обзор научной литературы	Исп.2	11		■												
4	Выбор методов исследования	Исп.2	6			■											
5	Планирование эксперимента	Исп.1 Исп.2	7			■											
6	Подготовка образцов для эксперимента	Исп.2	9				■										
7	Проведение	Исп.2	25					■									

Продолжение таблицы 16

№	Вид работ	Исп	T _{кi} , кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
	эксперимента														
8	Обработка полученных данных	Исп.2	18												
9	Оценка правильности полученных результатов	Исп.1 Исп.2	5												
10	Составление пояснительной записки	Исп.2	13												

Примечание:  – Исп. 1 (научный руководитель),  – Исп. 2 (инженер)

В данной подглаве был составлен список проводимых работ и состав группы – НР, инженер. Итогом планирования стал график реализации проекта, а расчёты показали, что на реализацию проекта необходимо 102 рабочих дня.

3.3 Бюджет проекта

Бюджет проекта включает в себя производство, затраты на исходные материалы, затраты на рабочую силу, прямые затраты, общие затраты. Бюджеты обеспечивают численное сравнение сметных и приблизительных фактических затрат по проекту.

3.3.1 Прямые материальные затраты

На получение 1,5 гр композиционного порошка затрачивается: 0,025 моль SiCl₄ и TiCl₄; 0,05 моль O₂; 0,1 моль H₂; 0,05 моль Ar (рассчитываем из

химической реакции по пропорции, например, для тетраоксида кремния – $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$ 1,5 гр, молярная масса 60, молярная масса тетраоксида кремния 170, составляем пропорцию $170 * 1,5 / 60 = 4,25$ гр, а количества вещества $4,25 / 170 = 0,025$ моль, аналогичный расчет для кислорода, водорода и аргона). Рассчитанная стоимость необходимого количества исходных реагентов представлена в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет стоимости исходных реагентов

Наименование материала	Ед. изм.	Цена за 1 ед., руб.	Требуемое количество	Стоимость затрат, руб
Тетрахлорид кремния, 99,9% (АО «Chemical Line», г. СанктПетербург)	л	3500	0,01	35
Тетрахлорид титана, 99,9% (АО «Chemical Line», г. СанктПетербург)	л	4500	0,01	45
Кислород (ООО «ГВС», г. Томск)	л	600	0,014	8,4
Водород (ООО «ГВС», г. Томск)	л	100	0,014	1,4
Аргон (ООО «ГВС», г. Томск)	л	212,5	0,014	2,9
Оксид меди (нанопорошок в.ч. 99.85%) («Плазмотерм», г. Москва)	кг	24500	0,00022	5,39
Всего за материалы				98,09
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				2,9
Итого по статье				95,19

Затраты на проведение анализов полученных порошков также должны быть включены в статью материальные затраты. В таблице 18 перечислены методы анализа полученных четырех образцов нанокompозита и стоимость услуг на проведение данных анализов.

Таблица 18 – Материальные затраты на проведение анализов образцов нанокompозита $Cu_xO_y@SiO_2@TiO_2$

Наименование	Цена за ед., руб.	Количество образцов	Сумма, руб.
Просвечивающая электронная микроскопия	6200	2	12400
Рентгено-фазовый анализ	300	2	600
Всего			13000
Транспортно-заготовительные расходы (3%)			390
Итого по статье			13390

Таким образом, материальные затраты на получение нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ состоят из затрат на исходные реагенты и проведение анализов, и составляют **13485,19** руб.

3.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Выполнение научно-исследовательской работы по плану занимает 4 месяца. Для моделирования и проведения расчётов используется персональный компьютер первоначальной стоимостью 60000 рублей. Срок полезного использования для офисной техники составляет от 2 до 3 лет. Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (15)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (16)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Таблица 19 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во	Срок полезного использования	Время использования, мес.	H_A	Цена оборудования, руб.	Амортизация
1	Импульсный ускоритель ТЭУ-500	1	15	0,16	7	1300000	1213
2	Дифрактометр «Shimadzu XRD – 6000»	1	20	0,1	5	18000000	7500
3	Просвечивающий электронный микроскоп (ПЭМ) JEOL-2100	1	20	0,16	5	18000000	12000
Итого:						20713 руб.	

3.3.3 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы

Оклад научного руководителя (в должности научного сотрудника)

составляет 34 453 рублей в месяц с учетом РК рублей. Оклад студента принимается равным окладу магистранта и составляет 14356 рублей. Количество месяцев работы без отпуска в течение года при отпуске в 45 раб. дней составляет 10,4 месяцев с 6-дневной рабочей неделей. Среднедневная заработная плата, с учетом среднего количества рабочих дней в месяц ~21, для руководителя составит 1640 рублей в день, для инженера – 684 рублей в день. Действительный годовой фонд на 2023 год составляет 254 раб. дня.

Статья включает в себя основную и дополнительную заработную плату. При этом основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (17)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 15).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (18)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дней; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 22140 = 3321 \text{ руб.} \quad (19)$$

– для инженера:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 46854 = 7028,1 \text{ руб.}$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб., $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (на стадии проектирования принимается равным 0,15).

Результаты расчётов по формулам 17, 18, 19 приведены в таблицах 20.

Таблица 20 – Расчет основной и дополнительной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{мс}, \text{руб}$	$k_{пр}$	$k_{д}$	k_p	$Z_m, \text{руб}$	$Z_{доп}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$Z_{осн}, \text{руб}$	$Z_{доп}, \text{руб}$
Руководитель	34 453	0,3	0,2	1,3	38792	1640	13,5	22140	3321
Инженер	14356	0,3	0,2	1,3	2980	684	68,5	46854	7028,1
Итого:								68994	10349,1
Итого по статье С_{зп}								79343	

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды рассчитываются по формуле:

$$Z_{внеб} = (Z_{осн} + Z_{доп}) \cdot k_{внеб}, \quad (20)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2023 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{доп}) = 0,3 \cdot (22140 + 3321) = 7638,3 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{\text{выб}} = k_{\text{выб}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (46854 + 7028,1) = 16164,63 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальные нужды (30% от статьи заработной платы) составили 23802,93 руб.

3.3.5 Накладные расходы

Накладные расходы принимаются в размере 10% от величины всех расходов.

Сумма 5 статьи затрат, рассчитанных выше, приведена в таблице 21 и используются для расчета накладных расходов.

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

Статьи					
1	2	3	4	5	6
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов
20713	13485,19	68994	10349,1	23802,93	137344,22

Величина накладных расходов определяется по формуле (21):

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{пр}}, \quad (21)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

Рассчитанная величина затрат на выполнение научно-исследовательских работ по синтезу и анализу нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ сведена в таблице 22.

Таблица 22 – Бюджет затрат на выполнение научно-исследовательских работ по синтезу и анализу нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$

№	Наименование статьи	Сумма, руб.		
		Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Материальные затраты НИР	13485,19	12297,2	15248

Продолжение таблицы 22

2	Затраты на специальное оборудование	20713	18560	37480
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	68994	68994	68994
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	10349,1	10349,1	10349,1
5	Отчисления во внебюджетные фонды	23802,93	23802,93	23802,93
6	Накладные расходы	27468,844	27468,844	27468,844
Бюджет затрат НИР		164813,064	161472,074	183342,874

3.4 Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности

Выполнение научно - исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно - технического и социального эффектов. В параграфе рассматриваются два способа получения, исполнение 1 – ИПХС метод (Текущий проект), исполнение 2 – золь-гель метод получения (Аналог 1), 3 – гидротермальный метод (Аналог 2). Научно - технический эффект характеризует возможность использования результатов в других проектах и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой техники. Экономический эффект характеризуется выраженной в стоимостных показателях экономией живого общественного труда. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда [63].

Для итоговой оценки результатов проекта в зависимости от поставленных целей в качестве критерия эффективности принимается один из видов эффекта, а остальные используются в качестве дополнительных характеристик [64].

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{финр}^i = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (22)$$

Где: I – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{164813,064}{183342,874} = 0,8 \quad , \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{161472,074}{183342,874} = 0,8 \quad , \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп3}} = \frac{183342,874}{183342,874} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a^i \cdot b^i, \quad (23)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i - го варианта исполнения разработки; a^i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки; b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки; n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 23)

Таблица 23 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1) Надежность	0,2	4	5	4
2) Универсальность	0,2	5	3	3
3) Простота получения	0,2	5	5	5
4) Возможности	0,2	5	4	4
5) Энергосбережение	0,2	5	4	4
Итого	1	4,8	4,2	4

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 = 4,8$$

$$I_{p-исп2} = 5 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 4,2$$

$$I_{p-исп3} = 4 \cdot 0,2 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2 = 4$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{финр}^{\text{исп1}}} \quad (24)$$

$$I_{исп1} = \frac{4,8}{0,8} = 6; \quad I_{исп2} = \frac{4,2}{0,8} = 5,25; \quad I_{исп3} = \frac{4}{1} = 4$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта (\mathcal{E}_{cp}):

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп1}}{I_{испmax}} \quad (25)$$

Таблица 24 Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп 1.	Исп 2.	Исп.3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,8	0,8	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,8	4,2	4
3	Интегральный показатель эффективности	6	5,25	4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,875	0,6

Сравнив значения интегральных показателей эффективности можно сделать вывод, что реализация импульсного плазмохимического синтеза является достаточно эффективной, чем золь-гель и гидротермальный метод, чтобы быть реализованной в данной работе с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Выводы по Главе 3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент» определен круг потенциальных потребителей результатов исследования. Выявлено, что наиболее вероятная область применения на данный момент – научные исследования.

