МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет информационных технологий и электроники
наименование факультета

Кафедра *Нано – и микроэлектроника*
наименование кафедры

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника
код и наименование

Профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ02. 11.03.04. 007 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Исследование влияния аллотропных модификаций углерода на морфологию и оптические свойства оксида цинка
тема бакалаврской работы

Студент группы 22ПД1 — 09.06.26 — Поспехова А.В.
номер группы — подпись, дата — фамилия, иниц.

Руководитель доцент — 09.06.26 — Якушова Н.Д.
должность наименование организации — подпись, дата — фамилия, иниц.

Нормоконтролер ст. преподаватель — 15.06.26 — Рыжова Т.Н.
должность — подпись, дата — фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 10.06.26 № 10)

Заведующий кафедрой — 15.06.26г. — Пронин И.А.
подпись, дата — фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой отлично (протокол ГЭК от 18.06.26 № 3)

Секретарь ГЭК — 18.06.26 — Вольсков А.А.
подпись, дата — фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 68 страниц машинописного текста, включает 17 рисунков, 1 формулу, список используемых источников из 73 наименований и 3 приложения.

ОКСИД ЦИНКА, АЛЛОТРОПНЫЕ ФОРМЫ УГЛЕРОДА, ГРАФИТ, ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ, УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ, НАНОСТРУКТУРЫ, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Объект исследования: наноструктурированные плёнки оксида цинка, модифицированные различными аллотропными модификациями углерода, полученные в рамках золь-гель технологии.

Предмет исследования: оптические и морфологические свойства золь-гель пленок на основе оксида цинка, модифицированные различными аллотропными модификациями углерода.

Цель проведенной работы: исследование влияния типа модификатора на оптические и морфологические свойства плёнок оксида цинка.

Актуальность представленной работы заключается в установлении корреляций между применяемыми модификаторами, структурой поверхности, определяемой методом растровой электронной микроскопии и оптическими свойствами, определяемыми методом оптической спектрофотометрии, в контексте управления функциональными характеристиками материала. Комплексный анализ спектров пропускания и морфологии поверхности тонких золь-гель пленок направлен на оптимизацию состава и топологии композитных покрытий для последующего создания высокочувствительных газовых сенсоров, фотокатализаторов и прозрачных проводящих электродов.

Для достижения поставленной цели была поставлена и решена задача подбора оптимальных модификаторов для управления оптическими свойствами (пропусканием пленок) и морфологией поверхности получаемых материалов для применения в газовой сенсорике, фотокатализе или для создания прозрачных проводящих покрытий.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1 Литературный обзор способов модификации пленок оксида цинка аллотропными модификациями углерода 6
1.1Области применения оксида цинка как функционального материала 6
1.2 Виды аллотропных модификаций углерода. Их влияние на оптические свойства оксида цинка 19
1.3 Применение оксида цинка, модифицированного аллотропными модификациями углерода 30
2 Исследование морфологических и оптических свойств пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными формами углерода 42
2.1 Методика синтеза пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными модификациями углерода 42
2.2 Исследование оптических свойств материалов на основе оксида цинка.. 44
2.3 Определение оптической ширины запрещенной зоны методом Тауца…46
2.4 Исследование морфологических свойств материалов на основе оксида цинка 48
3 Обеспечение электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования 53
3.1 Профилактика и действия при поражении электричеством. Меры безопасности 53
3.2 Обеспечение противопожарной безопасности 55
3.3 Профилактика производственных травм 56
3.4 Испытания и маркировка оборудования 57
Заключение 59
Список использованных источников 61
Приложение А. Задание на бакалаврскую работу 69
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ" 73
Приложение В. Презентация к ВКР 76

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире особое место занимают композитные материалы на основе широкозонных полупроводников, среди которых оксид цинка (ZnO) является одним из наиболее перспективных. ZnO сочетает в себе уникальные оптические, люминесцентные, пьезоэлектрические и фотокаталитические свойства. Благодаря этому он находит широкое применение в оптоэлектронике, сенсорике, УФ-детекторах и системах очистки воды. Основной проблемой для оксида цинка остается возможность управления морфологией и шириной запрещенной зоны. В связи с этим введение аллотропных модификаций углерода начало пользоваться популярностью. Аллотропные модификации углерода имеют разную форму – от классического графита и углеродных нанотрубок до графена и алмазоподобных структур. Каждая из этих форм обладает собственной электронной структурой, размерностью и химической активностью, что предопределяет различный характер взаимодействия с поверхностью ZnO.

В данной работе исследуются свойства пленок оксида цинка, с добавлением аллотропных форм углерода (графит, углеродные нанотрубки, наносферы). Исходя из цели исследования основными задачами являются:

- подобрать оптимальный набор модификаторов для обеспечения высокого значения пропускания тонкой пленки;
- исследовать полученные материалы методом оптической спектрофотометрии в спектральном диапазоне от 200 до 1110 нм;
- используя метод Тауца определить значение оптической ширины запрещенной зоны материалов;

- исследовать морфологию поверхности золь-гель пленок оксида цинка с модификаторами путем анализа данных растровой электронной микроскопии.

Несмотря на имеющиеся работы, систематическое исследование влияния конкретной аллотропной модификации углерода на морфологию кристаллитов ZnO и его оптические характеристики остается недостаточно изученным, что и определяет актуальность данной дипломной работы.

1 Литературный обзор способов модификации пленок оксида цинка аллотропными модификациями углерода

1.1 Области применения оксида цинка как функционального материала

В последние десятилетия междисциплинарная область нанотехнологий привела к существенным открытиям в науке и промышленности. Популяризатором нанотехнологий стал выдающийся физик-теоретик Ричард Фейнман. Синтез и применение наноструктурированных материалов играют ключевую роль в современной науке и технике. Благодаря широкому спектру применений наноструктуры стали незаменимыми, демонстрируя свою значимость и универсальность в различных сферах. Особый интерес вызывают металлические и оксидные наноструктуры благодаря их потенциалу для применения в медицине, экологии, сельском хозяйстве, электронике и сенсорике.

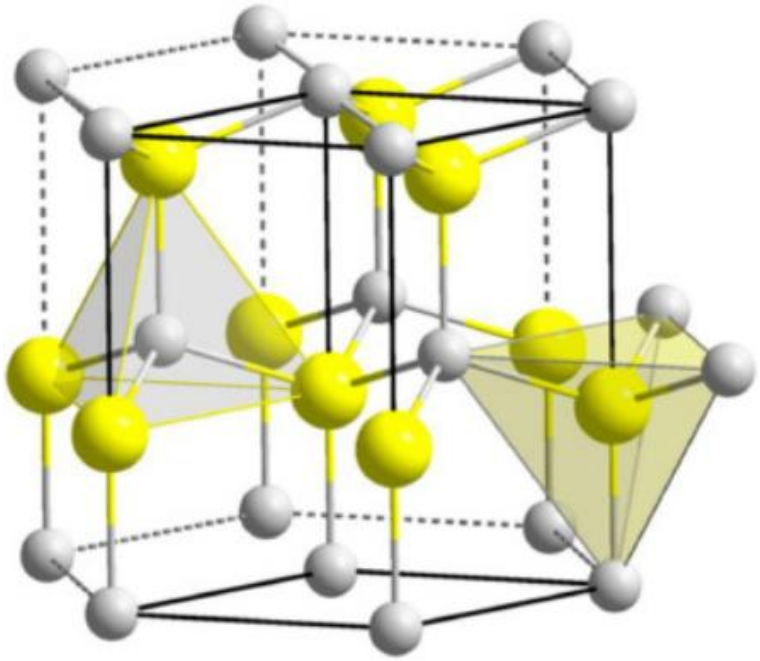
Наноматериалы на основе оксида цинка могут быть синтезированы широким набором методов. Так, в работе [1] авторы указывают, что эти методы можно условно разделить на две основные группы: «сверху вниз» и «снизу вверх». На рисунке 1 приведены возможные стратегии синтеза материалов на основе оксида цинка [1].

Рисунок 1 – Стратегии синтеза материалов на основе оксида цинка

Широко известно, что наноматериалы на основе оксида цинка могут быть изготовлены в виде различных форм, что расширяет возможности их практического применения. Авторы в статье [2] приводят сведения о том, что оксид цинка обладает наибольшим разнообразием структур среди многих известных наноматериалов. Он может быть синтезирован в одномерных (1*D*), двухмерных (2*D*) и трехмерных (3*D*) структурах. Таким образом, он может быть получен в виде наностержней, наночастиц, трубок, лент, нанопластин, наногранулы, тонких пленок, а также «наноцветов» и т.д. [2].

Оксид цинка представляет собой универсальный материал с широким спектром применения в различных областях, таких как химия, материаловедение, биология и нанотехнологии, электроника, сенсорика благодаря простоте и экологичности синтеза, биосовместимости и высокой химической стабильности. Для получения пленок ZnO используются различные физические и химические методы. К числу наиболее известных химических методов получения пленок ZnO относятся золь-гель (с использованием погружного и центрифужного нанесения), гидротермальный метод, химическое осаждение из раствора и метод последовательной адсорбции и реакции ионных слоев [3].

Оксид цинка обычно встречается в форме вюрцита, типичный вид кристаллической структуры приведен на рисунке 2 [4]. В исследовании [5] указано, что он обладает новыми свойствами, отличающими его от объемных материалов.



Zn – желтый, O – белый

Рисунок 2 – Структура кристаллической фазы вюрцита ZnO

Наноматериалы на основе оксида цинка, широко используемого оксида металлов в области катализа и фотокатализа, привлекают огромное внимание. Так в работе [6] сказано, что ZnO–универсальный материал, который можно легко синтезировать в различных формах: в виде нанотрубок, наностержней, нанопластинок, нанопроволок, наногранул и наноцветов. В структуре кристаллической решетки ZnO относительно легко возникают дефекты, которые приводят к образованию различных морфологий в зависимости от процесса синтеза. Эти дефекты возникают в процессе получения материала под влиянием изменений в растворителе, концентрации, температуре, давлении и времени синтеза. Эти факторы могут влиять на морфологию наноструктуры ZnO, что, в свою очередь, изменяет кристаллическую структуру материала. Кроме того, наноматериалы на основе оксида цинка обладают такими интересными свойствами как большая площадь поверхности, оптическая активность, антимикробная активность, биологическая активность и превосходная фотокаталитическая активность.

На рисунке 3 приведены современные области применения оксида цинка [3].

Рисунок 3 – Области применения оксида цинка как функционального материала

Для конкретных практических применений необходимы свои технологии синтеза оксида цинка. Часто также среди наиболее распространенных методов синтеза наноструктур на основе оксида цинка можно выделить синтез микроэмульсий, механохимическую обработку, распылительный пиролиз и сушку, синтез в высокочастотной плазме, самосборку, процесс парофазного переноса, микроволновый синтез, прямое осаждение и гомогенное осаждение [7].

Известно, что для получения, например, наночастиц используется большой набор методик, которые объединяют в три группы: биологические, химические и физические. Биологические методы, также известные как «зеленый синтез», используют метаболиты растений, бактерий, грибов и других организмов. В настоящее время это одно из перспективных

направлений развития технологии экологически чистого производства оксида цинка.

Однако, одним из наиболее распространенных методов является золь-гель синтез [8]. Этот метод относится к химическим технологиям синтеза «снизу вверх». Благодаря относительной простоте управления процессом синтеза метод может быть существенно модифицирован под конкретные практические приложения. В качестве исходных веществ для производства могут использоваться нитраты, сульфаты, хлориды и другие соли цинка в том числе для контроля *pH* золя и предотвращения осаждения гидроксида цинка.

Физические методы, такие как ультразвуковая обработка, плазменные методы и осаждение из паровой фазы, также могут использоваться для получения наноструктур оксида цинка.

Оксид цинка широко применяется как материал для чувствительных элементов газовых сенсоров. Наноструктурированный ZnO был получен в работе [9] двумя различными методами синтеза: традиционным золь-гель методом и комбинацией методов парофазного переноса и контролируемого окисления. По результатам исследований чувствительности к O_3, NO_2, CO и H_2S оба типа датчиков показали заметный отклик по отношению ко всем протестированным газам, демонстрируя в основном очень хорошую реакцию на окисляющие газы, в частности, на озон. Однако, детектирование угарного газа пленками, полученными золь-гель методом, эффективнее из-за более высокого потенциального барьера, чем у оксида цинка, полученного по второй методике.

На сегодняшний день в области фотокатализа ZnO стал ведущим эффективным и многообещающим кандидатом для создания экологически чистых систем управления окружающей средой благодаря своим уникальным характеристикам, таким как прямая и широкая запрещенная зона в ближней ультрафиолетовой области спектра, высокая способность к окислению, хорошие фотокаталитические свойства и большое количество свободных

экситонов с высокой энергией связи, так что процессы экситонной эмиссии могут сохраняться при комнатной температуре или даже выше нее [10]. Хорошо известно [11], что ZnO может быть получен в виде белых гексагональных кристаллов или белого порошка, известного как «белый цинк». Для ZnO характерна кристаллическая структура типа «вюрцит», как и нитрида галлия, но, в отличие от GaN, ZnO доступен в виде крупных монокристаллов. ZnO – важный полупроводниковый материал, применяется в катализе, резиновой и лакокрасочной промышленности, производстве керамических изделий, варисторов, также обладает уникальным и широким потенциалом применения в оптоэлектронике, полевых транзисторах, солнечных элементах, фотолюминесцентных устройствах, разбавленных магнитных полупроводниках [12].

В исследовании [13] показана применимость толстопленочных и дискообразных форм легированного алюминием оксида цинка для дозиметрии низкодозового рентгеновского излучения с использованием конфигурации полевого транзистора с расширенным затвором. С помощью метода химического осаждения из раствора были изготовлены планарные структурированные устройства на основе оксида цинка, легированного алюминием. Все устройства подвергались облучению дозами 9, 36 и 70 мгр. На рисунке 4 приведена микрофотография поперечного сечения полученной авторами структуры.