2. Проведен SWOT-анализ проекта, в ходе которого были выявлены потенциальные внутренние и внешние сильные и слабые стороны, возможности

и угрозы. Анализ показал, что потенциальных сильных сторон у проекта больше, чем слабых, что доказывает перспективность разработок проекта.

3. В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Установлено, что рабочих днях длительность работ для научного руководителя составило 13,5 дней, а для инженера 68,5 дней. Самая продолжительная по времени работа – проведение эксперимента и обработка полученных данных.

4. Определены показатели ресурсоэффективности (4,8, 4,2 и 4 для текущей разработки, аналога 1 и аналога 2, соответственно), интегральный финансовый показатель (0,8, 0,8 и 1 для текущей разработки, аналога 1 и аналога 2, соответственно), интегральный показатель эффективности (6, 5,25 и 4 для текущей разработки, аналога 1 и аналога 2, соответственно) и сравнительная эффективность вариантов исполнения (1, 0,875 и 0,6 для текущей разработки, аналога 1 и аналога 2, соответственно), значения которых свидетельствуют о достаточно высокой эффективности реализации технического проекта.

5. Проработан бюджет выполнения работ из расчета на четыре месяца. Было рассчитано, что на получение двух образцов композиционного порошка $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$, полученного импульсным плазмохимическим методом, и проведение его анализа требуется сумма 164813,064 руб., основная часть которой относится к заработной плате.

По результатам проведенных исследований, можно сделать вывод о высокой теоретической и практической значимости выполнения данных научно-исследовательских работ.

4 Социальная ответственность

Получение и исследование наноразмерных порошков является важным этапом в создании новейших технологий и материалов с уникальными свойствами. Нанопорошки широко применяют в химической и фармацевтической промышленности, в нанoeлектронике и в машиностроении, в лакокрасочной промышленности, в химических аккумуляторах солнечной энергии, для очистки сточных вод и др. Нанотехнологии играют важную роль в охране окружающей среды. Но наночастицы способны причинить и огромный вред окружающей среде и здоровью человека. Из-за маленького размера, наночастицы химически более активны, благодаря большой суммарной площади поверхности, в результате этого малотоксичные продукты могут превратиться в супертоксичные. Также в материалах могут проявляться квантовые эффекты благодаря химическим и электрическим свойствам наночастиц, что может сделать продукт очень опасным. Более того, наночастицы способны проходить сквозь клеточные мембраны благодаря своему наноразмеру, повреждая при этом клетки. Поэтому нельзя недооценивать потенциальную опасность наночастиц.

В данном разделе рассмотрены безопасность и экологичность процесса изготовления композиционного порошка импульсным плазмохимическим методом на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 с использованием плазмохимического реактора, расположенным в НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ ТПУ.

4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Персонал лаборатории, работающий на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500, обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной

санитарии состоит из вводного инструктажа и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом [65].

Согласно инструкции №55 по охране труда на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 [66], к работе с ускорителем ТЭУ-500 допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование, имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы, прошедшие обучение, инструктаж по безопасности труда на рабочем месте (1 раз в 3 месяца) и проверку знаний требований безопасности (1 раз в год) в комиссии на допуск к работе:

Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения, в следующей последовательности:

- электромагнитное излучение (ускоритель ТЭУ-500);
- неблагоприятные условия микроклимата;
- шум;
- рентгеновское излучение;
- недостаточное освещение;
- вредные вещества;

4.2 Производственная безопасность

При работе на установке ТЭУ-500 имеют место опасные и вредные производственные факторы [66, 67]:

- опасные уровни напряжения в электрических цепях, замыкание которых может привести к поражению человека электрическим током (силовые цепи вакуумных насосов – 380 В, цепи питания приборов – 220 В, ГИН до 40 кВ);
- повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне (источник: ускоритель ТЭУ-500);
- химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях.

При работе с плазмохимическим реактором:

– повышенная пожароопасность при работе с кислородом.

Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы при работе с ускорителем ТЭУ-500 и нормативные документы сведены в таблице 25.

Таблица 25 – Возможные опасные и вредные факторы при работе с ускорителем ТЭУ-500

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ СН 2.2.4/2.1.8.562-96
Отсутствие естественного света	СП 52.13330.2016 СНиП 23-05-95
Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ
Повышенный уровень ионизирующих излучений в рабочей зоне	СанПиН 2.6.1.2523-09
Повышенная пожаро- и взрывоопасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ
Химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях	ПНД Ф 12.13.1-03 ПОТ Р М-004-97

4.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

1. Повышенный уровень шума

Основными источниками шума при выполнении исследовательской работы в помещении являются ускоритель ТЭУ-500, вытяжка, форвакуумные насосы. Ускоритель работает в импульсном режиме, и влияние шума от него можно рассматривать из пультовой, т.е. слабое воздействие. Вытяжка работает постоянно. Форвакуумные насосы работают только во время создания вакуума в реакторе и диодной камере, шум от которых не более 50 дБ.

Шум оказывает на организм человека неблагоприятное воздействие и может вызвать различного рода болезненные состояния, в том числе тугоухость

и глухоту. Длительное воздействие шума оказывает вредное влияние на ЦНС и психику человека. В результате воздействия шума у человека появляются симптомы переутомления и истощения нервной системы. Со стороны психики наблюдается подавленное настроение, понижение внимания, задерживаются интеллектуальные процессы, повышается нервная возбудимость. Шум снижает работоспособность и производительность труда. Уровень шума в лабораториях для проведения научных экспериментов, не должен превышать 75 - 80 дБА [68].

Нормируемые уровни шума обеспечиваются за счет применения малошумного оборудования, применением звук поглотительных материалов (специальные перфорированные плиты, панели, минерал ватные плиты). Кроме того, необходимо использовать подвесные акустические потолки.

2. Отсутствие естественного света

Согласно СНиП 23-05-95 работа в лаборатории имеет разряд зрительной работы VIII а. Освещение должно быть таким, чтобы не давать глазам ощущения напряжения. При плохом освещении оператор быстро устает, работает медленнее, возникает опасность ошибочных действий. Кроме того, плохое освещение может привести к некоторым профессиональным заболеваниям. Требуется обеспечить нижеприведенные условия:

- устойчивая и равномерная освещенность;
- тени должны быть мягкими;
- глаза должны быть защищены от попаданий прямых солнечных лучей.

Ускоритель ТЭУ-500 и пультовая к нему расположены в помещении без окон и естественное освещение там отсутствует. В периоде любого промежутка времени, применяется искусственное освещение (люминесцентные лампы), так как свечение от них приближено к естественному. Для достижения требуемого качества освещения установлены люминесцентные лампы на потолке и на верхней части стен. Норма освещения должна составлять 300 лк [69].

2.1 Расчет системы искусственного освещения

Производственное помещение, где располагается установка ТЭУ-500, имеет следующие параметры (таблица 26).

Таблица 26 – Параметры помещения 03, корпус 11Г НПЛ ИПЭПТ ИШНПТ ТПУ

Длина (A), м	Ширина (B), м	Высота (H), м	Высота рабочей поверхности над полом (h_{pn}), м
5,63	5,58	2,94	1,3

Согласно СНиП 23-05-95, необходимо создать освещенность данного помещения не ниже $E_H = 200$ лк, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности).

Рассчитаем площадь помещения S :

$$S = A \cdot B = 5,63 \cdot 5,58 = 31,4 \text{ м}^2. \quad (26)$$

Коэффициент отражения стен, оклеенных светлыми обоями $R_c = 30\%$, свежепобеленного потолка $R_{п} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли, $k = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z = 1,1$.

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем тип светильника ОД – 2-40 (две лампы мощностью 40 Вт каждая) с длиной $l_{cs} = 1,23$ м, шириной $= 0,266$ м и КПД $= 75\%$.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников для люминесцентных светильников без защитной решётки $\lambda = 1,4$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0$ м.

Определяем расчетную высоту светильника над рабочей поверхностью по формуле:

$$h = H - h_c - h_{pn} = 2,94 - 0 - 1,3 = 1,64 \text{ м}. \quad (27)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами светильников L рассчитываем по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 1,64 = 2,296 \text{ м.} \quad (28)$$

Расстояние от крайнего ряда светильников до стены:

$$L/3 = 0,8 \text{ м.}$$

Определяем число рядов светильников $n_{\text{ряд}}$ в помещении и количество светильников в ряду $n_{\text{св}}$:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{(B - 2L)}{3L} + 1 = \frac{(5,58 - 2 \cdot 2,296)}{3 \cdot 1,81} + 1 \approx 2. \quad (29)$$

$$n_{\text{св}} = \frac{(A - 2L)}{3L + 0,5} = \frac{(5,63 - 2 \cdot 2,296)}{1,23 + 0,5} \approx 2. \quad (30)$$

Размещаем светильники в три ряда. В каждом ряду можно установить по два светильника типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,23 м), при этом расстояние между светильниками в ряду составит 1,57 м. На рисунке 32 изображен план помещения и размещения на нем светильников. Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N_l = 8$.

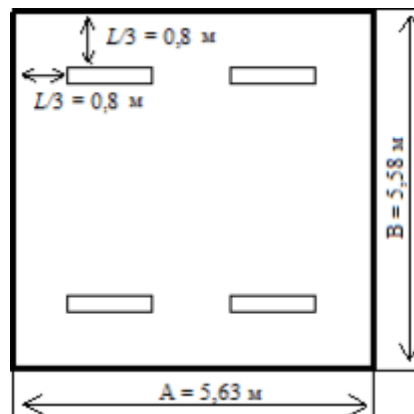


Рисунок 32 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Индекс помещения i определим по формуле:

$$i = S/h(A + B) = 31,4/(1,64(5,63 + 5,58)) \approx 1,7. \quad (31)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для

светильников типа ОД с люминесцентными лампами при $R_c = 30\%$, $R_{\Pi} = 70\%$ и индексе помещения $i = 1,7$ равен $\eta = 0,6$.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп в каждом из рядов определяем по формуле:

$$\Phi_{\Pi} = \frac{E_H \cdot S \cdot k \cdot Z}{N_{\text{л}} \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 31,4 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,6} = 2159 \text{ лм.} \quad (32)$$

Ближайшая по параметрам стандартная лампа – ЛД мощностью 40 Вт со световым потоком 2300 лм.