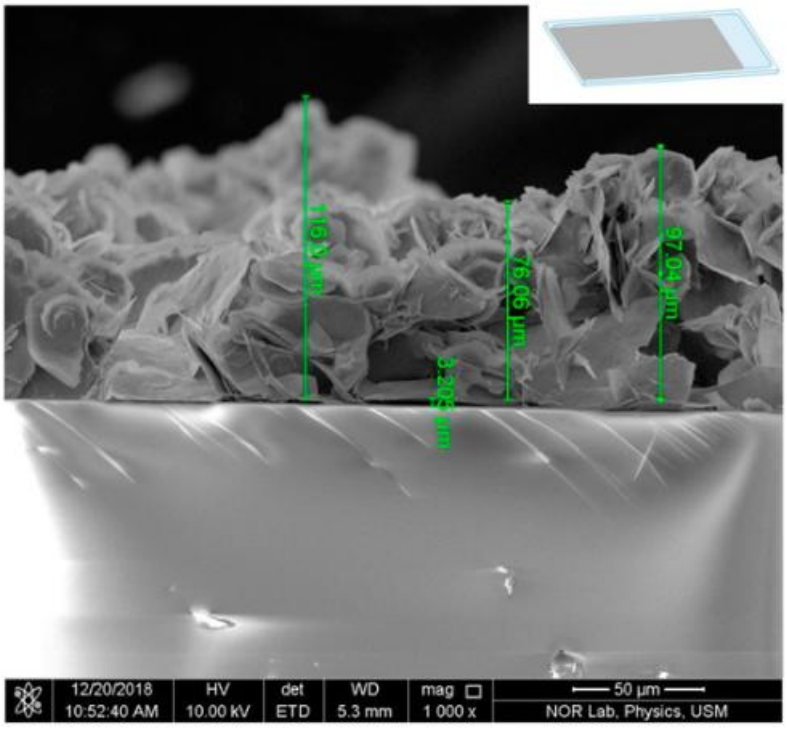


Рисунок 4 – Микрофотография поперечного сечения толстой пленки оксида цинка, легированного алюминием, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа

Электрические характеристики пленок сильно зависели от дозы облучения и напряжения смещения. Таким образом, возможность создания устройства на основе полевого транзистора с изолированным затвором зависит от чувствительности к рентгеновскому излучению и рабочей области дозирования. При облучении, а также при изменении напряжения смещения с 3 до 7 В значения тока в толстой пленке увеличивалась. С другой стороны, увеличение толщины устройства с 98 мкм до 1 мм привело к повышению чувствительности. Таким образом, чувствительность к рентгеновскому излучению во многом зависит от конструкции чувствительного устройства, при этом диск показал более высокую чувствительность к излучению, чем толстая пленка оксида цинка, легированного алюминием. В то же время увеличение дозы облучения снижало эффективность и чувствительность устройства. Предложенная реализация может стать потенциальным решением для недорогой рентгеновской дозиметрии в режиме реального

времени как еще одно перспективное применение материалов на основе оксида цинка [13].

В работе о фотоэлектрических элементах на основе диоксида цинка [14] были проведены обширные исследования, направленные на повышение эффективности фотоэлектрических элементов с использованием оксида цинка в качестве фотоэлектрода. Несмотря на то, что в элементах на основе оксида цинка коэффициент преобразования фотоэлектрической энергии значительно ниже — 0,4–7,5 % — по сравнению с элементами на основе диоксида TiO_2, оксид цинка по-прежнему считается лучшей заменой диоксиду TiO_2 в фотоэлектрических элементах. В процессе изготовления фотодиодов на основе оксида цинка слой ZnO, представляющий собой полупроводник *n*-типа, погружают в раствор кислотного красителя, который является полупроводником *p*-типа, для формирования *p*-*n*-перехода. Однако при контакте ZnO с кислотным красителем протоны красителя вызывают растворение атомов цинка на поверхности ZnO, что приводит к образованию избыточного количества комплекса Zn^{2+}/краситель, снижающего эффективность инжекции электронов из возбужденного красителя в ZnO. Об этом сказано в работе [15]. Таким образом, чтобы повысить фотоэлектрические свойства солнечных элементов на основе ZnO, необходимо уменьшить образование комплекса Zn^{2+}/краситель. Другими словами, чтобы уменьшить образование комплекса, красители должны максимально плотно покрывать поверхность ZnO за короткое время сенсибилизации (погружения), обычно составляющее 20 минут.

В исследовании [16] для увеличения количества наносимого красителя за короткое время сенсибилизации был применен электростатический метод. Методом химического осаждения из паровой фазы на стекло FTO были сформированы наностержни из оксида цинка для создания фотоэлектродов ZnO/FTO. На поверхность наностержней из оксида цинка были нанесены ионы серебра, а затем они были сенсибилизированы красителем. Полученные электроды использовались в качестве рабочих электродов в

фотоэлектрических элементах, и их фотоэлектрические характеристики сравнивались с характеристиками контрольных элементов с традиционно сенсибилизированными слоями оксида цинка.

В исследовании [17] описывается, как высоколюминесцентные наноструктуры ZnO были синтезированы методом совместного осаждения из раствора ацетата цинка в метаноле с последующим осаждением оксидной фазы в щелочной среде в присутствии различных количеств аминопропилтриэтоксисилана. Измерения с помощью просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения показали, что образцы, синтезированные при увеличении концентрации аминопропилтриэтоксисилана (от 1 до 10 % молярного соотношения Si/Zn), состоят из наночастиц ZnO уменьшающегося размера: от примерно 6 нм для чистого ZnO до примерно 3 нм для ZnO, функционализированного органосиланом с наибольшей концентрацией. Образцы ZnO с уменьшенным размером частиц продемонстрировали значительное изменение оптических свойств. В частности, уменьшение размера частиц связано со значительным изменением абсорбционных свойств ZnO, что было изучено с помощью спектроскопии диффузного отражения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра, а также с чрезвычайно высокой фотоэмиссией. Органомодифицированный нанопорошок ZnO с самой высокой фотоэмиссией был успешно протестирован в качестве светоизлучающего слоя в новом поколении.

Синтез наноструктур оксида цинка с использованием растений является перспективным вариантом устойчивого и экологически безопасного синтеза [18]. В ходе процессов в различных частях растений, например, таких как листья, корни, стебли, цветы и плоды, образуется огромное количество биомолекул, которые можно использовать для создания наноструктур.

На рисунке 5 приведены способы «зеленого» синтеза оксида цинка [19].

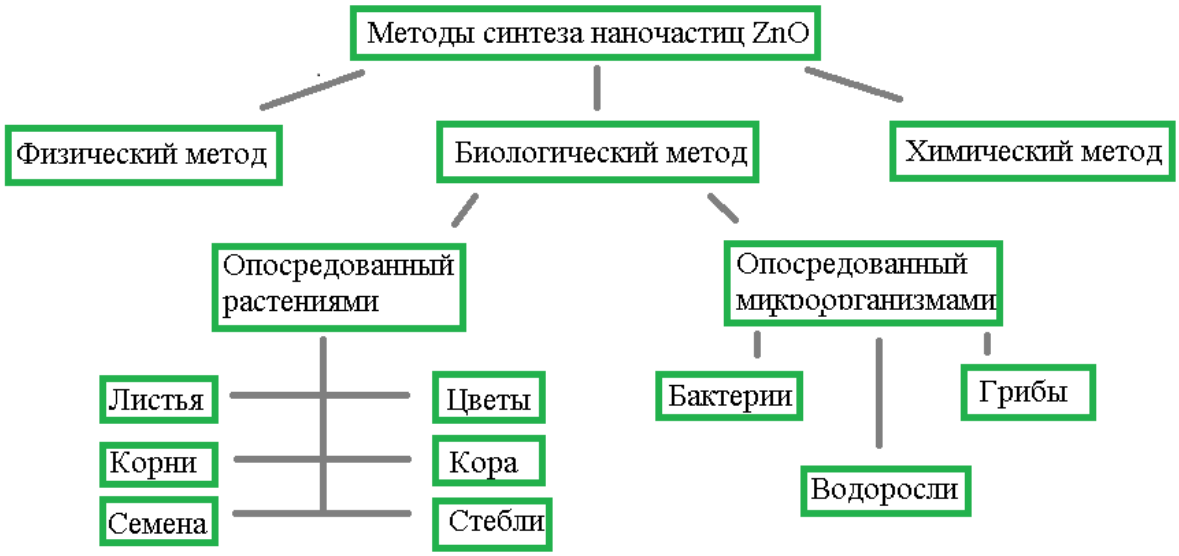


Рисунок 5 – Способы «зеленого» синтеза оксида цинка

Рассмотрим несколько примеров применения «зеленого» синтеза для производства оксида цинка в виде различных форм (наночастицы, пленки и т.д.). В работе [10] описан одностадийный гидротермальный синтез фотокаталитически стабильных наночастиц ZnO в присутствии экстракта плодов *Opuntiahumifusa* в качестве природного поверхностно-активного вещества для антимикробного применения. Полученные авторами частицы были исследованы различными способами, а также была определена ширина запрещенной зоны, составляющая 3,28 эВ. Эти материалы продемонстрировали значительные антимикробные свойства как против грамположительных, так и против грамотрицательных бактерий по сравнению с ранее опубликованными работами.

Экстракт растений, используемый при синтезе, позволяет получить наночастицы различной формы, в том числе гексагональной, стержневидной с агломератами, квазисферической и сферической, а также различных размеров. Это в том числе обеспечит экологически чистый синтез, что расширяет перспективы его применения в здравоохранении, экологических применениях и т.п. В ходе исследования [20] были получены частицы оксида цинка при использовании *Fioriavitifolia L.*, и исследован их биомедицинский

потенциал. Было проведено исследование с помощью различных методов, в том числе просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии, которые позволили получить полную информацию о результатах синтеза. Антибактериальная активность продемонстрировала значительные зоны ингибирования против *E. Coli*и*S. aureus*, а также ингибирование образования биопленки у *S. aureus* и *C. albicans*. Полученные авторами результаты имеют перспективу дальнейшей разработки в качестве противомикробных препаратов с минимальными побочными эффектами.

Способы применения наночастиц ZnO в медицине могут быть разнообразными. Рассмотрим их применение в качестве противогрибкового и антибактериального средства. Потенциальные механизмы противогрибкового действия наночастиц оксида цинка включают нарушение функции митохондрий, усиление образования активных форм кислорода и высвобождение ионов Zn^{2+} в цитоплазму. Наночастицы оксида цинка могут проникать в грибковые клетки путем диффузии и эндоцитоза. Избыток активных форм кислорода и ионов Zn^{2+}, образующихся при проникновении наночастиц ZnO в ядерную мембрану, может привести к необратимому повреждению ДНК и гибели клеток [21].

Однако точный механизм антибактериального действия наночастиц оксида цинка неизвестен. В настоящее время в некоторых работах [22] считается, что оксид цинка может удалять бактерии либо напрямую, повреждая их клетки, либо опосредованно, генерируя активные формы кислорода, которые разрушают нуклеиновые кислоты, препятствуют функционированию белков и вызывают перекисное окисление липидов в бактериях. На рисунке 6 приведен возможный механизм антибактериального действия [23].

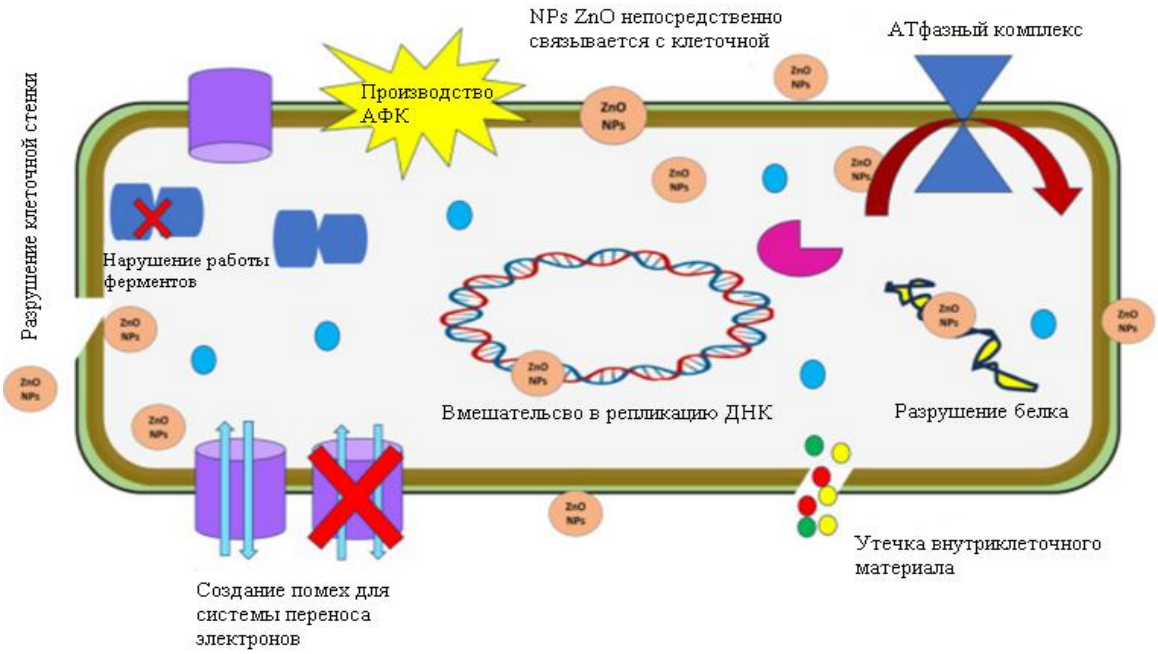


Рисунок 6 –Механизм антибактериального действия оксида цинка, полученного из растительных компонентов

В работе [24] сказано о том, что эффективность биосинтезированных наночастиц оксида цинка в качестве противоопухолевого препарата свидетельствует о том, что более высокие концентрации наночастиц оксида цинка обладают наибольшей противоопухолевой активностью. Благодаря точному воздействию на раковые клетки доставка лекарств с использованием наночастиц оксида цинка может сократить количество препаратов, необходимых для терапии, и устранить дополнительные побочные эффекты. По сравнению с другими материалами, низкая токсичность и биоразлагаемость наночастиц оксида цинка повышают их эффективность при лечении рака. В другом исследовании [25] было обнаружено, что наночастицы оксида цинка сильно влияют на мембранный потенциал митохондрий и вызывают токсичность клеток при онкологии. Использование наночастиц для адресной доставки лекарств и изучение потенциальных механизмов цитотоксичности наночастиц оксида цинка в раковых клетках может стать перспективным вариантом безопасного и эффективного лечения рака.

Прямое нанесение наночастиц ZnO на мясные и фруктовые продукты более распространено благодаря сильному антибактериальному действию, биосовместимости и низкой токсичности. *CS*-ZnO снизил количество сальмонелл, золотистого стафилококка и кишечной палочки в 10 раз по сравнению с контрольной группой [26].

Применение оксида цинка как материала для производства варисторной керамики, отражено в работе [27]. Авторы получили превосходные электрические свойства и улучшенную долговременную стабильность варисторной керамики ZnO за счет легирования оксидом никеля. В варисторной керамике на основе ZnO, легированной NiO, была достигнута обратная манипуляция точечными дефектами, а именно подавление подвижного Zn_i при одновременном увеличении плотности V_O. В результате одновременно улучшились как электрические свойства, так и долговременная стабильность. Варисторная керамика на основе ZnO, легированная NiO, с самой низкой плотностью междоузельного цинка имеет значительно сниженную скорость деградации 0,064 мкА $см^{-2}$ $ч^{-0,5}$. При этом, благодаря увеличению плотности кислородных вакансий, сохранились превосходные нелинейные вольтамперные характеристики.

Ионно-лучевая модификация полупроводниковых наночастиц оксидов металлов применяется для улучшения их оптоэлектронных свойств с учетом их использования в энергетике [28]. Имплантация тонких пленок предоставляет возможность регулировать оптоэлектронные свойства пленок ZnO по всей толщине с равномерностью, что делает этот метод перспективным для изготовления устройств в области энергетики и охраны окружающей среды. Технология, разработанная авторами, предлагает уникальный способ модификации материалов путем создания синергетического эффекта легирования двумя или несколькими элементами, что может быть полезно для контроля оптоэлектронных свойств материалов, перспективных для применения в солнечных элементах.

1.2 Виды аллотропных модификаций углерода. Их влияние на оптические свойства оксида цинка

Благодаря способности углерода образовывать множество аллотропных форм с кардинально разными свойствами благодаря разной геометрии связей между атомами, он находит широкое применение и как функциональный материал для электроники, так и может использоваться для управления свойствами других материалов.