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\%. \quad (33)$$

$$\frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\Pi}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% = \frac{2300 - 2159}{2300} \cdot 100\% = 6,1\% \quad (34)$$

Получаем: $-10\% \leq 6,1\% \leq +20\%$. Необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Определяем электрическую мощность осветительной установки Р:

$$P = 8 \cdot 40 = 320 \text{ Вт}$$

Таким образом, в производственном помещении площадью 31,4 м², где ведутся работы с импульсным электронным ускорителем ТЭУ-500, в соответствии с характеристикой зрительной работы (грубая, очень малой точности), для создания освещенности данного помещения не ниже $E_H = 200$ лк, необходимо четыре светильника ОД – 2-40 (две лампы мощностью 40 Вт каждая), при этом электрическая мощность осветительной установки будет равна 320 Вт.

3. *Повышенное значение напряжения в электрической цепи*

Источниками высокого напряжения при работе с ускорителем ТЭУ-500 являются силовые цепи вакуумных насосов – 380 В, цепи питания приборов – 220 В, ГИН – до 300 кВ на выходе, высоковольтный трансформатор – 35–40 кВ на выходе [66].

При прикосновении к незащищенным частям электрооборудования, которое находится под напряжением или протекает ток, человек может подвергнуть себя и/или часть своего тела опасности. Чувствительным значением для организма является пропускание тока номиналом более 1 мА.

Самым неприятным является то, что человек не может органами чувств заблаговременно предчувствовать там или в ином месте наличие напряжения и тока. Поражение электрическим током приводит к повреждению наиболее важных органов: сердце и легкие, которые играют наиболее важные роли в жизнеобеспечении организма. Это является второй особенностью воздействия тока на организм человека. Токи промышленной частоты силой в 10-15 мА могут вызывать интенсивные и резкие мышечные судороги. Напряжение в силовых цепях вакуумных насосов (380 В, 50 Гц), прикосновение к ним влечет за собой летальный исход. Высокое напряжение достигает в генераторе импульсных напряжений до 300 кВ, а в высоковольтном трансформаторе до 35-40 кВ, что в свою очередь является очень опасным параметром.

Важным параметром при поражении электрическим током является среда окружения (влажность, температура и т.д.). Также нужно отметить площадь соприкосновения с поражающим элементом тела человека.

Обеспечение безопасности установок при их нормальном режиме работы производится за счет применения следующих защитных мер:

- применением изоляции;
- недоступностью токоведущих элементов;
- применением низких напряжений;
- изоляцией элементов, в которых есть ток от земли [70].

Действие напряжения на организм человека несет за собой массу влияний. Электротравму человек может получить как при непосредственном контакте с токоведущими частями, так и при поражении напряжением прикосновения или шага, через электрическую дугу. При поражении человека электрическим током, могут быть отдельно или в совокупности: электрический

шок, электрические знаки, электрические ожоги, электрометаллизация кожи (в т.ч. и электроофтальмия), клиническая смерть и летальный исход.

Для защиты от высокого напряжения предусмотрены блокировки включения высоковольтного трансформатора при открытой входной двери. Предлагаемыми средствами коллективной защиты от данного опасного фактора являются: информационные таблички, размыкатели и встроенная в генераторе система отключения при коротком замыкании, защитное заземление. В качестве средства индивидуальной защиты должны использоваться диэлектрические перчатки, штанги для снятия остаточного напряжения, и диэлектрические коврики [71].

4. Повышенный уровень излучений в рабочей зоне

Как и любая электроустановка, электронный ускоритель ТЭУ-500 способен создавать электромагнитные поля. Следствием воздействия электромагнитного излучения на организм является функциональное нарушение со стороны нервной системы, которое проявляется в виде вегетативных дисфункций неврастенического и астенического синдрома. Лица подверженные электромагнитному излучению, жалуются на слабость, раздражительность, утомляемость, ослабление памяти и расстройство сна. Зачастую этим симптомам сопутствуют расстройства вегетативных функций. Нарушения со стороны сердечно - сосудистой системы проявляются, в большинстве случаев, нейроциркуляторной дистонией, гипотонией, болью в области сердца [72].

Предельно допустимый уровень электромагнитного поля: $E = 500 \text{ В/м}$. Ускоритель находится в металлическом корпусе, являющимся защитным экраном от электромагнитного излучения. Так как величина электромагнитного излучения незначительна, нет необходимости в использовании дополнительных средств коллективной и индивидуальной защиты [73].

При выполнении работы выделяется небольшая доля рентгеновского излучения, вследствие взрывной эмиссии электронов с катода ускорителя.

Рентгеновское излучение может вызвать изменение в кожном покрове, напоминающее солнечный ожог, но с более глубоким повреждением кожи, временные или постоянные изменения в составе крови, подверженность лейкемии, раннее старение. Облучение кроветворных органов вызывает заболевания крови, половых органов - бесплодие. Систематическое облучение может привести к генетическим изменениям в организме.

Во избежание облучения, используются средства коллективной защиты. На момент экспериментов рабочий персонал находится в пультовой, отделенной от установки бетонной стеной и металлической дверью, которая не пропускает рентгеновское излучение. Также входная металлическая дверь защищает коридорное пространство лаборатории от облучения. Входная дверь в высоковольтный зал, где находится ускоритель, блокируется с включением высокого (ускоряющего) напряжения так, чтобы исключить возможность случайного облучения персонала. При работе в лаборатории применяется персональный дозиметр, который далее сдается на анализ, подтверждающий не облученность персонала при работе с ускорителем.

Помещение 03 подвергнуто определению радиационной обстановки и соответствует основным санитарным правилам обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99), и нормам радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [73].

5. Повышенная пожаро- и взрывоопасность

Источником повышенной пожаро- и взрывоопасности является ускоритель ТЭУ-500: нарушение правил его эксплуатации, неисправность оборудования, нарушение технологического процесса производства, нарушение правил пожарной безопасности (ППБ 01-03).

Основными поражающими факторами пожаров на человека являются: тепловое излучение и токсическое действие продуктов горения. В результате, человек может получить как ожоги тела, так и ожоги верхних дыхательных

путей разных степеней. Отравление токсическими продуктами горения является основной причиной смерти человека при возникновении пожара.

Для персонала, работающего в помещении без окон, где расположен ускоритель, это особенно опасно, поскольку даже при незначительном пожаре помещение быстро заполнится горячим воздухом и дымом. Для обеспечения пожарной безопасности при работе на импульсном ускорителе электронов ТЭУ-500, должно быть обеспечено наличие:

- углекислотного огнетушителя - 1 шт.;
- пенного огнетушителя - 1 шт.;
- ящика с песком и совком - 1 шт.

Для корпусов ТПУ разработан план эвакуации, в котором указаны пути эвакуации, эвакуационные и аварийные выходы, установлены правила поведения людей, порядок и последовательность действий в условиях чрезвычайной ситуации. Помещение, где установлен ускоритель ТЭУ-500, 98 оборудовано системой автоматической пожарной сигнализации, а также системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

6. Химические вещества в порошкообразном, жидком и газообразном состояниях

При получении композиционных нанопорошков исходными веществами являются SiCl_4 , TiCl_4 , Cu_xO_y , Ar , O_2 , H_2 . Аргон находится в газовых подушках, в реактор подается через герметичное соединение. Токсичность побочного продукта импульсного плазмохимического синтеза реагента SiCl_4 (ПДК=1,0 мг/м³). Неблагоприятное влияние оказывает вдыхание наноразмерного порошка, который проникает в дыхательную систему и вызывает раздражение. Попадая на кожу, нанопорошок проникает в кожные поры, при этом может вызвать зуд и жжение [74, 75].

Поскольку в настоящий момент эксперименты производятся с безопасным для организма человека объемом производимого порошка,

средства индивидуальной защиты включают в себя только респиратор, а при вскрытии реактора обязательно использование резиновых перчаток.

В дополнение к существующим средствам защиты лаборатории приняты следующие меры:

– для вытяжки опасных летучих примесей из плазмохимического реактора используется вентиляция с фильтром абсолютной чистки. Данный фильтр обеспечивает задержку частиц меньше 0.1 микрона и защищает окружающую среду от радиоактивной пыли и аэрозольных примесей.

– используются перфокарты для сбора порошка, полиэтиленовые пакеты для транспортировки, что препятствует попаданию опасного вещества в рабочую зону [76].

– для защиты глаз используются специальные очки.

Также персонал, при работе на ТЭУ-500, должен быть обеспечен спецодеждой (халат х/б, перчатки резиновые, нарукавники пластиковые (дежурные), спецобувь (сапоги).

4.3 Экологическая безопасность

Воздействие на атмосферу

Синтез наноразмерного порошка плазмохимическим методом на установке ТЭУ-500 предполагает использование химических и взрывоопасных материалов, которые хранятся в надежно закрытой стеклянной таре на полке вытяжного шкафа (ацетон, уайт-спирит, $TiCl_4$, хлороводород) и в полушках (аргон, водород, кислород). Выбросы газообразных веществ в атмосферу, которые являются побочным продуктом синтеза нанопорошков, происходят только через вытяжную систему при наличии фильтров.