На рисунке 7 приведены некоторые формы углерода согласно авторам [29] с указанием типов их гибридизации.

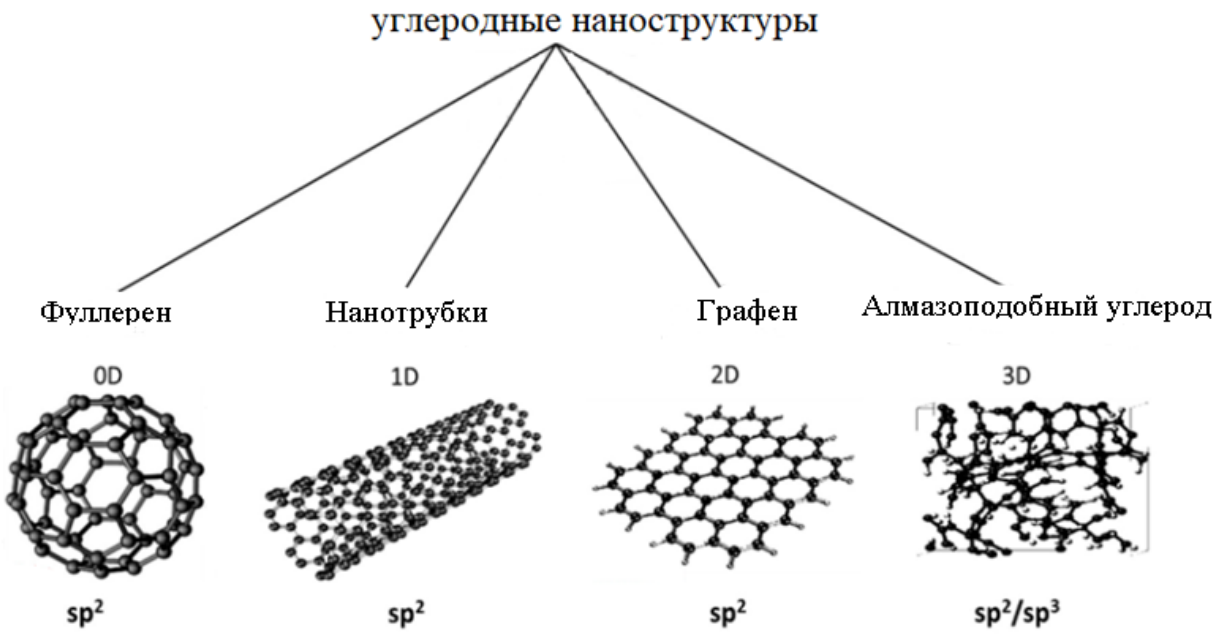


Рисунок 7 – Формы углерода

Особый интерес представляет применение различных форм углерода вместе с полупроводниковыми материалами, в частности с оксидом цинка. Известно, что ZnO широко применяется в оптоэлектронике, фотокатализе и газовых сенсорах благодаря большой ширине запрещённой зоны, а также высокой подвижности электронов. Однако, этот материал не лишен недостатков, среди них, например, быстрая рекомбинация фотогенерированных носителей заряда, снижающая эффективность фотокатализа, и недостаточная чувствительность детекторов. Рассмотрим

применение аллотропных форм углерода для модификации свойств оксида цинка.

Одним из наиболее часто применяемых форм углерода является оксид графена, причем чаще всего именно в виде восстановленного оксида графена *rG*O. Введение графена в матрицу ZnO позволяет создать эффективные гетеропереходы. В работе [30] показано, что наноразмерные гетероструктурированные материалы на основе оксида цинка/восстановленного оксида графена (ZnO/*rG*O) с *p–n* гетеропереходами демонстрируют превосходные характеристики детектирования NO_2 при низких температурах.

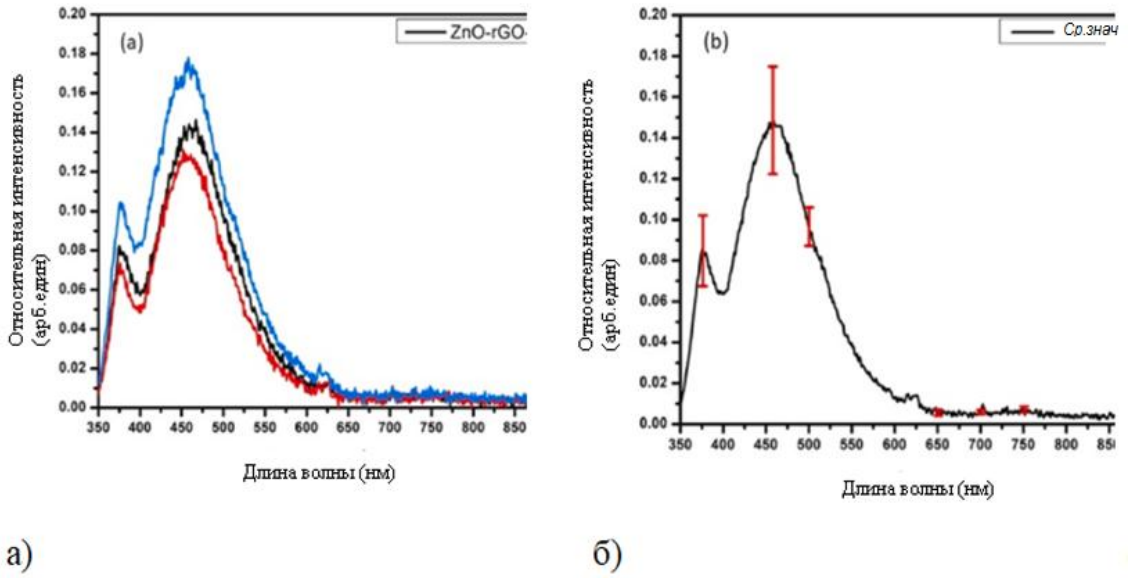
За счёт высокой проводимости графен быстро отводит электроны из зоны проводимости ZnO, предотвращая их рекомбинацию с дырками и увеличивая время жизни носителей заряда. Это приводит к многократному повышению фотокаталитической активности таких композитов при разложении органических загрязнителей или при фотолизе воды для получения водорода. Это преимущество наглядно продемонстрировано в работе [31], где была получена новая третичная гетероструктура на основе Cu-ZnO/CdS/rGO. Разработанная фотокаталитическая система обладала выдающимися путями переноса электронов, позволяющими замедлить скорость рекомбинации носителей заряда. Фотокаталитическая эффективность системы Cu-ZnO/CdS/rGO была в 1,26–2,0 раза выше, чем у отдельных полупроводников CdS и ZnO соответственно.

Кроме того, графеновые «мостики» между кристаллитами ZnO снижают дефектность структуры и повышают механическую гибкость пленок для гибкой электроники. Например, был создан [32] совместимый с гибкой электроникой УФ-сенсор на основе ZnO. В качестве основы для синтеза был использован гидротермальный метод с последующим нанесением на подложку из полидиметилсилоксана. Таким образом удалось добиться значительного увеличения отношения включения/выключения и

тока фотоотклика за счет введения соответствующего весового соотношения восстановленного оксида графена.

В исследовании [33] сообщалось, что композиты оксида графена или восстановленного оксида графена (rGO) с люминофорами также влияют на их оптические свойства. ZnO демонстрирует фотолюминесцентное излучение в УФ-диапазоне и видимой области спектра в зависимости от методов синтеза, формы, размера, глубины уровней и поверхностных дефектов. При сочетании с углеродными наноматериалами модификация поверхностных дефектов в ZnO позволяет регулировать эти фотолюминесцентные свойства для получения, например, белого света. Кроме того, эффективная передача энергии от ZnO к углеродным наноструктурам делает их подходящими кандидатами не только для применения в системах сбора энергии, но и в биосенсорах, фотодетекторах и низкотемпературной тепловизионной технике.

Тонкие пленки ZnO:Zn были успешно получены методом импульсного лазерного осаждения и покрыты оксидом графена (GO) с помощью распылительного небулайзера [34]. На рисунке 8 показаны фотолюминесценции (а) ZnO-rGO-Ar, возбужденного при 325 нм, измеренные в трех точках, и (б) усредненные спектры с указанием погрешностей.



а) б)

а) ZnO-rGO-Ar, возбужденного при 325 нм, измеренные в трех точках, и б) усредненные спектры с указанием погрешностей

Рисунок 8 – Спектры фотолюминесценции

Фотометрические характеристики пленок были также были изучены и во всех случаях слой GO, нанесенный на тонкую пленку ZnO, увеличивал интенсивность излучения, при этом наблюдались некоторые спектральные изменения, которые были одинаковыми для разных участков одного и того же образца.Сдвиг в спектре излучения мог быть вызван эффектом излучения графена, поскольку фиолетово-синее излучение (420 нм) наблюдалось в тонких пленках графена и рекристаллизованного графена. Однако известно, что дефекты в ZnO также люминесцируют на разных длинах волн, и нельзя исключать возможность их образования или изменения их концентрации. Кроме того, интенсивность излучения еще больше повысилась при отжиге графена в атмосфере аргона и в смеси аргона и водорода. Также примечательно, что в образце ZnO-rGO-ArH отсутствует УФ-полоса на длине волны ~380 нм, а ее положение смещено в сторону синего спектра до ~400 нм, в то время как в спектре ZnO-rGO-Ar пики довольно сильно отличаются от пиков ZnO без покрытия. На рисунке 9 приведены полученные авторами [34] спектры излучения.

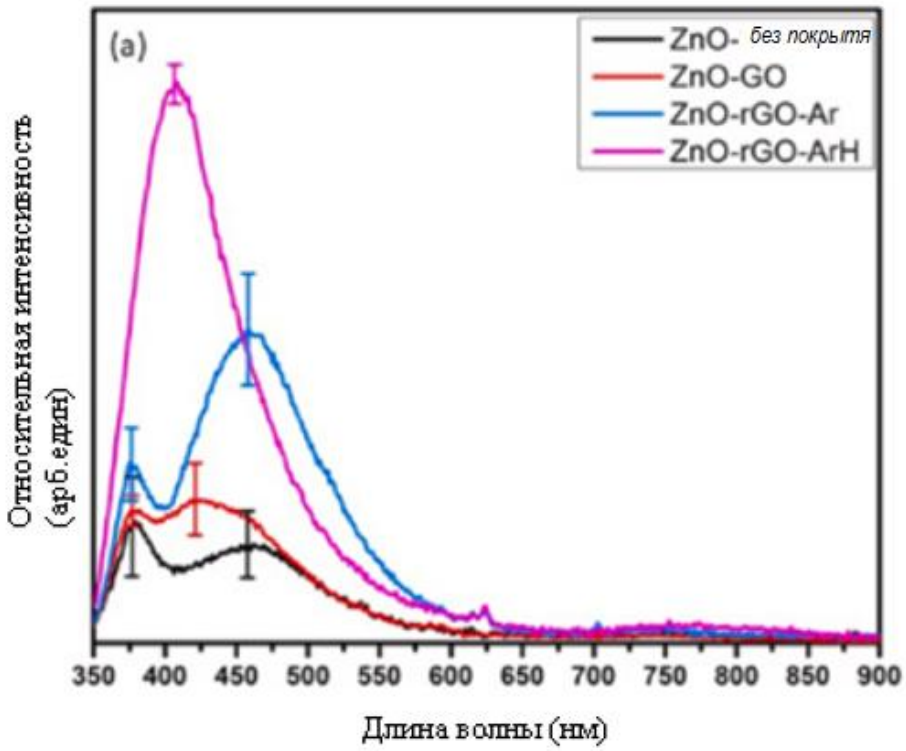


Рисунок 9 – Спектры излучения тонких пленок ZnO:Zn, покрытых GO и rGO, при возбуждении на длине волны 325 нм

В работе [35] указано, что аллотропные модификации углерода широко используются в различных сенсорных устройствах для измерения таких параметров как температура, давление, магнитные поля, содержание загрязняющих веществ в окружающей среде и биомолекул, как сами по себе, так и в сочетании с другими носителями, такими как оптические волокна, электроды и полевые транзисторы. Среди этих технологий значительный интерес вызывают датчики на основе оптических волокон, поскольку поверхность кварцевых или пластиковых оптических волокон универсальна и допускает широкий спектр модификаций.

Эти свойства обеспечивают компактную конструкцию системы, мониторинг в режиме реального времени, возможности мультиплексирования и устойчивость к суровым условиям окружающей среды, также предлагают значительные преимущества для разработки практичных волоконно-оптических датчиков на основе углеродных аллотропов. Такие датчики на основе аллотропных модификаций углерода

существуют в различных конструктивных исполнениях благодаря разнообразию волоконных структур, методов оптического зондирования и способов нанесения покрытий, которые позволяют добиться высокой чувствительности и селективности при обнаружении целевых молекул. Тем не менее, все эти датчики используют общую схему: небольшая часть энергии направляемой волны, так называемая затухающая волна, проникает в оболочку волокна и взаимодействует с наноуглеродным покрытием.

В исследовании [36] сказано о том, что связывание молекул или физические изменения в окружающей среде могут быть обнаружены с помощью затухающей волны и повлиять на показатель преломления и/или оптические свойства, что позволит количественно оценить целевые молекулы или физические параметры. В некоторых случаях модифицированные углеродные аллотропы также позволяют проводить многопараметрическое обнаружение с помощью волоконно-оптических датчиков на основе углеродных аллотропов. Модель «графен и микроволокно» стала широко используемой платформой для обнаружения газов, но не ограничивается ею. В силу природы графена, способного взаимодействовать с любой молекулой газа, большинство вышеупомянутых оптических газовых датчиков ориентированы на обнаружение полярных газов, таких как NH_3, H_2O или NO_2, и этим датчикам не хватает селективности.

Во многих обзорных статьях [37], [38] об оптической спектроскопии на основе углеродных аллотропов основное внимание уделяется одному типу углеродных аллотропов и фундаментальной теории оптической спектроскопии на основе углеродных аллотропов.

В исследовании [39] рассматривается значительное усиление синего излучения Go, r-GO и IGO благодаря включению наночастиц ZnO. Были получены восстановленный оксида графена (r-GO) из оксида графена с использованием методов Хаммера (GO) и улучшенного метода Хаммера (IGO). Кроме того, способность этих низкотемпературных композитов,

полученных методом жидкостной обработки, регулировать цвет делает их подходящими кандидатами для светодиодов. На рисунке 10 показаны спектры фотолюминесцентного излучения композитов ZnO@GO/IGO/r-GO, полученные при различных уровнях УФ-возбуждения.

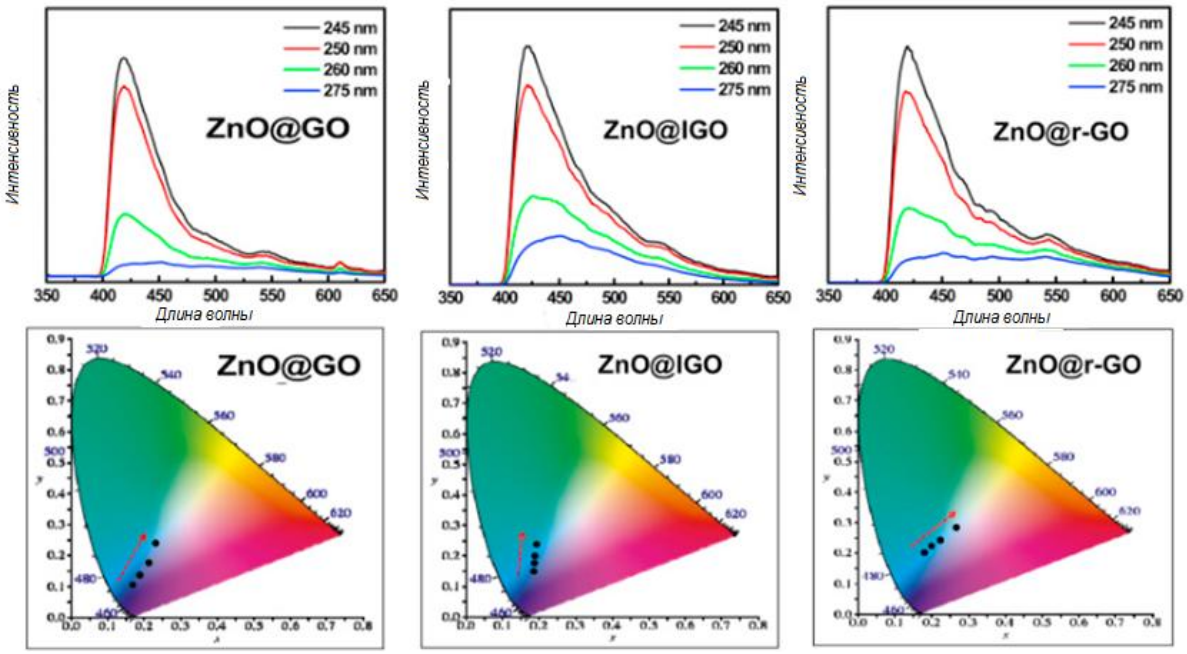


Рисунок 10 – Спектры фотолюминесцентного излучения и соответствующая диаграмма цветности *CIE* композитов ZnO@GO/IGO/r-GO, полученные при различных уровнях УФ-возбуждения

Такой низкотемпературный композит ZnO@r-GO, полученный методом жидкофазной обработки, может также найти широкое применение в белых светодиодах, возбуждаемых УФ-излучением [39].

В работе [40] тонкая пленка нанокомпозита N-легированного ZnOc добавлением углеродных нанотрубок была успешно получена на подложке из натриево-кальциевого стекла простым методом золь-гель капельного нанесения. Известно, что фотокаталитическая активность фотокатализатора зависит от способности поглощения света. На рисунке 11 приведены спектры поглощения тонких пленок полученных авторами фотокатализаторов.

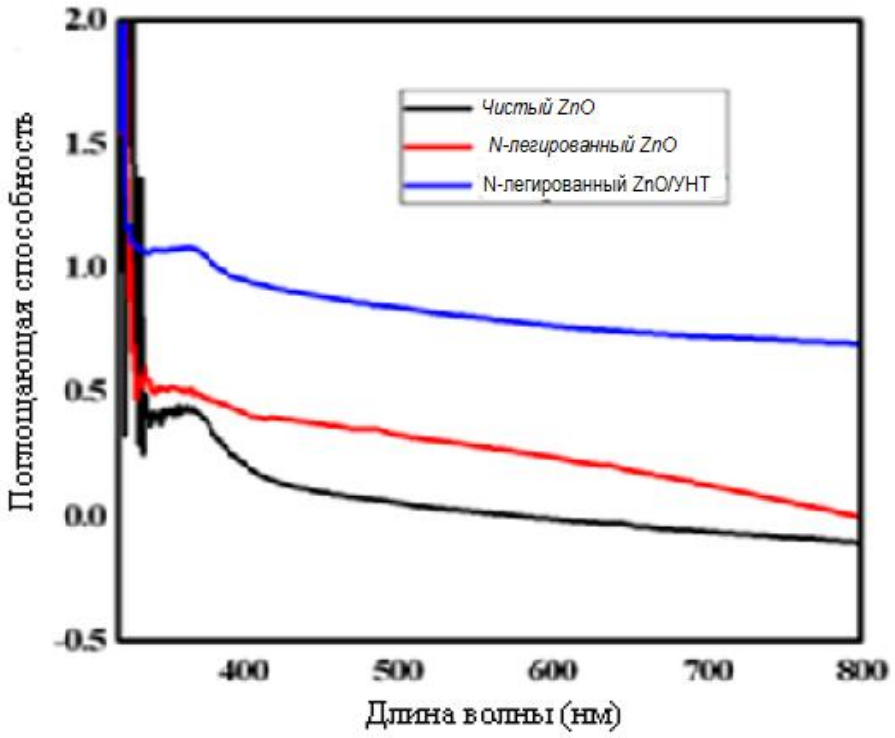


Рисунок 11 – Спектры поглощения тонких пленок чистого ZnO, легированного азотом ZnO и легированного азотом ZnO/УНТ

Чистый ZnO имеет максимум поглощения при 362 нм, тогда как для легированного азотом ZnO/CNT и легированного азотом ZnO наблюдаются пики при 368 нм и 366 нм соответственно. Наличие пика поглощения указывает на электронный переход из валентной зоны в зону проводимости наночастиц ZnO. Видно, что легирование азотом влияет на спектр поглощения в УФ-видимой области (красный сдвиг)[**Ошибка! Закладка не определена.**].

1.2.1 Способы получения аллотропных модификаций углерода. Как правило, углеродные аллотропы получают из углеродсодержащих соединений, таких как графит, органические газы, экологически чистые органические соединения или летучие органические соединения (ЛОС), с помощью различных синтетических методов, позволяющих перегруппировать атомы углерода. Рассмотрим некоторые методы получения углеродных нанотрубок, углеродных нанодисков, графена и нановолокон.

Углеродные нанотрубки можно получить тремя основными способами: методом дугового разряда, методом химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ) и методом лазерной абляции. В работе [41] описан метод дугового разряда, который осуществляется в вакуумной камере с использованием двух углеродных электродов. Для ускорения осаждения углерода и формирования углеродных нанотрубок с практически идеальной морфологией используют инертный газ. Аналогичные условия необходимы для образования однослойных углеродных нанотрубок, но с добавлением таких катализаторов, как Ni, Fe, Co, Pt и Rh.C другой стороны, при лазерной абляции используется интенсивный лазерный импульс, который воздействует на углеродную мишень в печи, заполненной инертным воздухом, с помощью катализатора. Под воздействием лазерного луча углеродный прекурсор испаряется, и на подложке образуется пленка графена. Несмотря на возможность получения высококачественных углеродных нанотрубок, оба этих метода требуют высоких температур порядка 3000–4000 °C для испарения атомов углерода из исходного материала.

Напротив, метод химического осаждения из газовой фазы позволяет получать углеродные нанотрубки при гораздо более низкой температуре. Как правило, углеводородные газы, такие как метан или этилен, подаются в реакционную камеру и при температуре 500–1000 °C распадаются на реакционноспособные частицы. В присутствии металлических частиц, таких как никель, железо или кобальт, которые служат катализаторами, реакционноспособные частицы оседают на подложке, образуя углеродные

нанотрубки. Регулируя параметры синтеза и подбирая катализаторы, можно получать различные типы углеродных нанотрубок. Поскольку требования к процессу синтеза ниже, метод химического осаждения из паровой фазы можно использовать для крупномасштабных процессов синтеза. Тем не менее углеродные нанотрубки, полученные методом химического осаждения из паровой фазы, имеют относительно высокую плотность дефектов в многостенных углеродных нанотрубках, что может быть связано с недостаточной тепловой энергией. Независимо от способа получения, получаемые углеродные нанотрубки обычно содержат углеродные и металлические примеси, образующиеся в процессе реакции и способные негативно влиять на свойства нанотрубок.

Для удаления углеродных примесей используются методы очистки в газовой и жидкой фазах. При газофазной очистке используется высокая температура, а при жидкофазной очистке УНТ промывают кислотными растворами, такими как азотная или серная кислота. С другой стороны, металлические примеси можно удалить, нагрев УНТ до температуры испарения примеси. Таким образом можно получить УНТ чистотой до 99,6 %.

В работе [42] сообщили о получении углеродных точек путем облучения углеродных мишеней импульсным ультрафиолетовым лазером в течение 60 секунд. Размер получаемых дисков определяется расстоянием между фокусирующей линзой и углеродной мишенью: чем больше расстояние, тем крупнее получаемые диски, и наоборот. Однако получаемые диски не флуоресцируют, и для придания им флуоресцентных свойств требуется дополнительная функционализация.

При использовании химического синтеза обычно применяются сильные окислители, такие как концентрированная серная или фосфорная кислота, для окисления углеродных материалов с целью получения флуоресцентных углеродных наноструктур. В работе [43] был описан процесс получения одностадийного синтеза легированных серой углеродных

точек с помощью концентрированной серной кислоты. Легирование серой открывает широкую запрещенную зону в 3,28 эВ, что приводит к УФ-излучению точек на длине волны 378 нм. Также точки *pH*-чувствительны, а интенсивность фотолюминесценции имеет линейную зависимость в диапазоне *pH* 3–9. И полученные авторами углеродные точки обладают удовлетворительным квантовым выходом фотолюминесценции, высокой фотостабильностью и низкой цитотоксичностью,

Было проведено несколько исследований, описанных в работах [44] и [45], с целью поиска перспективных комбинаций неорганических и органических материалов, а также оптимальных гибридных структур. За последние годы был достигнут значительный прогресс. Кроме того, огромный интерес в научном сообществе вызывают графен и его производные (оксид графена) и восстановленный оксид графена [46].Эти материалы были тщательно изучены с точки зрения их электрических, механических, оптических и термодинамических свойств и в настоящее время используются в различных областях, таких как производство солнечных батарей, солнечного топлива, литий-ионных аккумуляторов и суперконденсаторов. В солнечных батареях эти соединения используются в качестве прозрачных и непрозрачных электродов, в фотоактивных слоях, а также в слоях и промежутках для переноса электронов.

В работе [47] представлен метод жидкостной эксфолиации для получения графеновых листов толщиной от одного до нескольких слоев путем диспергирования и эксфолиации в растворителях. Ультразвуковая обработка позволяет таким растворителям, как N-метилпирролидон, N,N-диметилацетамид, γ-бутиролактон и 1,3-диметил-2-имидазолидинонон, которые имеют схожую с графеном поверхностную энергию, интеркалировать слои графита. Последующие процессы центрифугирования и декантации позволяют получить высококачественные неокисленные графеновые хлопья, которые можно использовать в качестве прозрачных электродов и проводящих полимеров. Выход продукта при использовании

этого метода составляет около 1 %, но его можно увеличить до 7–12 % за счет повторного использования осадка. Механизм эксфолиации основан на том, что энергия, необходимая для превращения графита в однослойный графен, компенсируется взаимодействием растворителя с графеном. Тем не менее этот метод жидкостной эксфолиации не позволяет контролировать количество слоев графена, наличие дефектов, а также затрудняет удаление остатков растворителей, что может негативно сказаться на использовании графена в качестве чувствительного материала для оптической спектроскопии.

Другой химический метод получения графена – восстановление графенового оксида. Графеновый оксид можно получить путем окисления графита сильными окислителями [48]. В процессе окисления на поверхность графита добавляются различные функциональные группы, такие как карбоксильные и гидроксильные. Графеновый оксид легко отделяется от подложки в воде и может быть легко восстановлен и преобразован обратно в графен. Процесс восстановления осуществляется с помощью таких восстановителей, как гидразин, гидриды и титан, при ультрафиолетовом освещении. Главный недостаток этого метода заключается в том, что при восстановлении не удается полностью удалить графеновый оксид.Кроме того, в результате этого процесса образуются дефекты, которые невозможно устранить простым отжигом, и качество материала обычно ниже, чем у чистого графена. Полученный продукт также иногда называют восстановленным оксидом графена (rGO).К другим методам получения графена относятся химическое осаждение из газовой фазы, интеркалированное расширение графита, термообработка карбида кремния и метод эпитаксиального роста.

1.3 Применение оксида цинка, модифицированного аллотропными модификациями углерода

Материалы на основе углерода привлекают внимание исследователей благодаря своим удивительным свойствам. В конечном счете, благоприятные

фотоэлектрические характеристики материалов на основе углерода открывают широкие возможности для усиления окисления и разрушения загрязняющих веществ. Эти свойства, в том числе эффективный перенос и накопление электронов, повышают эффективность фотоиндуцированного разделения зарядов. В работе [49] исследователи изучают возможность объединения материалов на основе углерода с оксидом цинка из-за их способности распределять активные участки по поверхности катализатора. Оксид цинка взаимодействует с углеродсодержащими материалами, замедляя скорость электронно-дырочной рекомбинации, например с GO (оксидом графена), rGO (восстановленным оксидом графена) и g-C3N4 (графитовым нитридом углерода). Эти вещества способствуют разделению зарядов и обеспечивают значительную площадь поверхности для гетерогенных реакций, что приводит к повышению фотокаталитической активности.

Ряд углеродных соединений, в том числе углеродные нанотрубки, углеродные точки, материалы на основе графена и активированный уголь, обладают различными поверхностными свойствами, которые влияют на взаимодействие с ними молекул CO_2. Наличие различных функциональных групп в графеновых наноструктурах, большая площадь поверхности, высокая пористость и, следовательно, хорошая адсорбционная способность активированного угля, способность к накоплению электронов в нанотрубках и хорошие свойства переноса электронов в углеродных точках создают благоприятные условия для адсорбции и фотовосстановления CO_2. Таким образом, эффективность фотовосстановления CO_2повышается при добавлении углеродных соединений в ZnO. Об этом говорится в статье [50]. Когда ZnO гибридизуется с углеродными материалами, его фотостабильность повышается главным образом за счет трех механизмов: в случае графитоподобного углерода углеродные слои создают прочные барьеры, препятствующие агрегации наночастиц ZnO, углеродный материал прилипает к пустым участкам ZnO и препятствует проникновению атомов кислорода катализатора. активация и создание связей C-O с уменьшенным

содержанием оксида графена в композитах снова дезактивирует атомы кислорода на поверхности ZnO, повышая фотостабильность.

В статье [51] рассказано о том, как синтезировали для применения в газовых сенсорах гибридный композит из оксида цинка (ZnO) и восстановленного оксида графена (rGO) с нанокристаллами с помощью простого гидротермального процесса и изготовили датчик метана. Был применен гибридный композит ZnO–rGO в качестве чувствительной пленки, нанесенной на керамическую трубку с никель-хромовым нагревателем. Наличие нанокристаллических наностержней ZnO и нанолистов rGO было подтверждено с помощью сканирующей электронной микроскопии, рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, а также измерением спектров диффузного отражения в ультрафиолетовой и видимой областях спектра и фотолюминесценции. Сенсорные свойства пленки ZnO–rGO были изучены при воздействии различных концентраций метана при разных температурах. Было установлено, что представленный сенсор обладает уникальными преимуществами при определении концентрации метана в диапазоне от 100 до 4000 ppm, такими как высокая воспроизводимость, быстрое время отклика и восстановления, а также хорошая селективность при оптимальной рабочей температуре 190 °C.При определении концентрации метана гибридный композит ZnO–rGO показал лучшие результаты по сравнению с чистым ZnO и rGO. Возможный и предполагаемый механизм работы датчика в основном связан с его наногибридной структурой и особыми взаимодействиями на гетеропереходе *p*–*n*. Полученные результаты позволяют рассматривать гибридный композит ZnO–rGO как перспективный материал для создания датчиков метана.