Воздействие на гидросферу

Воздействие на гидросферу не оказывается, поскольку вода используется только для охлаждения паромасляного насоса ускорителя без

контакта с загрязняющими веществами. Радиоактивные отходы в производственном процессе не образуются.

Воздействие на литосферу

Накапливаемые производственные отходы складываются в стальной бак на входе в производственное помещение и далее утилизируются. Организация сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов является полномочиями органов местного самоуправления в области обращения с отходами и регулируется Федеральным законом Российской Федерации от 24 июня 1998 года № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления», Федеральным законом от 10 января 2002 года № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», Федеральным законом от 30 марта 1999 года № 52-ФЗ «О санитарно – эпидемиологическом благополучии населения», а также санитарноэпидемиологическими правилами и нормативами [77].

По мере отработки, в источнике питания и в насосах меняется масло. Согласно п.6. ГОСТ Р 56828.42-2018 [78], обращение с отходами отработанных масел включает следующие основные этапы:

- сбор отработанных масел;
- накопление или хранение отработанных масел отдельно или в смеси;
- транспортирование отработанных масел;
- подготовка отработанных масел к утилизации;
- утилизация отработанных масел;
- обращение с вторичными отходами.

Отработанное масло с насосов установки ТЭУ-500 сливается в емкости, не хранится в помещении, а сдается в Отдел главного инженера ТПУ, в основные задачи которого входит осуществление производственного экологического контроля в области охраны окружающей среды и экологической безопасности в целях обеспечения выполнения в процессе хозяйственной и иной деятельности мероприятий по охране окружающей

среды, рациональному использованию природных ресурсов, а также в целях соблюдения требований в области охраны окружающей среды, установленных законодательством в области охраны 106 окружающей среды, и утилизируется в соответствии с правилами утилизации [78].

4.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В процессе работ на ускорителе ТЭУ-500 могут возникнуть аварийные чрезвычайные ситуации:

- короткое замыкание в силовых цепях питания оборудования;
- деструкция плазмохимического реактора (возникает опасность взрыва);
- пролив химических реактивов при подготовке к эксперименту;
- отключение подачи холодной воды;
- возникновение пожара.

При коротком замыкании в силовых цепях питания оборудования необходимо:

- отключить пульт управления ускорителя от сети;
- обесточить ускоритель, установив в нижнее положение ручку рубильника.

При деструкции плазмохимического реактора необходимо покинуть помещение, оставив включенной вентиляцию до полного исчезновения запаха.

При отключении холодной воды при работе паромасляного насоса необходимо закрыть затвор высоковакуумной откачки.

При несчастном случае с наличием пострадавших необходимо:

- принять меры по освобождению пострадавшего от действия травмирующего объекта;
- оказать пострадавшему первую помощь в зависимости от вида травм;

– поставить в известность о случившемся руководство и принять меры к эвакуации пострадавшего в лечебное учреждение или вызвать скорую (тел. 03, моб. 103).

Среди возможных ЧС наиболее вероятным является возникновение пожара. Пожар может произойти вследствие перегрева электродов или проблем с изоляцией.

Для предотвращения возникновения пожара применяются следующие шаги: проверка персонала на предмет знаний пожарной безопасности, выполнение работ в соответствии с правилами, плановый осмотр установок.

Экспериментальная установка устойчива к возникновению пожара, т.к. в корпусе плазмохимического реактора встроена рубашка охлаждения, все токоведущие части надежно изолированы и проверяются согласно плану. Если все же возникнет пожар, персонал будет действовать в следующем порядке:

- вызвать пожарный расчет;
 - отключить все электроустановки;
 - закрыть окна и двери, чтобы убрать сквозняк и доступ кислорода для горения;
 - воспользоваться первичными средствами пожаротушения (огнетушитель ВП, УК или П) или песком. При невозможности - начать эвакуацию [79];
- сообщить о пожаре администрации лаборатории и института.

Выводы по Главе 4 Социальная ответственность

Данный раздел включает в себя исследование безопасности и экологичности процесса эксплуатации импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500, а также рассмотрение возможных проблем и опасных факторов во время проведения эксперимента в лаборатории ТПУ.

Было представлено, что реакция плазмохимического синтеза, как экспериментальная часть проекта, делает его работой средней тяжести. Как

внешние, так и реакционные факторы влияют на ход эксперимента. Среди факторов, являющихся вредоносными и опасными для сотрудников лаборатории, стали шум установок, отсутствие естественного света, повышенная пожаро- и взрывоопасность. Факторы, сопровождающиеся ходом эксперимента, такие как рентгеновское излучение, повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, токсичность химических элементов, также могут оказывать неблагоприятное воздействие.

По результатам анализа вредных и опасных факторов, был определен алгоритм действий по предупреждению и возникновению чрезвычайных ситуаций, вызванных данными факторами при эксплуатации импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500.

Заключение

В рамках выполнения диссертационной работы импульсным плазмохимическим методом были получены и исследованы порошки наноразмерного композита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$.

В ходе работы был выполнен обзор литературы по данной тематике, рассмотрены методы получения композитов и физико-химические свойства их элементов. Изучен принцип работы импульсного электронного ускорителя ТЭУ-500, приобретены навыки работы на диагностическом оборудовании установки. Описаны методы анализа нанопорошков, такие как просвечивающая электронная микроскопия, рентгенофазовый анализ, EDX анализ.

В рамках выполнения диссертации был проведен анализ финансового менеджмента, а именно, определены ресурсная, финансовая, бюджетная, социальная и экономическая эффективности исследования.

Были рассмотрены вредные и опасные факторы при эксплуатации импульсного ускорителя ТЭУ-500 и определен алгоритм действий по предупреждению и возникновению чрезвычайных ситуаций.

Выполненная работа имеет теоретическую и практическую значимость. Было впервые продемонстрировано использование метода импульсного плазмохимического синтеза для получения нанокompозита $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Yang C. Nanoconfined antimony in sulfur and nitrogen co-doped three-dimensionally (3D) interconnected macroporous carbon for high performance sodium-ion batteries / Li W, Yang Z, Gu L. // Nano Energy.-2015. - 18:12-19.
2. Pan D. Li storage properties of disordered graphene nanosheets / Wang S, Zhao B, Wu M, Zhang H, Wang Y. // Chemistry of Materials. - 2009. - 21:3136-3142.
3. Shao Y. Sodium ion insertion in hollow carbon nanowires for battery applications / Xiao J, Wang W, Engelhard M, Chen X, Nie Z. // Nano Letters. – 2013. - 13:3909-3914.
4. Kaskhedikar N.A., Maier J. / Lithium storage in carbon nanostructures // Advanced Materials. – 2010. - 21:2664-2680.
5. Roy R. Alternative perspectives on “quasicrystallinity”: non-uniformity and nanocomposites/ Roy R.A., Roy D.M. // Materials Letters.- 1986.- 4(8-9):323-328.
6. Braun T. Nanoscience and nanotechnology on the balance / Schubert A, Sindelys Z. // Scientometrics. - 1997. - 38(2):321-325.
7. G. E. Kholodnaya, D. V. Ponomarev, R. V. Sazonov, O. P. Lapteva. Effect of the Addition of a Buffer Gas during Pulsed Plasma-Chemical Synthesis on the Structural and Morphological Characteristics of $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{SiO}_2$ and $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{TiO}_2$ Nanocomposites // Journal of Materials Engineering and Performance. - 2022. - Vol. 31, iss. XX. - 11 p.
8. R. V. Sazonov, G. E. Kholodnaya, D. V. Ponomarev, O. P. Lapteva. Effect of Conditions of the Pulsed Plasma-chemical Synthesis on Physicochemical Properties of the $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{TiO}_2$ Nanocomposite // Current Nanomaterials. - 2022. - Vol. 7, iss.3. - P. 215-222.
9. G. E. Kholodnaya, D. V. Ponomarev, R. V. Sazonov [et al.]. Effect of the concentration of the starting reagents and the design of the reaction chamber on the morphology and phase composition of the $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{SiO}_2$ nanocomposite synthesized by the pulsed plasma-chemical method // Inorganic and Nano-Metal Chemistry. - 2021. - Vol. XXX. - 11 p.

10. Homaunmir V. Dependence Properties of Sol-Gel Derived CuO@SiO₂ Nanostructure to Diverse Concentrations of Copper Oxide / Tohidi S. H., Grigorya G., Ayatollah Zada Shirazi M. // Journal of Nanoparticles, Volume 2013, Article ID 156813, 5 pages.
11. Kakhki R. M., Ahsani F., Mir N. Enhanced photocatalytic activity of CuO@SiO₂ nanocomposite based on a new Cu nanocomplex // Mater Sci: Mater Electron (2016) 27:11509–11517 DOI 10.1007/s10854-016-5279-6.
12. Niu X., Zhao T., Yuan F., Zhu Y. Preparation of Hollow CuO@SiO₂ Spheres and Its Catalytic Performances for the NO + CO and CO Oxidation // Scientific reports, 2015, 5: 9153 DOI: 10.1038/srep09153.
13. Rajabzadeh M., Khalifeh R., Eshghi H., Hafizi A. Design and synthesis of CuO@SiO₂ multi-yolk@shell and its application as a new catalyst for CO₂ fixation reaction under solventless condition // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. -Vol.89. - 2020, Pages 458-469 DOI: 10.1016/j.jiec.2020.06.020.
14. Kordas G. Incorporation of spherical shaped CuO@SiO₂ light microtraps into CuCoMnO_x spinels to enhance solar absorbance // Journal of the American Ceramic Society, Volume 103, Issue 3, 1 March 2020, Pages 1536-1541 DOI: 10.1111/jace.16851.
15. Ramya E., Thirumurugan A., Rapheal V.S., Anand K. CuO@SiO₂ Nanoparticles assisted photocatalytic degradation of 4-nitrophenol and their antimicrobial activity studies // Environmental Nanotechnology, Monitoring and Management. - Vol. 12. - 2019. DOI: 10.1016/j.enmm.2019.100240.
16. Wang X., Xu L., Hao Y., Zhang J., Cui F., Cui T., Zhang Q. Self-catalytic synthesis of CuO@SiO₂ nanocomposites under neutral condition and its catalytic performance // Chemistry Letters, Volume 47, Issue 2, 2018, Pages 228-231 DOI: 10.1246/cl.170952.
17. Khiavi N.D., Katal R., Eshkalak S.K., Masudy-Panah S., Ramakrishna S., Jiangyong H. Visible light driven heterojunction photocatalyst of CuO@Cu₂O thin films for photocatalytic degradation of organic pollutants // Nanomaterials, Volume 9, Issue 7, July 2019. 1011 DOI: 10.3390/nano9071011.

18. Wu J., Zhao X., Xue L., Su H., Zeng S. Barrier effect of SiO₂ shell over hollow CeO₂@CuO@SiO₂ catalysts for broadening temperature window of total CO conversion // *Journal of Rare Earths*, Volume 38, Issue 1, January 2020, Pages 46-51 DOI: 10.1016/j.jre.2018.11.005.
19. Chen L.F., Guo P.J., Qiao M.H., Yan S.R., Li H.X., Shen W., Xu H.L., Fan K.N. Cu@SiO₂ catalysts prepared by the ammonia-evaporation method: Texture, structure, and catalytic performance in hydrogenation of dimethyl oxalate to ethylene glycol. *J. Catal.* 2008. - 257:172-180. doi: 10.1016/j.jcat.2008.04.021.
20. R. Zarzuela, M. Carbu, M. Gil, J. Cantoral. CuO@SiO₂ nanocomposites: A multifunctional coating for application on building stone // *Materials and Design* 114; (2016) DOI:10.1016/j.matdes.2016.11.009.
21. Liu X.Q. Preparation of CuO@C core-shell nanowires and its application in lithium ion batteries / Li Z, Zhang Q, Li F, Kong T. // *Mater Lett* 2012. - 80:37-9.
22. Qiu D.F. In situ growth of CuO nanoparticles on graphene matrix as anode material for lithium-ion batteries / Zhao B, Lin Z.X., Pu L, Pan L.J., Shi Y. // *Mater Lett* 2013. - 105:242-5.
23. Д. Ф. Браун. Разработка таблицы начальной изоляции и защитных расстояний для руководства по реагированию на чрезвычайные ситуации / Х. М. Хартманн, В. А. Фриман и В. Д. Хейни // ANL, АНЛ, Аргонн, Иллинойс. - 2009 г.
24. Kathie L. D. A resource for exposure relevant data on chemicals in consumer products // *Scientific Data*, volume 5. - 180125. - 2018.
25. M. Imanaka, T. Katayama, Y. Ohshiro, H. Arai and H. Arai, *Rev. Sci. Instrum.* 75(5). - 2004. - pp. 1907-1909.
26. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. М.: Физматлит. - 2007. - 416 с.
27. И.П. Суздаев. Нанотехнология: Физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. Изд. 2-е, испр. – М.: Книжный дом «Либроком». - 2009. - 592 с.

28. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Изд. Центр «Академия», - 2005. - 192 с.
29. Gunter B., Kumpmann A. Ultrafine oxide powders prepared by inert gas evaporation // *Nanostruct. Mater*, 1992. V.1. №1. P.27-30.
30. Yuuki Mochizuki, Javzandolgor Bud, Jiaqian Liu, and Naoto Tsubouchi, “Production of Silicone Tetrachloride from Rice Husk by Chlorination and Performance of Mercury Adsorption from Aqueous Solution of the Chlorinated Residue,” *ACS Omega* 2020, 5, 29110-29120.
31. G. Wisz, P. Sawicka, M. Sibinski. $\text{TiO}_2@\text{CuO}@\text{Cu}_2\text{O}$ Photovoltaic nanostructures prepared by dc reactive magnetron sputtering. *Nanomaterials* 2022, 12, 1328. <https://doi.org/10.3390/nano12081328>.
32. D. Barreca, G. Carraro, E. Comini, Alberto Gasparotto. Novel synthesis and gas sensing performances of $\text{CuO}@\text{TiO}_2$ nanocomposites functionalized with Au nanoparticles // *J. Phys. Chem. C* 2011, 115, 10510-10517.
33. Shemakhin, A. Y. Experimental installation to study the RF plasma flow at low pressures with experiment data synchronization / Zheltukhin, V. S., Shemakhin, E. Y., Terentev, T. N., & Sofronitsky, A. O. // *Journal of Physics: Conference Series*. - DOI: 10.1088/1742-6596/1588/1/01. - 2018.
34. Saifutdinova, A. A. Plasma chemical decomposition of hydrocarbons on the basis of the micro-arc discharge with disc electrodes rotating in the bulk of raw materials / Sofronitskiy, A. O., Timerkaev, B. A., & Saifutdinov, A. I. // *Russian Physics Journal* : DOI: 10.1007/s11182-020-01957-0.
35. A.V. Uschakova, I.V. Karpova, A.A. Lepsheva, M.I. Petrov, “Plasma-chemical synthesis of copper oxide nanoparticles in a low-pressure arc discharge,” Siberian Federal University, 660041.
36. G. Kholodnaya, D. Ponomarev, R. Sazonov and O. Lapteva. Pulsed plasma- chemical synthesis of $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2$ nanocomposite. *Phys. Chem. Res.*, Vol. 11, No. 2, 425-436 (2023).

37. I. Zalite, J. Grabis, "Plasma Processed Nanosized-Powders of Refractory Compounds for Obtaining Fine-Grained Advanced Ceramics," 2011 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 18 062024.
38. J. Grabis, I. Zalite, Mat.Sci.Forum, 2007, 555, 267-272.
39. S. Gupta and M. Tripathi, "A review on the synthesis of TiO₂ nanoparticles by solution route," Open Chemistry, vol. 10, no. 2, pp. 279-294, 2012.
40. S. L. Isley and R. L. Penn, "Titanium dioxide nanoparticles: effect of Sol-Gel pH on phase composition, particle size, and particle growth mechanism," Journal of Physical Chemistry C, vol. 112, no. 12, pp. 4469–4474, 2008.
41. C. D. C. Escobar and J. H. Z. D. Santos, "Effect of the sol-gel route on the textural characteristics of silica imprinted with Rhodamine B," Journal of Separation Science, vol. 37, no. 7, pp. 868–875, 2014.
42. H. Bai, Z. Liu, and D. D. Sun, "A lithium-ion anode with micro-scale mixed hierarchical carbon coated single crystal TiO₂ nanorod spheres and carbon spheres," Journal of Materials Chemistry, vol. 22, Article ID 18807, 2012.
43. D. R. Coronado, G. R. Gattorno, M. E. Pesqueira, C. Cab, R. D. Coss, and G. Oskam, "Phase-pure TiO₂ nanoparticles: anatase, brookite and rutile," Nanotechnology, vol. 19, no. 14, Article ID 145605, 2008.
44. S. Yadav and G. Jaiswar, "Review on undoped/doped TiO₂ Nanomaterial; synthesis and photocatalytic and antimicrobial activity," Journal of the Chinese Chemical Society, vol. 64, no. 1, pp. 103–116, 2017.
45. S. Zavar, "A novel three component synthesis of 2-amino4H-chromenes derivatives using nano ZnO catalyst," Arabian Journal of Chemistry, vol. 10, pp. S67-S70, 2017.
46. Y. Aparna, K. Venkateswara Rao, P. Srinivasa Subbarao, "Preparation and Characterization of CuO Nanoparticles by Novel Sol-Gel Technique," Journal of nano- and electronic physics Vol. 4 No 3, 03005(4pp). - 2012.
47. Новое в технологии получения материалов / Под ред. Ю.А. Осипьяна и А. Хауффа. - М.: Машиностроение, 1990. - 448 с.

48. H. Wang, Q. Zhang, H. Yang, J. Zou. Preparation of CuO@TiO₂ nanocrystalline powders by the sol-gel method. Rare metal materials and engineering. - 2004.
49. M. Yaseen, S. Farooq, A. Khan, N. Shah, L. Shah, S. Bibi, I.Khan, S.Ahmad. CuO@SiO₂ based nanocomposites: Synthesis, characterization, photocatalytic, antileishmanial, and antioxidant studies. Journal of the Chinese Chemical Society. - 2022. - Vol.69, p. 1637-1653.
50. S.W. Oh, H.J. Bang, Y.C. Bae, Y.-K. Sun: J. Power Sources. - 2007. DOI:10.1016/j.jpowsour.2007.04.087.
51. Remnev G.E., Furman E.G., Pushkarev A.I., Karpuzov S. B., Kondrat'ev N. A., Goncharov D.V., Instrum. Exp. Tech., 47, 394, 2004.
52. Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers, European standard EN 61869-3, 2012.
53. P. C. Hiemenz and R. Rajagopalan, Principles of Colloid and Surface Chemistry, Third Edition, Marcel Dekker, Inc., New York, 1997.
54. Griffiths, P. R., AND J. A. DE HASETH, Fourier Transform Infrared Spectrometry. New York: Wiley, 1986.
55. Shtansky D. V., Kaneko K., Ikuhara Y., Levashov E. A. Surf. Coat. Technol., 2001, v. 148, p. 206.
56. Graczyk J. F., Chaudhari P. Phys. Status Solidi B, 1973, v. 58, p. 163.
57. Y. Li, Y. Wang, K. D. Pennell and L. M. Abriola, Environ. Sci. Technol., 2008, 42, 7174–7180.
58. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма, 1994. 264 с.
59. Г.Б. Бокий, М.Л. Порай-Кошиц. Практический курс рентгеноструктурного анализа. МГУ, 1851г.
60. Стоимость Аэросил - 300. Интернет ресурс, ссылка на сайт URL: <http://www.epital.ru/mts/aerosil300.html>.