Полимерные органические фотоэлектрические устройства представляют собой дешевую и привлекательную альтернативу солнечным батареям на основе кремния, поскольку полимерные материалы, обладающие как проводящими, так и полупроводниковыми свойствами, открывают новые

возможности в области оптоэлектронных устройств. Однако фотовозбуждение в полимере приводит к образованию прочно связанной электронно-дырочной пары или экситона, в то время как в неорганических полупроводниках это приводит к образованию свободных носителей заряда. Об этом рассказывается в статье [52]. Экситон, возникающий в полимерном материале, может распадаться на свободные носители заряда только на границе раздела органических и неорганических полупроводников, которые в фотоэлектрических устройствах называются донорскими (n-типа) и акцепторными (*p*-типа) материалами. Время жизни экситона и соответствующая ему длина диффузии обычно ограничены, поэтому свободные носители заряда образуются только из тех экситонов, которые возникают вблизи (на расстоянии 5–15 нм) границы раздела донорного и акцепторного материалов. В гибридных солнечных элементах с объемными гетеропереходами это ограничение преодолевается за счет тесного смешивания донорных и акцепторных материалов, что создает множество контактов в активном слое и увеличивает площадь поверхности раздела между донорскими и акцепторными материалами. Это обеспечивает генерацию зарядов из фотогенерируемых экситонов.

В последние годы появились сообщения о различных фотоэлектрических устройствах с объемными гетеропереходами, в которых используется сопряженный полимер в сочетании с неорганическими полупроводниками [53]. Такой гибридный полимерный/неорганический нанокомпозитный материал может объединить в себе преимущества обоих материалов, в том числе возможность обработки органических полупроводников в растворе и высокую подвижность электронов неорганических полупроводников. Неорганический материал-акцептор электронов может обеспечить дополнительные преимущества для устройства, при этом сохраняя низкую стоимость обработки, поскольку неорганические материалы более устойчивы к воздействию окружающей среды, чем органические. Добавление этих материалов в органические

фотоэлектрические устройства может решить одну из самых серьезных проблем этой технологии — фотоиндуцированную деградацию сопряженных органических полупроводников. В этих устройствах в качестве акцепторного материала чаще всего используется метиловый эфир (6,6) фенилмасляной кислоты C61 (ФМК). Вклад ФМК в поглощение света меньше, чем в неорганических полупроводниковых устройствах с органическими фотоэлементами. Кроме того, квантовое ограничение, приводящее к изменению размера и формы неорганической наночастицы, влияет на ширину запрещенной зоны наночастицы, а также на ее профиль поглощения.

Поглощение света в этих устройствах также зависит от толщины активного слоя. Оно увеличивается с ростом толщины, но толстый активный слой влияет на перенос носителей заряда из-за эффектов объемного заряда и/или рекомбинации зарядов. Это приводит к увеличению последовательного сопротивления и снижению эффективности. Для решения этой проблемы используются различные структуры, такие как мезопористые, наностержневые и наноструктурные материалы. Оксид цинка является хорошим материалом *n*-типа для применения в фотоэлектрических (ФЭ) устройствах благодаря своим оптическим, электрическим, структурным и экологичным свойствам, в том числе высокой подвижности электронов и простоте контроля размера и формы. Устройства на основе наночастиц оксида цинка имеют большую удельную межфазную площадь по сравнению с устройствами на основе других наноструктур, например наностержней, что делает их более эффективными. Кроме того, из исследования [54] можно понять,как повысить их эффективность, если сузить запрещенную зону оксида цинка, поскольку он имеет широкую запрещенную зону (3,2–3,4 эВ) и поглощает больше света в ультрафиолетовом диапазоне по сравнению с видимым. Графен, двумерная углеродная наноструктура, обладает высокой подвижностью электронов (более 2000 $см^2$/В). Добавление графена в неорганический полупроводниковый материал повышает скорость переноса электронов. Это, в свою очередь, увеличивает фототок за счет снижения

рекомбинации фотогенерированных электронно-дырочных пар благодаря π–π-взаимодействиям графена.

Эта исследовательская работа [55] основана на синтезе новых наноструктур из оксида цинка для увеличения площади контакта между донором и акцептором. Кроме того, изучается влияние графена с работой выхода 4,5 эВ на ширину запрещенной зоны тонких пленок оксида цинка, а также на фототок, возникающий в таких структурах. В прошлом многие исследования были посвящены повышению фотокаталитической активности ZnO с помощью графеновых нанолистов, например, путем создания композитов с помощью ультразвуковой обработки, фотокаталитического восстановления с использованием ультрафиолетового излучения, гибридизации, центробежного литья, гидротермального метода и т. д. Эти методы успешно продемонстрировали повышение фотокаталитической активности композитов, однако ни в одной из работ не сообщалось о влиянии графена на ширину запрещенной зоны полупроводникового материала. Таким образом, данная работа была направлена на изучение изменения электрических свойств ZnO при добавлении графеновых нанолистов. Наноструктуры ZnO были получены методом мокрой химии с использованием поли (этиленгликолевого) блока, поли (пропиленгликолевого) блока, поли (этиленгликолевого) блока, поли (этиленгликоля) в качестве направляющего агента для матрицы, а графен диспергировали в золе с помощью обработки ультразвуком. Тонкие пленки были получены с использованием композитов для нанесения спиновых покрытий на подложки из стекла с последующим процессом на водяной бане и последующей термообработкой. В-третьих, использовать эти пленки из чистого оксида цинка и композитные пленки из оксида цинка и графена в гибридных солнечных элементах, а затем изучить их вольтамперные характеристики.

Основой для получения H_2 являются полупроводниковые фотокатализаторы, которые поглощают фотоны света, образуя электронно-

дырочные пары, запускающие окислительно-восстановительные реакции в воде. В исследовании [56] описывается, как среди полупроводниковых фотокатализаторов широко изучались TiO_2 и ZnO из-за их распространённости и низкой стоимости производства. По сравнению с TiO_2, ZnO как полупроводниковый фотокатализатор *n*-типа предпочтительнее из-за его более высокой способности к оптическому поглощению в диапазоне длин волн солнечного спектра. Другими преимуществами ZnO как потенциального фотокатализатора являются его экологичность, нетоксичность, дешевизна, простота синтеза, высокая химическая и термическая стабильность. Основным недостатком фотокатализатора на основе ZnO является высокая скорость рекомбинации фотоиндуцированных носителей заряда, что сильно снижает его фотокаталитическую эффективность. Кроме того, широкая запрещённая зона ZnO ~3,37 эВ ограничивает поглощение света в ультрафиолетовом диапазоне, на который приходится всего 5 % солнечного спектра, что приводит к снижению фотокаталитической эффективности. Поэтому для снижения скорости рекомбинации фотоиндуцированных носителей заряда и смещения оптического поглощения в видимый диапазон с целью повышения фотокаталитической эффективности было использовано несколько стратегий, таких как введение металлических легирующих добавок (анионных, катионных, редкоземельных и сопутствующих), неметаллических легирующих добавок, соединение с другими полупроводниками, контроль роста кристаллов и их формы, модификация поверхности и соединение с углеродсодержащими материалами.

Электронную структуру полупроводника ZnO можно изменить, создав в нем дефекты, например вакансии кислорода, чтобы контролировать разделение электронов и дырок. Ранее сообщалось об улучшении фотокаталитической активности ZnO при выделении водорода за счет введения вакансий кислорода в структуру ZnO для изменения его электронных свойств. В исследовании [57] сообщалось, что образовавшиеся вакансии кислорода сыграли важную роль в повышении фотокаталитической

активности фотокатализатора на основе ZnO, легированного Cu и Ni, выступая в качестве посредника при переносе электронов на границе раздела фаз и увеличивая перенос заряда. Таким образом, образование вакансий кислорода может стать новым способом повышения эффективности фотокатализатора при выделении H_2.

Оксид цинка продемонстрировал хорошую фотокаталитическую активность при облучении ультрафиолетовым и видимым светом, а композит ZnO/графит показал значительно более высокую фотокаталитическую активность при облучении видимым светом. Это объясняется синергетическим взаимодействием между оксидом цинка и графитоподобным углеродным слоем. Также был рассмотрен возможный механизм повышения фотоактивности при воздействии видимого света, который позволил лучше понять поведение материала [58].

Оксиды металлов — хорошо известные потенциальные альтернативы графиту в качестве анодных материалов для литий-ионных аккумуляторов. Они могут обеспечивать гораздо более высокую обратимую емкость, чем графит, даже при высоких плотностях тока. Об этом упоминается в работе [59]. В рамках этого исследования был синтезирован гексагональный ZnO в форме диска с помощью простой реакции растворения $ZnCl_2$, а его композит был получен в присутствии углеродных нанотрубок (УНТ).

Литий-ионные аккумуляторы (ЛИА) широко изучаются уже несколько десятилетий благодаря их неоспоримым преимуществам: высокому напряжению, возможности вторичной переработки и длительному сроку службы. Необходимость замены металлического лития в качестве анода в ЛИА из-за образования дендритов при циклическом использовании является серьезной проблемой. Дендриты электрически изолированы, но обладают высокой химической активностью, что приводит к резкому снижению удельной энергоемкости, а также к возникновению проблем с безопасностью, таких как тепловой разгон, внутренние короткие замыкания и, как следствие, взрывы. Затем исследования были направлены на поиск альтернативных

материалов, которые были бы более стабильными при циклической зарядке и разрядке, но при этом не уступали бы по легкости, мощности и удельной энергоемкости. Об этом сказано в работе [60].

Оксид цинка можно синтезировать в различных наноструктурах, как в виде порошка, так и в виде тонких пленок, а также использовать в анодах без связующего для литий-ионных аккумуляторов. Однако оксид цинка обладает низкой кинетикой и сильно меняет объем при циклировании, что приводит к значительному снижению емкости в первые циклы и сокращению срока службы.

Существуют опасения по поводу ограниченности запасов ископаемого топлива и его связи с глобальным потеплением и загрязнением окружающей среды. Этот растущий интерес привел к необходимости развития возобновляемых источников энергии, а также новых технологий, связанных с эффективными, простыми и экологичными методами преобразования и хранения энергии. Системы преобразования и хранения энергии могут включать в себя технологии и системы с внешним тепловым или электрическим интерфейсом. Они делятся на группы в зависимости от количества энергии и мощности, доступной для нагрузки, и включают в себя аккумуляторы, топливные элементы, конденсаторы и суперконденсаторы.

Суперконденсаторы, также известные как электрохимические конденсаторы, нашли широкое применение в различных областях благодаря высокой удельной мощности, экологичности, длительному сроку хранения и эксплуатации. Они устраняют разрыв в энергопотреблении между конденсаторами (высокая выходная мощность) и топливными элементами/аккумуляторами (высокая энергоемкость). Было проведено множество исследований [61] и разработок, направленных на повышение общей эффективности суперконденсаторов за счет использования углеродсодержащих соединений, оксидов металлов, проводящих полимеров и связанных с ними гибридов/композитов в качестве перспективных электродных материалов.

Ожидается, что графен станет отличным материалом для электродов благодаря своим выдающимся характеристикам, таким как высокое отношение площади поверхности к объему, хорошая электропроводность, гибкость, высокая подвижность электронов, а также хорошие термические и электрохимические свойства. Композиты из графена и оксидов металлов демонстрируют более высокую удельную энергоемкость, удельную мощность и емкость суперконденсаторов. Синергетический эффект между оксидом металла и графеном наглядно демонстрирует, что оксиды металлов играют роль пространства для увеличения площади поверхности графена и повышают емкость в результате окислительно-восстановительной реакции, в то время как графен снижает сопротивление, создавая проводящий путь для легкой диффузии ионов и движения электронов. Среди множества доступных оксидов металлов оксид цинка (ZnO) привлекает большое внимание как перспективный электрод для суперконденсаторов благодаря своей низкой стоимости, широкой доступности, экологичности и электрохимической активности.

С середины 1990-х годов большое внимание уделяется углеродным наноматериалам, в том числе фуллерену, углеродным нанотрубкам (УНТ) и графену. Об этом упоминается в работе [62]. Среди углеродсодержащих наноматериалов фуллерен по своим свойствам в фотокатализе не уступает углеродным нанотрубкам и графену. Было доказано, что фуллерен можно использовать не только в качестве фотокаталитического активатора для других полупроводников, но и в качестве самостоятельного фотокатализатора, если его диспергировать на подложке из материала, не являющегося полупроводником. Это объясняется его особыми оптическими, фотофизическими и фотохимическими свойствами. Фуллерен, аллотропная форма углерода, представляет собой разновидность наноуглеродного материала нулевого измерения, открытого и описанного в исследовании [63]. Он имеет сферическую структуру с замкнутой клеткой, состоящей из пяти- и шестичленных колец. Благодаря делокализации электронов фуллерены

широко используются в качестве акцепторов электронов с высоким сродством. Из-за узкого значения ширины запрещенной зоны фуллерены интенсивно поглощают ультрафиолетовый свет и умеренно, но активно адсорбируют видимый свет, что делает их привлекательными для применения в фотокатализе. Кроме того, ранее было установлено, что фуллерены являются отличными фотосенсибилизаторами с высоким квантовым выходом около 1,0. Как правило, активные органические соединения — это класс веществ, которые легко вступают в химические реакции и могут играть эффективную роль в фотокатализе. Однако основным препятствием для применения фуллеренов в очистке воды является их склонность к агрегации, которая подавляет фотоактивность фуллеренов. В частности, при диспергировании в воде фуллерены склонны образовывать наноразмерные агрегаты, при этом возбужденные состояния соседних молекул фуллеренов, которые в результате агрегации оказываются в тесном контакте, гасятся. Для сохранения фотоактивности фуллерена в водных системах необходима его иммобилизация на твердых носителях.

Оксид цинка используется в качестве электронно-транспортного слоя в органических солнечных элементах на основе фуллереновых и нефуллереновых акцепторов. Экспериментальные и теоретические результаты, описанные в работе [64] показывают, что ионы лития, интеркалированные в решетку ZnO в качестве легирующих элементов, замещают точечные дефекты цинка, которые действуют как ловушки для электронов, и повышают электронную проводимость без существенного изменения работы выхода и края валентной зоны. Повышенная эффективность извлечения/улавливания электронов, подавленные потери на бимолекулярную рекомбинацию и рекомбинацию с участием поверхностных ловушек, а также более высокая подвижность электронов в фотоактивной смеси — все это в совокупности обеспечивает превосходную производительность фуллереновых устройств с легированными слоями ZnO и оптимизированной концентрацией лития 5 % по массе. Такие устройства

увеличили максимальный коэффициент полезного действия с 8,59 % (в среднем 8,05 %) до 10,05 % (в среднем 9,53 %), одновременно повысив свою долговременную стабильность. Кроме того, нефуллереновые солнечные элементы показали коэффициент полезного действия до 8,96 % и сохранили более 80 % своей первоначальной эффективности после 1000 часов хранения в темноте при использовании электронопроводящего слоя из оксида цинка, модифицированного литием.