61. М.Г. Карпунина и Б.И. Майданчика. Основы функционально - стоимостного анализа. Учебное пособие // М.: Энергия, 1980. - 175 с.
62. Фролова Т.А. Экономика предприятия. Конспект лекций. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. Электронный ресурс. Административно - управленческий портал. Ссылка на сайт: URL: http://www.aup.ru/books/m203/7_1.html.
63. Хунгуреева И.П., Шабыкова Н.Э., Унгаева И.Ю. Экономика предприятия. Учебное пособие // – Улан-Удэ, Изд-во ВСГТУ, 2004. - 240 с.
64. Бондарец А. В., Бородина Т. В. Экономика организации (предприятий). Учеб.пособие // Волгоград. ВолгГТУ, 2005. - 31 с.
65. Основы охраны труда. Гродно- 2009. Режим доступа свободный. Ссылка на сайт <http://www.bestreferat.ru/referat-132448.html>.
66. Инструкция №55 по охране труда на импульсном электронном ускорителе «ТЭУ-500» (установка 1-2) Лаборатория №1 комната 03 корпуса 11Г, ТПУ, Томск, 2011.
67. Инструкция №53-рб по радиационной безопасности при работе на установке. Электронный ускоритель ТЭУ-500 (установка 17.17. -2) Лаборатория №1 комната 03 корпуса 11Г, ТПУ, Томск, 2017.
68. ПОТ Р М-016-2001 РД 153-34.0-03.150 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. Москва, 2001.
69. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200292> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.
70. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200313> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.
71. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902170553> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

72. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. - 4с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200272> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

73. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. - 6с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/901853847> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

74. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. - 12 с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

75. ГН 2.2.5.1313–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны. Гигиенические нормативы. - 8 с.

76. ГОСТ 12.4.011–89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация. - 6 с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200000277> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

77. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.7.1322-03 «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления». - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902065388> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

78. ГОСТ Р 56828.42-2018 Наилучшие доступные технологии. Утилизация отработанных масел. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200159495> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

79. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования. - 4 с. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/5200234> (дата обращения: 23.03.2023). - Текст: электронный.

Приложение А

(обязательное)

Pulsed plasma chemical synthesis of nanoscale composites

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ11	Салхаева Сания Сайрановна		

Консультант НОЦ Б.П. Вейнберга ИЯТШ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков школы ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИЯ	Матвеев И.А.	д.фил.наук		

Приложение А

2 Experimental part. Results and discussions

This chapter consistently describes the stages of plasma chemical synthesis of $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ composite nanoparticles. The final product of the reaction should be a white powder, with an average particle size of no more than 200 nm and a thickness of no more than 50 nm.

To study the morphology and geometric size of the synthesized nanocomposite, a transmission electron microscope "JEOL-2100" with an accelerating voltage of 200 kV (JEOL, Japan) was used. Using the Photoshop program, the geometric particle size was manually measured with a sample of more than 1000 particles. To determine the crystal structure of the synthesized $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ nanocomposite, a Shimadzu XRD – 6000 diffractometer (Shimadzu, Japan) was used. Diffraction spectra were obtained using filtered $\text{CuK}\alpha$ -radiation (electric current: 40 mA, electric voltage: 45 kV, wavelength: 1.5405 Å). The reflexes were taken in the scanning mode with a step of 0.02° in the range from 0 to 75° .

2.1 The process of plasma chemical synthesis

$\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ powder was obtained in two consecutive stages. The general scheme of the two stages is shown in Figure 22.

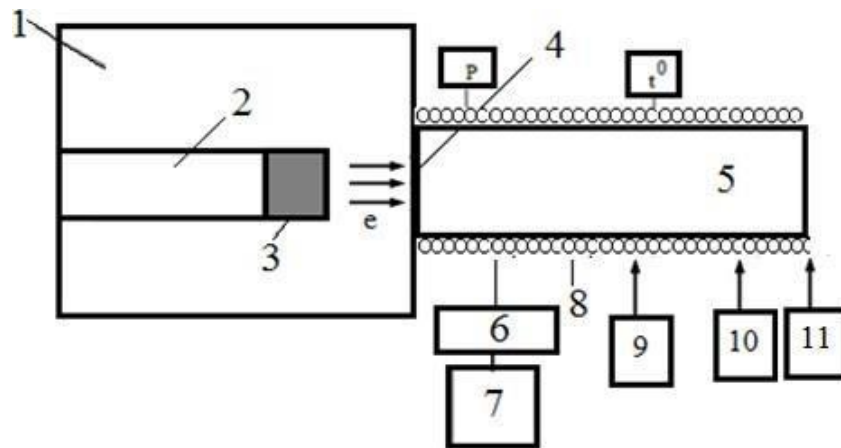


Figure 22 – Scheme of the synthesizing plant: 1 – chamber of the TEA-500 accelerator; 2 – cathode mount; 3 – cathode; 4 – anode; 5 – plasma chemical reactor (PCR); 6 – pumping valve; 7 – pre-vacuum pump; 8 – PCR heating system; 9 – O₂ cushion; 10 – cushion H₂; 11 – SiCl₄/ TiCl₄ dispenser.

At the first stage, according to preliminary calculations, a nanoscale composite Cu_xO_y@SiO₂ was to be obtained. To do this, CuO powder was used as a reagent, which was obtained by the method of an electric explosion of a conductor.

The average geometric particle size of Cu_xO_y powder did not exceed 40 nm. Silicon tetrachloride (SiCl₄, 99,8%), oxygen (O₂, 99,9%) and hydrogen (H₂, 99,9%) were used to produce SiO₂. The plasma formation experiment to obtain a Cu_xO_y@SiO₂ sample was performed in PCR under the action of a pulsed electron beam. The scheme of the first stage of synthesis is shown in Figure 25.

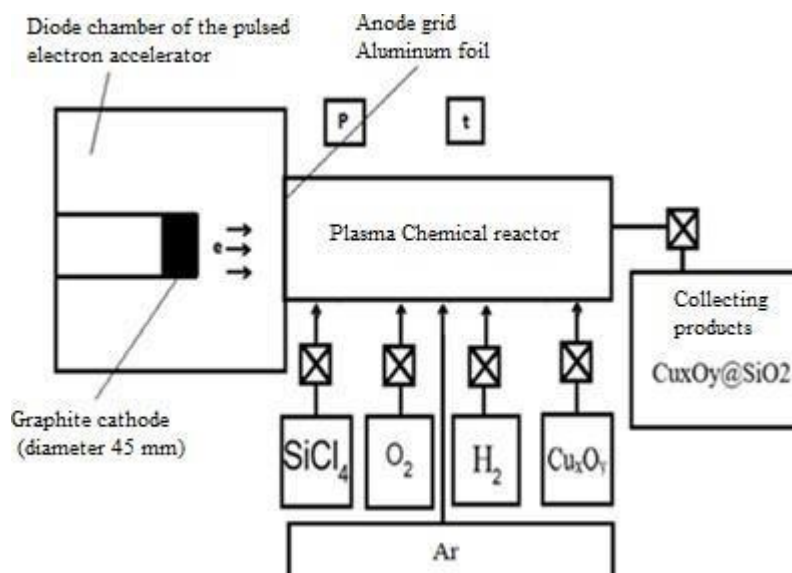


Figure 25 – Scheme of the 1st stage of obtaining $\text{Cu}_x\text{O}_y@SiO_2@TiO_2$

The essence of plasma chemical synthesis was that the initial reagents, namely SiCl_4 , O_2 , H_2 , Cu_xO_y , were introduced into PCR, which was initially heated to a temperature of 350 K and pumped to a pressure of ~ 1 Pa. An electron beam with a kinetic energy of 450 gev, a duration of 60 ns and a beam current of 3 kA is injected into the reactor chamber. In one pulse, a volumetric excitation of the reaction gas occurs by a pulsed electron beam, followed by reactions in the excitation region. Under the action of the beam, a nonequilibrium plasma arises, and, consequently, chemical reactions are triggered, the product of which is a nanocomposite. Table 3 shows the initial concentrations of reagents used for the first stage of synthesis.

Table 3 – Concentration of initial reagents of the first stage of synthesis

Sample number	SiCl_4 , mmol	H_2 , mmol	O_2 , mmol	Cu_xO_y , g	Ar, mmol	Number of pulses
Sample 1	62	40	80	0.4	12	1
Sample 2	62	40	80	0.4	12	1

The second stage of synthesis of the nanocomposite $\text{Cu}_x\text{O}_y@TiO_2@SiO_2$ occurred immediately after the first. Without opening the chamber lid, the initial

reagents were introduced, namely titanium tetrachloride (TiCl_4), oxygen, hydrogen, and a pulsed beam was injected into the mixture of the previous synthesis (Fig. 24).

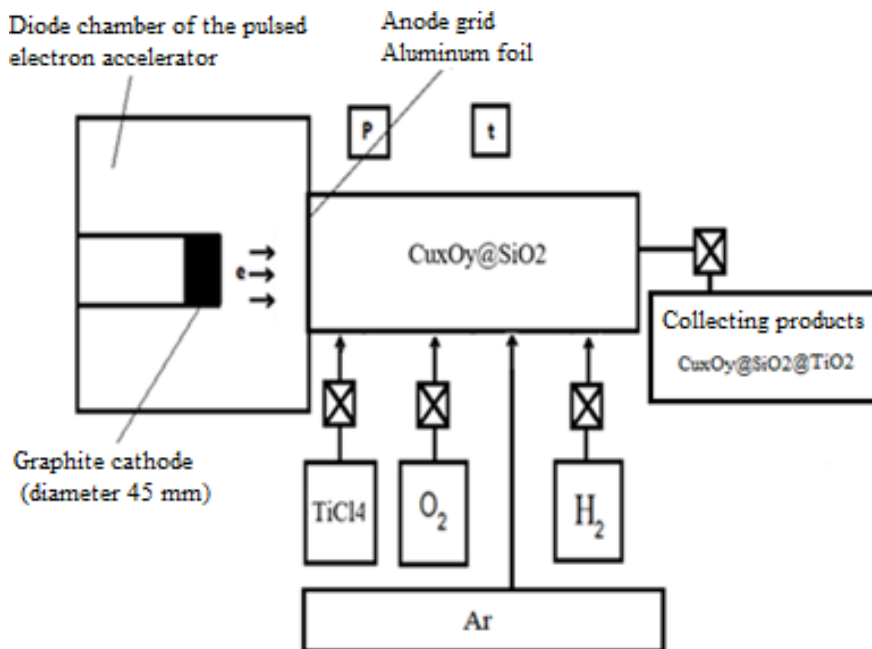


Figure 24 – Scheme of the 2nd stage of obtaining $\text{Cu}_x\text{O}_y@SiO_2@TiO_2$

The concentration of the initial reagents of the second stage of synthesis is shown in Table 4.

Table 4 – Concentration of initial reagents of the second stage of synthesis.

Sample number	TiCl_4 , mmol	H_2 , mmol	O_2 , mmol	Ar, mmol	Number of pulses
Sample 1	20	26	80	12	1
Sample 2	40	26	80	12	1

The final product of the two-stage synthesis reactions is the $\text{Cu}_x\text{O}_y@SiO_2@TiO_2$ composite powder (Fig. 25).

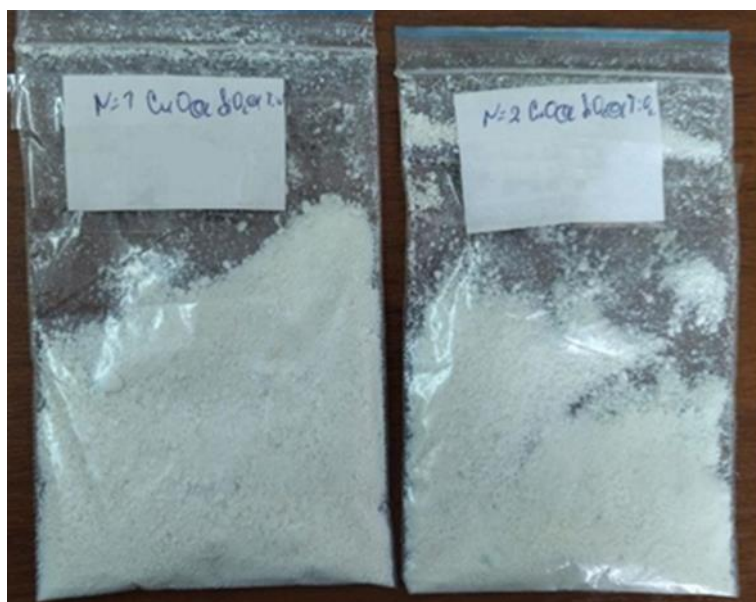


Figure 25 – Photos of two samples of the obtained $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ nanopowder

The obtained samples 1 and 2 were used for geometric and X-ray phase analyses.

2.2 TEM analysis of the obtained powders $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$

The morphology and geometric particle size of the resulting nanoscale sample was determined using a transmission electron microscope. The resulting images are shown in Figures 26-27.

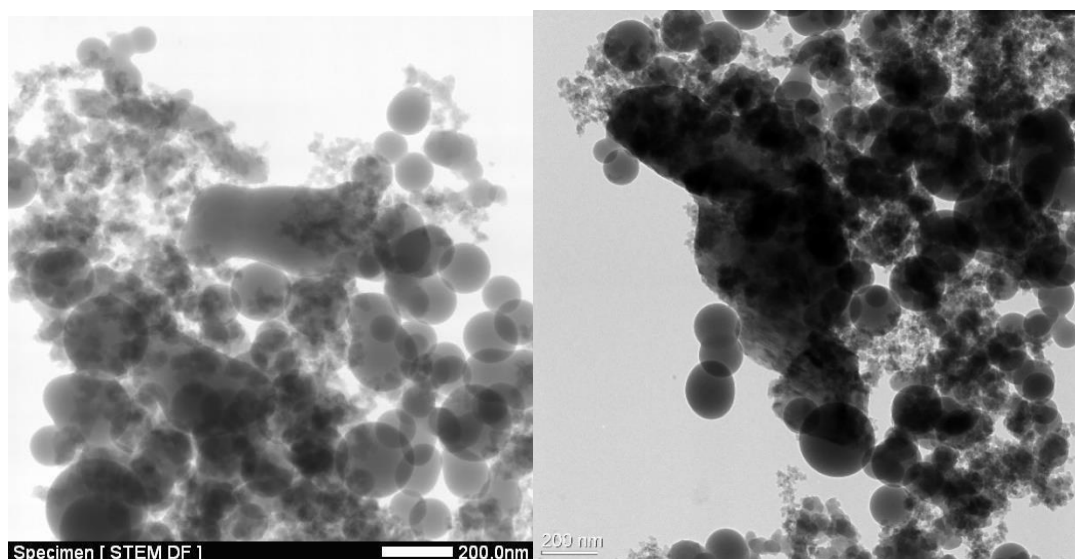


Figure 26 – Photos of nanoscale powder $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{SiO}_2@ \text{TiO}_2$. Sample No. 1.

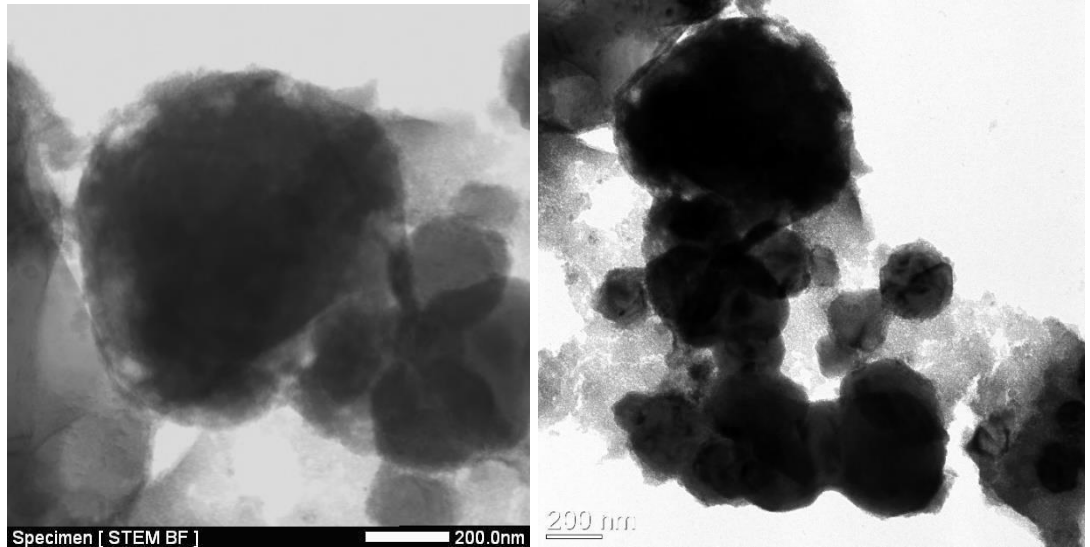


Figure 27 – Photos of nanoscale powder $\text{Cu}_x\text{O}_y@ \text{SiO}_2@ \text{TiO}_2$. Sample No. 2.

Figures 26 and 27 show that the composite has a complex structure. Samples 1 and 2 are characterized by the presence of large and fine particle fractions. Some of the particles in both samples have a shape close to spherical, one can also see oval-shaped nuclei. Calculations showed that the geometric size of some particles exceeded 150 nm. The particles of sample 2 are coated with a shell whose thickness does not exceed 40 nm.

Further, in the course of the work, microdiffractograms of the obtained samples were taken (Figure 28).

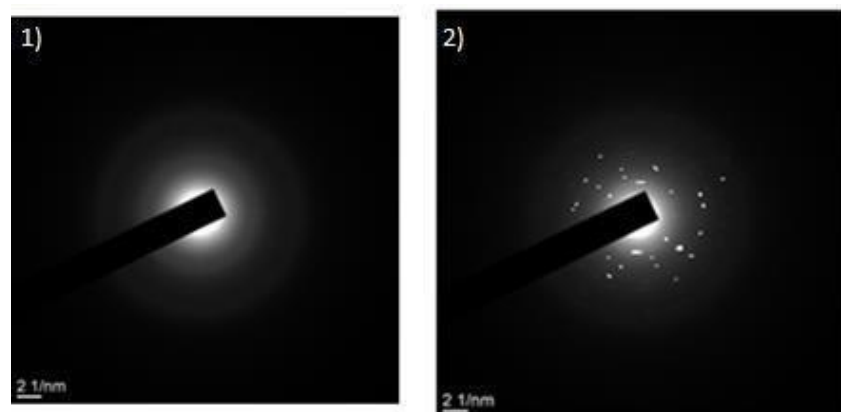


Figure 30 – Images of microdiffractograms of particles of samples 1 (1) and 2

(2)

Figure 28 shows that, unlike sample 1, sample 2 contains bright reflexes characteristic of the crystal lattice. For sample 1, a halo characteristic of amorphous silicon dioxide was observed on the microdiffractogram.