Примечательно, что наноматериалам на основе оксидов металлов уделяется больше внимания при электрохимическом зондировании из-за их проводимости и усиленного селективного взаимодействия с целевым анализируемым веществом. Оксид цинка (ZnO) привлек большое внимание в семействе металлооксидов из-за спроса на наноразмерные полупроводники с низкой стоимостью и долговременной стабильностью. Об этом сказано в исследовании [65]. Он обладает уникальными свойствами, такими как широкая запрещенная зона 3,37 эВ, высокая энергия связи экситонов, высокая электронная проводимость, хорошая прозрачность и нетоксичность. Благодаря этим свойствам ZnO нашел применение в оптоэлектронике, сенсорах, солнечных батареях, фотокатализаторах, фотодетекторах и биомедицине. Для синтеза наночастиц ZnO используются различные химические методы, такие как золь-гель, соосаждение, микроэмульсионный, сольвотермический и гидротермальный. Метод совместного осаждения имеет ряд преимуществ, таких как использование недорогих реагентов, отсутствие необходимости в дорогостоящем оборудовании, возможность проведения процесса при комнатной температуре и экологичность.

2 Исследование морфологических и оптических свойств пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными формами углерода

2.1 Методика синтеза пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными модификациями углерода

С помощью модифицированной золь-гель процедуры были синтезированы пленки оксида цинка, которые легировали различными аллотропными модификациями углерода, а именно углеродные наносферы, графит, многослойные углеродные нанотрубки. Для изготовления исходного золя смешивались следующие вещества: этаноламин, 2-метоэкситанол и дигидрат ацетата цинка.

Полученную смесь перемешивали при помощи магнитной мешалки при комнатной температуре в течение 15 минут и со скоростью 400 об/мин.

Далее раствор с модифицирующим агентом добавляли к золю-предшественнику. Для создания модификатора золя нужно было добавить углерод в определенной аллотропной модификации, графит или многослойные углеродные нанотрубки к смеси этаноламина и 2-метоксиэтанола.

После завершения процесса получившийся раствор обрабатывали в ультразвуковой ванне в течение 10 минут без нагрева, а затем перемешивали магнитной мешалкой в течение 15 минут со скоростью 400 об/мин. Коммерческие углеродные нанотрубки использовались для модификации оксида цинка углеродными нанотрубками, а пленки ZnO:графитможно было синтезировать с использованием коммерческого мелкодисперсного графитого порошка.

Углеродные наносферы были получены лабораторным способом. В химическом стакане в течение 20 минут при комнатной температуре смешивали моногидрат декстрозы и дистиллированную воду с помощью

магнитной мешалки со скоростью 400 об/мин. Затем полученную смесь помещали в гидротермальный автоклавный реактор. Синтез проводили при 190°C в течение 11 часов. Структуры, которые получались после синтеза гидротермальным методом, многократно промывали сначала изопропиловым спиртов, а затем дистиллированной водой, а затем сушили в сушильном шкафу в воздушной атмосфере при 80°C в течение 4 часов. Раствор, содержащий модификатор, добавляли по каплям к золю-предшественнику оксида цинка в течение 15 минут при нагревании на водяной бане при 65°C с непрерывным перемешиванием со скоростью 400 об/мин. В течение 2 часов в тех же условиях перемешивали полученный раствор, после чего приготовленные золи выдерживали в течение 24 часов при комнатной температуре. Пленки наносили методом центрифугирования при скорости 400 об/мин, при котором образовывалось три слоя. Затем происходила сушка в сушильном шкафу в течение 10 минут при температуре 200°C. Самый последний отжиг проводили в муфельной печи при 350°C в течение 1 часа. На рисунке 12 изображены все этапы синтеза золь-гель пленок оксида цинка, легированных различными модификациями углерода.

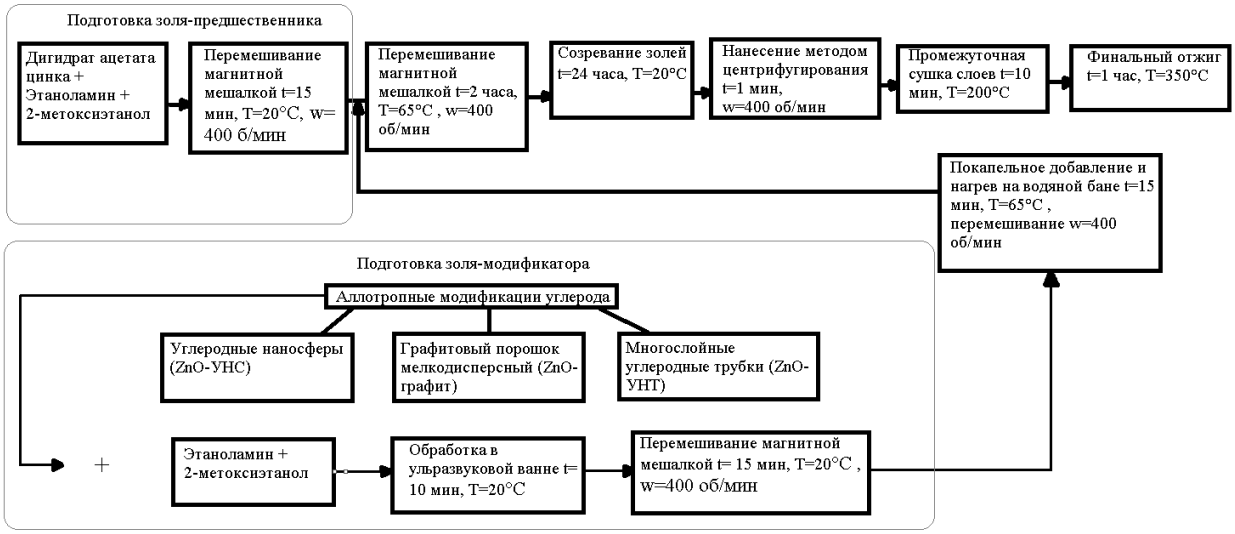
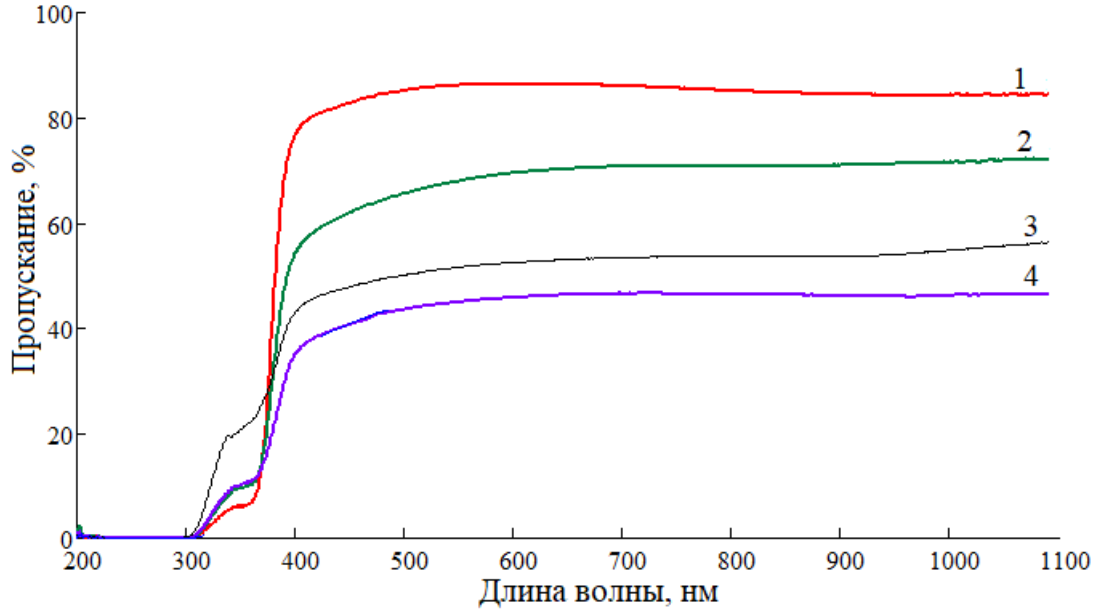


Рисунок 12 – Этапы синтеза золь-гель пленок, легированных различными модификациями углерода

2.2 Исследование оптических свойств материалов на основе оксида цинка

Для всех полученных материалов были измерены спектры пропускания. Измерение проводилось с помощью спектрофотометра СФ-56. Полученные спектры приведены на рисунке 13.



1 – ZnO, 2 – ZnO:углеродные наносферы; 3 – ZnO:графит; 4 – ZnO:УНТ

Рисунок 13 – Спектры пропускания материалов на основе оксида цинка с добавка аллотропных модификаций углерода

У всех полученных спектров пропускания можно увидеть закономерность. При длине волны от 0-300 нм и около 300-350 нм пропускание близко к 0%. Это означает, что вещество почти полностью поглощает свет. Затем с ростом длины волны происходит постепенное возрастание пропускания при 350 нм до пределов от 40-90% в зависимости от материала. После этого до 1100 нм пропускание остается стабильно высоким. Из наблюдений, ни у одного материала не наблюдается снижение пропускания.

Сами по себе спектры пропускания используются для качественного анализа разных материалов и помогают оценить, как вещество взаимодействует с электромагнитным излучением. Спектры пропускания

измеряют также для анализа материалов, для количественной оценки, которая часто основывается на законе Бера-Ламберта. Спектры пропускания измеряются при помощи специальных приборов, называемых спектрометрами и спектрофотометрами. Их использование зависит от типа излучения и области спектра. Например, дифракционная решетка используется в инфракрасном спектрофотометре, выделяя монохроматическое излучение. А спектрофотометры с Фурье-преобразованием работают на основе падающей световой волны, которая в последствии делится на несколько волн. Эти волны проходят разные оптические пути, а затем снова перекрываются. При изменении разности хода получается интерференционная кривая, которая позволяет определить спектр.

Для устройств электроники, работающих в видимом и УФ-диапазонах, оптические спектры пропускания материалов на основе оксида цинка является очень важными. В таких устройствах, как УФ-фотодетекторы и сенсоры, спектр пропускания важен для подавления ложных сигналов от видимого излучения. Из-за широкой запрещенной зоны, оксид цинка прозрачен для видимого света, но чувствителен к УФ-свету. Для защиты электроники, которая находится на открытом воздухе, используются защитные покрытия от ультрафиолетового излучения, в которых оксид цинка блокирует УФ, но пропускает видимый свет. Не следует игнорировать спектры пропускания, так как это может привести к потерям эффективности в солнечных батареях, паразитной засветке фотодетекторов и снижению контраста дисплеев.

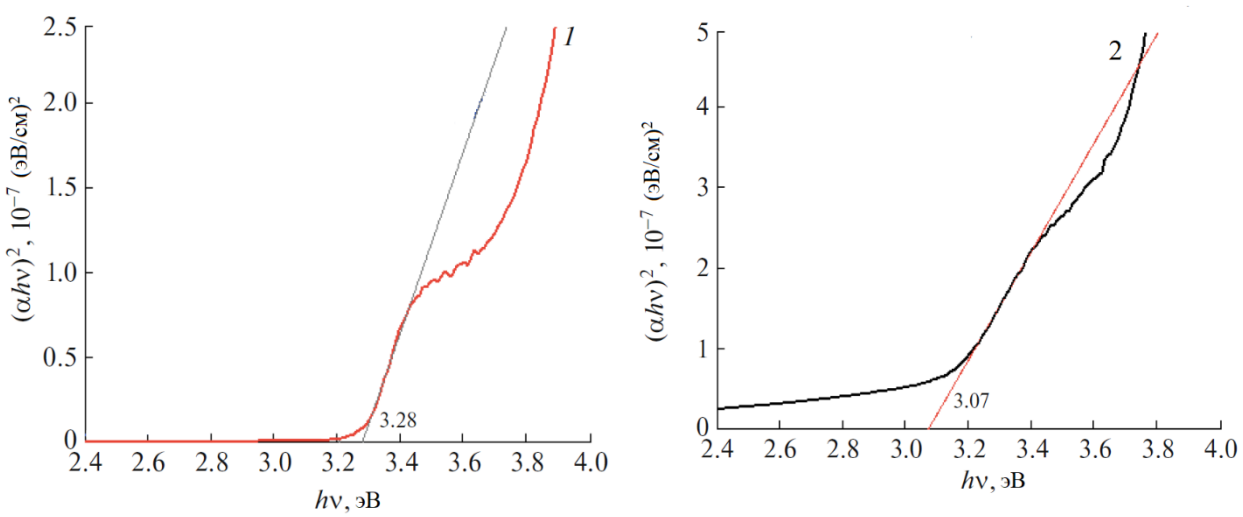
ZnO имеет преимущества перед другими материалами. Это связано с его не токсичностью, дешевизной и возможностью легирования для смещения края пропускания в УФ. Также спектры пропускания позволяют контролировать ширину запрещенной зоны, что является большим плюсом.

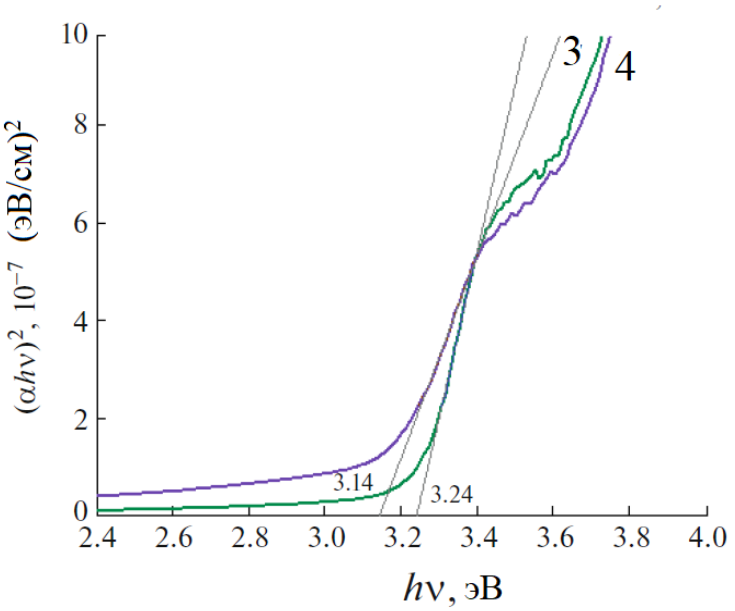
2.3 Определение оптической ширины запрещенной зоны методом Тауца

Используя спектры пропускания, определим оптическую ширину запрещенной зоны материалов. Для этого применим метод Тауца, который заключается в следующем. В основе метода лежит теория межзонных оптических переходов, согласно которой коэффициент поглощения вблизи края фундаментального поглощения связан с энергией фотона следующим соотношением:

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A \cdot (h\nu - E_g) \quad (1)$$

где A – постоянная величина, а показатель степени n зависит от типа электронных переходов: для разрешенных прямых переходов n=1/2, для разрешенных непрямых переходов n=2 [66]. Затем строятся графики в координатах Тауца, определяется линейный участок и проводится экстраполяция к нулю. На рисунке 14 приведены полученные построения.