2.3 EDX analysis of composite powders $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$

Samples 1 and 2 were examined using the EDX method, which allows for qualitative and quantitative analysis of samples, namely, the chemical composition and relative content of each element (Table 5) (Fig. 29-30).

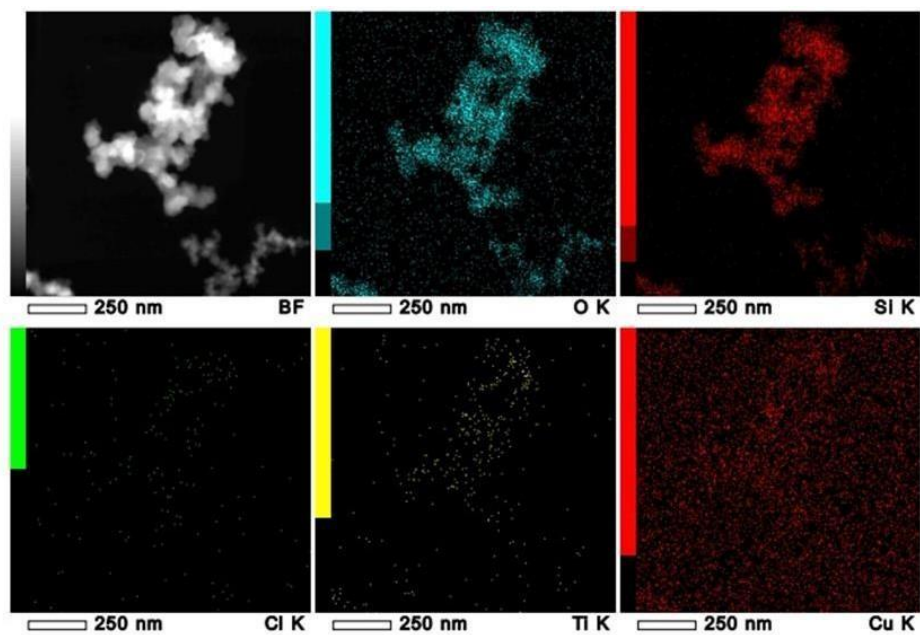


Figure 29 – Color windows displaying elements of sample 1

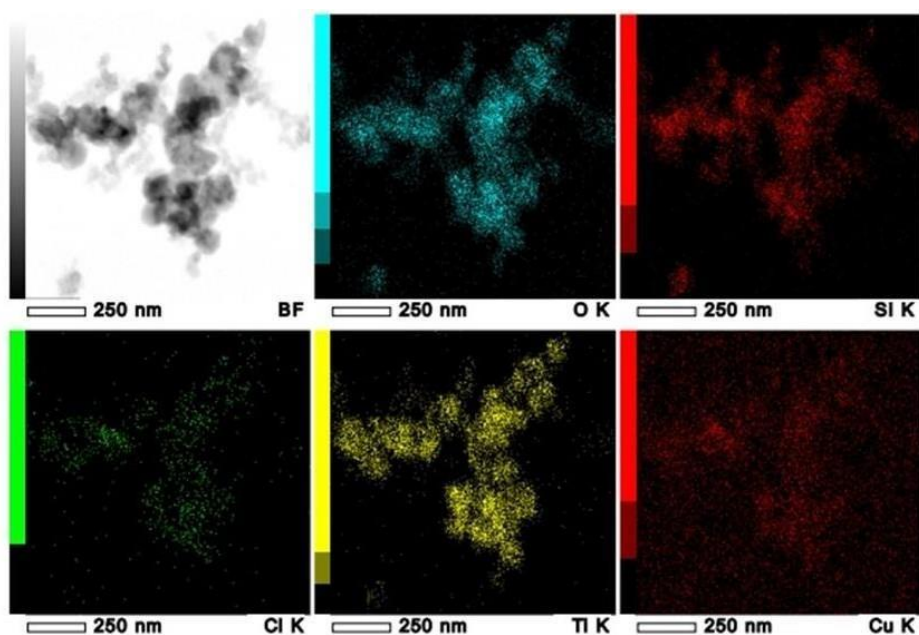


Figure 30 – Color windows displaying elements of sample 2

Table 5 – Relative content of oxygen, silicon, titanium, copper and chlorine in samples 1 and 2 according to EDX spectra

Element	Mass. %	
	Sample 1	Sample 2
O	40.97	32.73
Si	15.70	10.92
Ti	0.78	19.17
Cu	42.42	35.95
Cl	0.14	1.23

Figures 25-26 show that an increase in the TiCl_4 content in the second stage of synthesis for sample 2 showed differences in the titanium content. There is practically no titanium in sample 1 when titanium oxide crystals are present in sample 2. The low chlorine content suggests the presence of crystalline phases in both samples.

2.4 X-ray phase analysis of the obtained samples

The crystal structure of the nanoscale powder $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2@\text{SiO}_2$ was

determined by X-ray phase analysis (Figure 31).

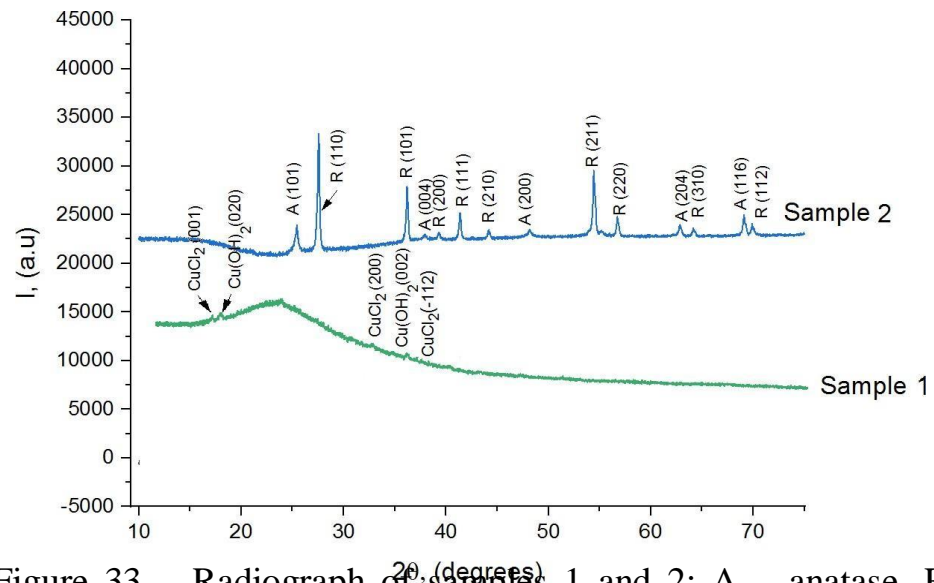


Figure 33 – Radiograph of samples 1 and 2: A – anatase, R – rutile

Studies of the phase composition have shown that sample 2 of the $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ nanocomposite is represented by two types of crystal lattices - anatase and rutile. The figure shows that the phase composition of nanocomposites is affected by the concentration of the initial reagents (sample 1 and 2). For sample 1, the absence of extensive peaks confirms that the nanoparticles of the $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ composite are in an amorphous state. Fixed reflexes for CuCl_2 ((001), (200), (-112) (JCPDS No.35-0690)).

Sample 2 is also characterized by an amorphous halo, but several crystalline phases are present. Intense reflexes (111), (220) are characteristic of the Si crystal structure (JCPDS No. 27-1402). A small peak of $2\theta=48.9^\circ$ corresponds to the crystalline phase of Cu (JCPDS: 03-1015). Peaks $2\theta=25.6^\circ$ and 56.23° on the X-ray correspond to the crystalline phase of CuCl (JCPDS 77-2383).

Despite the fact that both samples were synthesized under the same conditions of temperature, pressure in the chamber, and the amount of pulse applied, an increase

in the content of titanium tetrachloride for sample 2 gave differences in phase analysis.

Conclusions on Chapter 2 Experimental part. Results and discussions

In this paper, the principal possibility of obtaining a nanoscale composite by pulsed plasmochemical method is shown. Using the data from [7-9], synthesis conditions for obtaining a three-element $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ composite were compiled, namely, the concentrations of the initial reagents, temperature, pressure data and pulse parameters were selected.

$\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ powder was obtained by two-stage synthesis. A geometric study using TEM analysis showed the presence of large spherical particles, the average size of which exceeded 150 nm. Sample 2 is characterized by the presence of a shell consisting of particles with an average size of 10-20 nm. Microdiffractograms obtained on a microscope showed the presence of bright reflections in the 2nd sample, characteristic of titanium oxide crystal lattices.

EDX analysis showed an elemental difference in the two samples, namely, the almost complete absence of Ti in sample 1. The X-ray obtained by X-ray analysis confirmed the amorphous phase of sample 1 by the absence of intensity peaks, when sample 2 showed the presence of phases characteristic of titanium dioxide - anatase and rutile with a ratio of 5:8.

In order to conclude that the $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2@\text{TiO}_2$ composite has turned out or it is a mixture of $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{SiO}_2$ and $\text{Cu}_x\text{O}_y@\text{TiO}_2$ powders, it is necessary to conduct additional studies with changes in the concentration of the initial reagents, in particular, copper oxide, the heating temperature of the working chamber, the number of pulses injected into the mixture of the initial reagents.