1 – ZnO; 2 – ZnO-графит; 3 – ZnO-углеродные наносферы; 4 –ZnO-УНТ

Рисунок 14 – Построения в координатах Тауца для определения оптической ширины запрещенной зоны

Видно, что относительно нелегированного ZnO наблюдается сокращение оптической ширины запрещенной зоны не зависимо от типа углеродного модификатора. Наибольшее влияние оказало введение графита, в таком случае E_g=3,07 эВ, что является наименьшим показателем среди всех исследуемых материалов. При использовании углеродных наносфер E_g=3,14 эВ, а в случае модификации с помощью углеродных нанотрубок E_g=3,24 эВ. Полученные значения в совокупности с анализом спектров пропускания позволяют утверждать, что модификация аллотропными формами углерода может быть весьма эффективной в вопросе управления оптическими свойствами оксида цинка.

2.4 Исследование морфологических свойств материалов на основе оксида цинка

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и растровая электронная микроскопия (РЭМ) – один и тот же метод анализа поверхности пленок оксида цинка, позволяющий изучать их морфологию, размер, форму и структуру и т.д. Самое распространенное применение СЭМ – это анализ морфологии поверхности, который позволяет оценить форму, размер, рельеф и структуру. Например, СЭМ помогает определить, является ли пленка плотной и однородной, или состоит из отдельных структур, помогает измерить средний размер кристаллов в пленке. Благодаря этому методу можно визуально определить наличие дефектов (трещины, посторонние частицы и т.д), которые могут негативно влиять на свойства пленки. С помощью сканирующей электронной микроскопии можно сравнить структуру чистой и легированной пленки с добавлением примесей, увидеть отклонения в размерах и ориентации зерен. Также СЭМ позволяет определить размер и расположение кристаллов в пленке. Например, в пленках оксида цинка, которые были получены комбинированным методом золь-гель и гидротермальным осаждением, установили, что они состоят из плотных кристаллов с вертикальной ориентацией. Таким образом, благодаря сканирующей микроскопии можно рассматривать изображения на микро- и наноуровне, изучать структуру пленок.

На рисунке 15 представлено РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного углеродными наносферами.

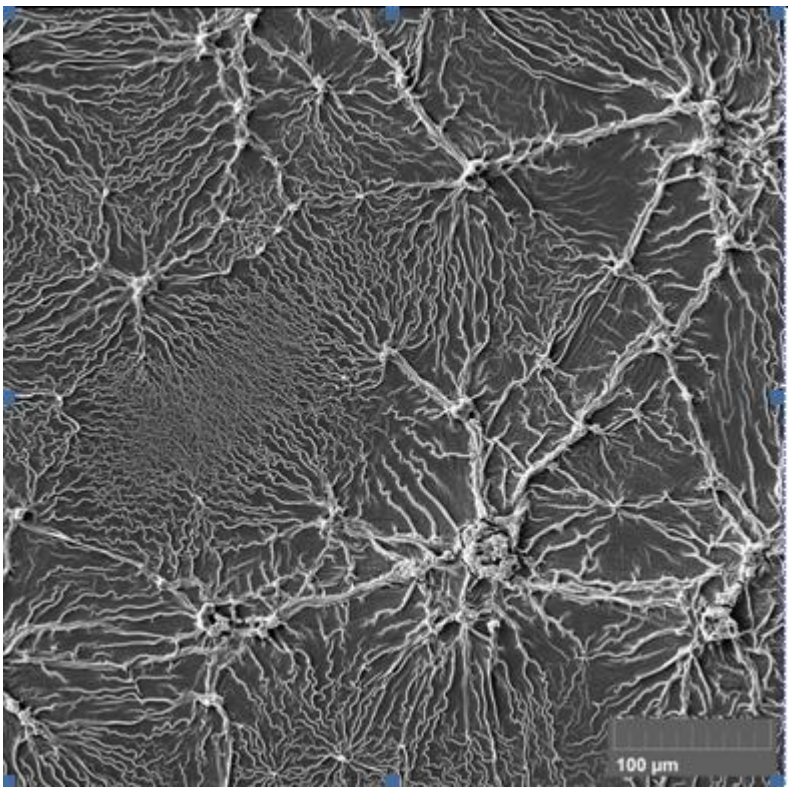


Рисунок 15 – РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного углеродными наносферами

На изображении можно заметить, что структура пленок сохранена, не видно разрушений наносфер. Предположительно, агрегация золь-гель структуры оксида цинка происходит от наносфер, которые в данном случае выступают центрами роста. От поверхности исходной наносферы можно заметить, как отходят структуры, внешне напоминающие борозды, наностержни или мелкие зерна. Это значит, что сфера была затравочным кристаллитом и имеет радиально-лучевую структуру. При этом размер центров роста составляет от порядка 1 – 2 мкм, до 40 мкм.

На рисунке 16 приведено РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного углеродными нанотрубками.

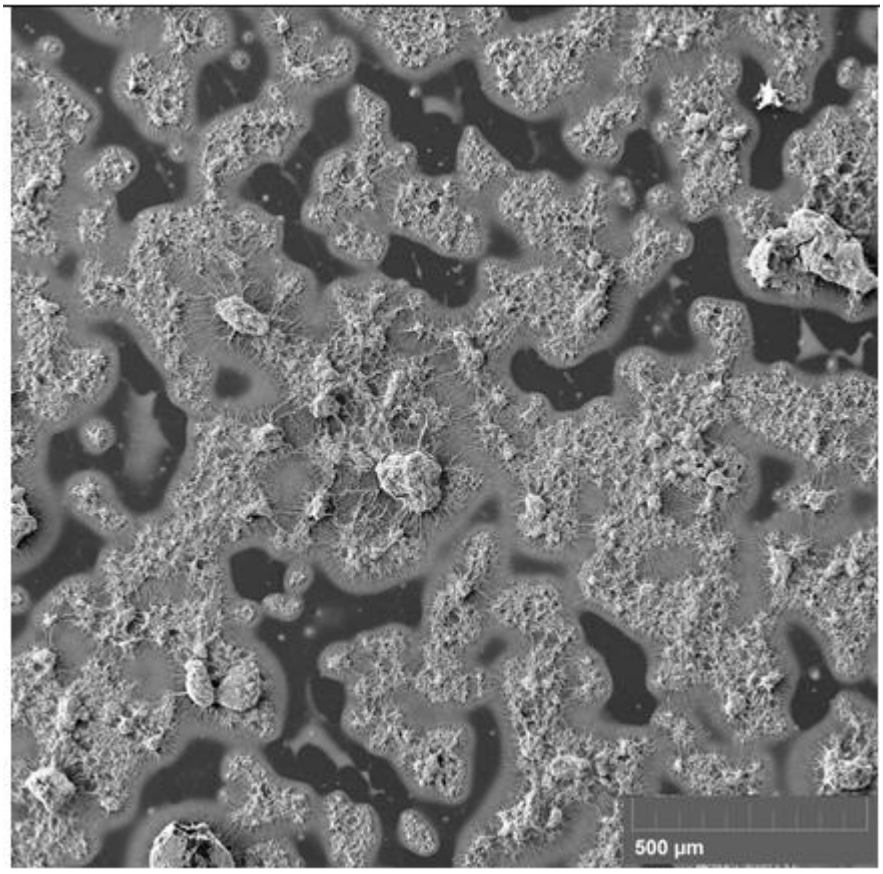


Рисунок 16 – РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного углеродными нанотрубками

На РЭМ-изображении заметно, что структура зернистая. Видны комочки из спутанных образований, окруженные, предположительно, оксидом цинка. Вероятнее всего, эти трубки не выросли в матрицу. Предположительно, агрегация золь-гель структуры оксида цинка происходит от нанотрубок, которые в данном случае также выступают центром роста.

На рисунке 17 представлено РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного графитом.

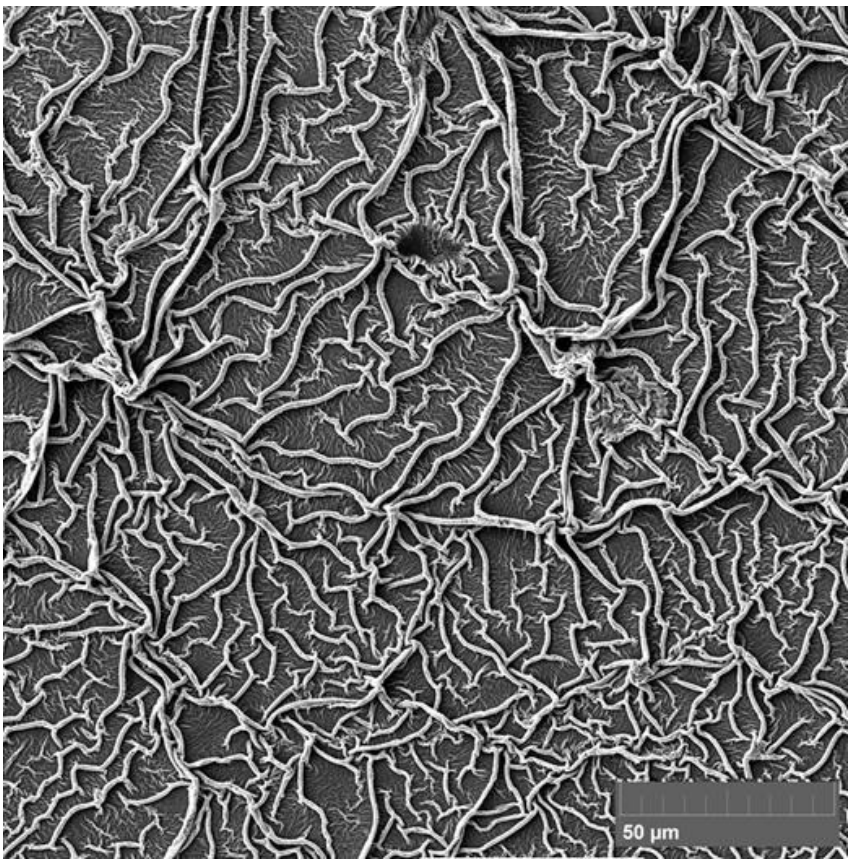


Рисунок 17– РЭМ-изображение пленки оксида цинка,
модифицированного графитом

Полученные в таком случае структуры более всех напоминают классическую для золь-гель синтеза организацию поверхности. На изображении заметны небольшие углубления, которые могут являться дефектами. Пленка покрывает всю подложку сплошным слоем, на котором можно заметить разветвления, которые располагаются хаотично. При этом заметна сложная иерархическая структура, представленная как ветвями меньшего размера (менее 1 мкм в толщину), так и крупными скоплениями, достигающими в диаметре 10 мкм. Можно также отметить, что мелкие структуры будто вырастают из крупных, напоминая таким образом фрактальные агрегаты. Что, впрочем, является ожидаемым эффектом при применении золь-гель синтеза, который, как известно, относится к группе методов «снизу вверх».

Оценка морфологии поверхности наноматериалов критически необходима для их эффективного применения. Именно поверхность с ее

дефектами и определяет уникальные свойства наноматериалов. Без знания морфологии свойства наноматериала становятся непредсказуемыми. Состояние и морфология поверхности также повлияет и на параметры приборов электроники.

Морфология также влияет на контактное сопротивление и удельное сопротивление пленки. Если пленка металла состоит из островков или имеет глубокие канавки, эффективность сечения канала уменьшается, неровная поверхность затрудняет формирование контакта. Затем происходит рост паразитного сопротивления, что приводит к увеличению времени задержки сигнала.

3 Обеспечение электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования

Работа инженера-исследователя в области нанотехнологии, в частности исследования влияния различных способов модификации на морфологию и оптические свойства широкозонных полупроводниковых оксидов, требует взаимодействия с различным технологическим и исследовательским оборудованием.

В современных условиях развития научно-исследовательской деятельности особую актуальность приобретает проблема электрической безопасности и профилактики технических поражений при эксплуатации лабораторного оборудования.

Особую важность имеет вопрос эксплуатации стендов, измерительных приборов, источников питания и автоматики. Все это сопряжено с риском поражения электрическим током, а также возникновения других поражений (ожогов, электродуговых травм, механических повреждений от внезапного пуска механизмов).Важно учитывать, что несоблюдение установленных правил может привести к серьезным последствиям. Также следует обратить внимание, что в Российской Федерации этот вопрос регулируется целым рядом нормативных документов, включая ГОСТы, СанПиНы и другие регламентирующие акты.

3.1 Профилактика и действия при поражении электричеством. Меры безопасности

Обеспечение электробезопасности и профилактики технических поражений основывается на нескольких ключевых документах. Среди них можно выделить ГОСТ [67], который говорит об обеспечении безопасности при эксплуатации электрического оборудования, а также ГОСТ [68],

содержащий систему стандартов безопасности труда.

Воздействие электрического тока на человека проявляется в виде электрических травм и заболеваний, в том числе производственно-обусловленных и профессиональных.

При начале работы с электрооборудованием прежде всего для обеспечения безопасности нужно проверить электрооборудование с напряжением, в том числе оборудование и механизмы, которые могут быть под напряжением. Они должны быть надежно заземлены во избежание удара током. Проводящие части, находящиеся под опасным напряжением, не должны быть доступны. А те части, которые доступны, не должны находиться под напряжением. На производстве также необходимо проводить инструктажи по технике безопасности, в которых будет рассказываться то, как сотрудники должны действовать в экстренных ситуациях.

В целях предотвращения травм, связанных с поражением электричеством, запрещается:

1. Работать с неисправными или поврежденными электрическими приборами и установками.
2. Оставлять без присмотра включенный электроприбор.
3. Прикасаться к открытым неизолированным частям установки.
4. Загораживать проходы к электроустановкам.

При обнаружении дефекта в изоляции проводов, поломке электроприбора, неисправности вилок, розеток следует незамедлительно сообщить об этом электротехническому персоналу. В случае, если прекратилась подача электроэнергии, нужно выключить все электроприборы.

Для защиты от прямого контакта с электроприборами, находящимися под напряжением, необходимо применять следующие технические способы и средства:

- основная изоляция;
- защитные оболочки;
- защитные ограждения (временные или стационарные);

- защитные барьеры;

- безопасное расположение токоведущих частей, размещение их вне зоны досягаемости частями тела, конечностями;

- выравнивание потенциалов;

- защитное отключение;

- ограничение установившегося тока прикосновения и электрического заряда;

- электрическое разделение;

- предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности;

- электрозащитные средства и другие средства индивидуальной защиты;

- ограничение напряжения, применение сверхнизкого (малого) напряжения и т.д.

Для защиты от поражения термическим действием электрической дуги при работах в закрытых и открытых электроустановках со снятием и без снятия напряжения дополнительно следует применять специальные защитные термостойкие комплекты, включающие в себя одежду, обувь, средства защиты головы и рук.

При поражении электричеством необходимо быстро освободить человека от воздействия тока, отключить прибор. Отключение производится с помощью рубильника или выключателя. Если нет возможности быстро отключить электроприбор, то следует освободить пострадавшего от токоведущих частей с помощью деревянных или не проводящих ток предметов. После этого нужно в срочном порядке вызвать врача.

3.2 Обеспечение противопожарной безопасности

Лаборатория и другие помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТу [69] и иметь средства пожаротушения по ГОСТу [70]. Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами с пожарным рукавом, а также в каждом помещении

должен находиться огнетушитель и песок. План эвакуации должен быть размещен на видном месте в лабораторном помещении для того, чтобы в экстренных случаях сотрудники смогли сориентироваться по этому плану. Также все сотрудники должны быть обучены правилам обращения с огнетушителем и другими средствами пожаротушения. Курение в помещении строго запрещается. Для этого должны быть отведенные и оборудованные места.

Каждый сотрудник, заметивший возгорание, задымление или пожар обязан действовать согласно инструкции, а именно незамедлительно вызвать пожарных, сообщить начальнику лаборатории о происходящем, если есть такая возможность, то предотвратить распространение огня. В свою очередь начальник должен известить сотрудников и принять меры по их эвакуации.

3.3 Профилактика производственных травм

Профилактика производственных травм — это меры, направленные на снижение рисков возникновения несчастных случаев на производстве, сохранение жизни и здоровья работников [71]. Наибольшим вредом для человека является смерть. Понятие вреда подразумевает возмещение вреда виновником причиненного вреда. Также различают моральный вред. Этот вред связан с психологическим состоянием пострадавшего, а не с материальным состоянием.

В связи с причиненными травмами человек может потерять трудоспособность. Человек или предприятие, ответственное за получение производственных травм, обязано возместить причиненный ущерб в соответствии с законодательством.

Работодатель должен обеспечить безопасное состояние объекта или процесса, который потенциально может быть опасным. Опасным производственный фактором является фактор, воздействие которого в определенных условиях на организм работающего может привести либо к обычной травме, либо смертельной.

Травма может быть нескольких видов: производственная, связанная с работой и не связанная с рабой. Отличие заключается в том, что производственная травма получается сотрудников при несчастном случае на производстве. Травма, связанная с работой, случается с пострадавшим по причине выполнения работы, в том числе при несчастном случае во время исполнения трудовых обязанностей или поручения работодателя, но не квалифицированная как производственная травма.

Нередко на производстве случается травма, связанная с попаданием химически вредного вещества на человека или в его организм. Наиболее распространенным путем попадания вредного вещества в организм человека является ингаляционный путь — через органы дыхания.В безопасности труда есть термин порогового воздействия, согласно которому вредный производственный фактор может проявиться сразу или спустя какое-то время. При получении такой травмы на производстве работодатель обязан возместить ущерб за лечение, которое предстоит пройти сотруднику (если эта травма не несет в себе смертельный исход).

3.4 Испытания и маркировка оборудования

Для обеспечения безопасности на предприятии все оборудование или его части должны быть испытаны. Целью этих испытаний является определение соответствия проекта и конструкции оборудования требованиям настоящего стандарта [71].Изготовители должны провести тесты всего оборудования, имеющего как опасные для жизни части, так и доступные токопроводящие элементы. Испытания могут проводить как в нормальных условиях, так и в условиях единичной неисправности. При этом, проводимые испытания должны соответствовать требованиям настоящего стандарта [72]. После каждого испытания стоит тщательно проверить испытуемое оборудование. Если в результате повторного испытания возникает сомнение в том, что оборудование выдержит ранее проведенные испытания, то эти испытания, которые проводились до этого, должны быть повторить.

Все оборудование должно работать до тех пор, пока дальнейшее изменение состояния в результате введенной неисправности не станет маловероятным. Каждое испытание ограничивается одним часом, потому что любая неисправность достаточно проявит себя в течение этого часа. Если по завершении 1 ч обнаруживают признаки того, что может случайно возникнуть опасность удара электрическим током, распространения огня, то испытание должно быть продолжено до тех пор, пока одна из опасностей не проявится.

Также все оборудование должно иметь маркировку. За исключением маркировки внутренних частей оборудования, маркировка должна быть видна снаружи или быть видимой после снятия крышки или открытия дверцы без применения инструмента. Маркировку не следует размещать на частях, которые могут быть сняты оператором без использования инструмента. Маркировка для оборудования, которое устанавливается в стойке или щите, наносится на поверхность, которая становится видимой после того, как оборудование будет извлечено из стойки или щита. Обозначения единиц физических величин должны соответствовать требованиям ГОСТа [73].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оксид цинка демонстрирует уникальное разнообразие морфологий (1*D*, 2*D*, 3*D* структуры), доступных методов синтеза («сверху вниз», «снизу вверх», включая золь-гель, гидротермальный, «зелёный» синтез с использованием растений) и ценных свойств, таких как широкая запрещённая зона, высокая химическая стабильность, биосовместимость, фотокаталитическая и антимикробная активность. Благодаря этим свойствам оксид цинка востребован во многих сферах.

Модификация аллотропными формами углерода (нанотрубки, фуллерены и др.) значительно расширяет его функциональные возможности, улучшая электрические, оптические и фотокаталитические свойства.

Несмотря на высокий потенциал применения оксида цинка, отмечаются отдельные проблемы, характерные для каждой конкретной области использования. Среди основных можно отметить: быстрая рекомбинация носителей в чистом ZnO, снижение эффективности при больших дозах облучения в дозиметрии, образование комплексов Zn^{2+}/краситель в фотоэлектрических элементах. Однако эти недостатки успешно преодолеваются путём углеродной модификации, легирования и оптимизации технологии синтеза.

Методы синтеза, такие как «сверху вниз», «снизу вверх», включая «зелёные» подходы и золь-гель технологию, позволяют целенаправленно создавать композиты ZnO/C с заданными характеристиками для конкретных практических задач, что делает данное направление одним из наиболее перспективных в современном материаловедении.

Таким образом, основные результаты работы заключаются в следующем.

Был проведен аналитический обзор, затрагивающий в том числе самые передовые работы в этой области. Были исследованы способы модификации оксида цинка аллотропными формами углерода для конкретных

практических применений. Определен оптимальный набор модификаторов для обеспечения высокого значения пропускания тонкой пленки.

Проведен анализ спектров пропускания полученных материалов в диапазоне от 200 до 1100 нм. Выявлен вклад каждого из исследуемых модификаторов в пропускание золь-гель пленок на основе оксида цинка. Реализовано определение оптической ширины запрещенной зоны с использованием метода Тауца.

Проведен анализ изображений поверхности пленок, полученных методом растровой электронной микроскопии. Проанализирована взаимосвязь морфологии поверхности золь-гель пленок оксида цинка и типа модификатора.

Поскольку исследование вклада аллотропных модификаций углерода в свойства материалов на основе оксида цинка на первых этапах реализуются в химической лаборатории, был проведен анализ способов обеспечения электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Yadav P. et al. Zinc oxide-based nanomaterials as efficient photocatalysts and electrocatalysts //Ionics.* – 2025. – Т. 31. – №. 9. – С. 8875-8901

2. *Kołodziejczak-Radzimska A., Jesionowski T. Zinc oxide—from synthesis to application: a review //Materials*. – 2014. – Т. 7. – №. 4. – С. 2833-2881.

3. *Gartner M. et al. Various applications of ZnO thin films obtained by chemical routes in the last decade //Molecules*. – 2023. – Т. 28. – №. 12. – С. 4674.

4. *Borysiewicz M. A. ZnO as a functional material, a review //Crystals. – 2019. – Т. 9.* – №. 10. – С. 505.

5. *Meruvu H. et al. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles and its antimicrobial activity against Bacillus subtilis and Escherichia coli //J. Rasayan Chem.* – 2011. – Т. 4. – №. 1. – С. 217-222.

6. *Grattan K. T. V., Meggitt B. T. Chemical and environmental sensing //(No Title).* – 1999.

7. *Hong R. et al. Synthesis and surface modification of ZnO nanoparticles //Chemical Engineering Journal*. – 2006. – Т. 119. – №. 2-3. – С. 71-81.

8. *Li H. et al. Zinc oxide films prepared by sol–gel method //Journal of Crystal Growth.* – 2005. – Т. 275. – №. 1-2. – С. e943-e946.

9. *Carotta M. C. et al. ZnO gas sensors: A comparison between nanoparticles and nanotetrapods-based thick films //Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2009. – Т. 137. – №. 1. – С. 164-169.

10. *Lee K. M. et al. Recent developments of zinc oxide based photocatalyst in water treatment technology: a review //Water research*. – 2016. – Т. 88. – С. 428-448.

11. *Janotti A., Van de Walle C. G. Fundamentals of zinc oxide as a semiconductor //Reports on progress in physics*. – 2009. – Т. 72. – №. 12. – С. 126501.

12. *Sharma D. K. et al. A review on ZnO: Fundamental properties and applications //Materials Today: Proceedings.* – 2022. – Т. 49. – С. 3028-3035.

13. *Ali A. M. A. et al. Sensitivity of al-doped zinc-oxide extended gate field effect transistors to low-dose X-ray radiation //Materials*. – 2023. – Т. 16. – №. 5. – С. 1868.

14. *Tsubomura H. et al. Dye sensitised zinc oxide: aqueous electrolyte: platinum photocell //Nature.* – 1976. – Т. 261. – №. 5559. – С. 402-403.

15. *Zhang Q. et al. ZnO nanostructures for dye-sensitized solar cells //Advanced materials.* – 2009. – Т. 21. – №. 41. – С. 4087-4108.

16. *Cho S. I. et al. Enhancement in photovoltaic performance of solar cells by electrostatic adsorption of dyes on ZnO nanorods //Nanomaterials.* – 2022. – Т. 12. – №. 3. – С. 372.

17. *Costenaro D. et al. Preparation of luminescent ZnO nanoparticles modified with aminopropyltriethoxy silane for optoelectronic applications //New Journal of Chemistry.* – 2013. – Т. 37. – №. 7. – С. 2103-2109.

18. *Kalpana V. N., Devi Rajeswari V. A review on green synthesis, biomedical applications, and toxicity studies of ZnO NPs //Bioinorganic chemistry and applications*. – 2018. – Т. 2018. – №. 1. – С. 3569758.

19. *Chennimalai M. et al. One-step green synthesis of ZnO nanoparticles using Opuntia humifusa fruit extract and their antibacterial activities //Materials Today: Proceedings.* – 2021. – Т. 47. – С. 1842-1846.

20. *Imath M. et al. Eco-friendly synthesis of ZnO nanoparticles fabricated using Fioriavitifolia L. and their biomedical potentials //Microbial pathogenesis*. – 2025. – Т. 199. – С. 107139

21. *Asif N. et al. Investigation of morphological and biochemical changes of zinc oxide nanoparticles induced toxicity against multi drug resistance bacteria*

//Journal of Trace Elements in Medicine and Biology. – 2022. – Т. 74. – С. 127069.

22. *Salavatiha Z. et al. Zinc oxide-polyvinyl alcohol nanocomposite: A promising antiviral agent against acyclovir-sensitive and resistant herpes simplex virus type 1 //Microbial Pathogenesis.* – 2025. – С. 108223.

23. *Iqbal G. et al. Photo-inactivation and efflux pump inhibition of methicillin resistant Staphylococcus aureus using thiolated cobalt doped ZnO nanoparticles //Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.* – 2019. – Т. 192. – С. 141-146.

24. *Verma R. et al. ZnO nanomaterials: Green synthesis, toxicity evaluation and new insights in biomedical applications //Journal of Alloys and Compounds. – 2021.* – Т. 876. – С. 160175.

25. *Al-Shehaby N. et al. In vitro localization of modified zinc oxide nanoparticles showing selective anticancer effects against colorectal carcinoma using biophysical techniques //Scientific Reports.* – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 16811.

26. *Liu J. et al. Chitosan-based films with antioxidant of bamboo leaves and ZnO nanoparticles for application in active food packaging //International Journal of Biological Macromolecules.* – 2021. – Т. 189. – С. 363-369.

27. *Guo M. et al. Simultaneously improving the electrical properties and long-term stability of ZnO varistor ceramics by reversely manipulating intrinsic point defects //Journal of the European Ceramic Society.* – 2022. – Т. 42. – №. 1. – С. 162-168.

28. *Kumar V. et al. Ion beam engineering of implanted ZnO thin films for solar cell and lighting applications //Chemical Engineering Journal Advances*. – 2023. – Т. 15. – С. 100501.

29. *Al-Jumaili A. et al. Review on the antimicrobial properties of carbon nanostructures //Materials.* – 2017. – Т. 10. – №. 9. – С. 1066.

30. *Li D. et al. Engineering of ZnO/rGO towards NO2 gas detection: ratio modulated sensing type and heterojunction determined response //Nanomaterials.* – 2023. – Т. 13. – №. 5. – С. 917.

31. *Tran D. T.* et *al. Cu-ZnO/CdS/rGO tertiary heterojunction for improved photocatalytic degradation of synthetic dyes using visible light //Journal of Water Process Engineering.* – 2024. – Т. 57. – С. 104687.

32. *Wang Z. et al. A flexible UV nanosensor based on reduced graphene oxide decorated ZnO nanostructures //Nanoscale.* – 2012. – Т. 4. – №. 8. – С. 2678-2684.

33. *Rauwel P. et al. A review of the synthesis and photoluminescence properties of hybrid ZnO and carbon nanomaterials //Journal of Nanomaterials.* – 2016. – Т. 2016. – №. 1. – С. 5320625.

34. *Tladi B. C. et al. Effect of graphene oxide coatings on the optical properties of pulsed laser deposited ZnO: Zn thin films //Optical Materials.* – 2023. – Т. 146. – С. 114531.

35. *Zhang J. et al. All-fiber-optic temperature sensor based on reduced graphene oxide //Laser Physics Letters.* – 2014. – Т. 11. – №. 3. – С. 035901.

36. *Wu Y. et al. Optical graphene gas sensors based on microfibers: a review //Sensors*. – 2018. – Т. 18. – №. 4. – С. 941.

37. *Zhao Y. et al. Review on the graphene based optical fiber chemical and biological sensors //Sensors and Actuators B: Chemical.* – 2016. – Т. 231. – С. 324-340.

38. *Consales M. et al. Fiber Optic Chemical Nanosensors Based on Engineered Single-Walled Carbon Nanotubes: A Review //Journal of Sensors.* – 2008. – Т. 2008. – №. 1. – С. 936074.

39. *Kumar P. et al. Investigations on optical properties of ZnO decorated graphene oxide (ZnO@ GO) and reduced graphene oxide (ZnO@ r-GO) //Journal of Alloys and Compounds.* – 2018. – Т. 744. – С. 64-74.

40. *Elias M. et al. A highly efficient and stable photocatalyst; N-doped ZnO/CNT composite thin film synthesized via simple sol-gel drop coating method //Molecules.* – 2021. – Т. 26. – №. 5. – С. 1470.

41. *Iijima Y. A. Preparation of carbon nanotubes by arc-discharge evaporation //Japanese Journal of Applied Physics.* – 1993. – Т. 32. – №. 1A. – С. L107.

42. *Gonçalves H. et al. Hg (II) sensing based on functionalized carbon dots obtained by direct laser ablation //Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2010. – Т. 145. – №. 2. – С. 702-707.

43. *Hu Y. et al. Waste frying oil as a precursor for one-step synthesis of sulfur-doped carbon dots with pH-sensitive photoluminescence //Carbon.* – 2014. – Т. 77. – С. 775-782.

44. *Fan X. et al. Recent progress in organic–inorganic hybrid solar cells //Journal of Materials Chemistry A.* – 2013. – Т. 1. – №. 31. – С. 8694-8709.

45. *Roland S. et al. Hybrid organic/inorganic thin-film multijunction solar cells exceeding 11% power conversion efficiency //Advanced Materials.* – 2015. – Т. 27. – №. 7. – С. 1262-1267.

46. *Chen D., Feng H., Li J. Graphene oxide: preparation, functionalization, and electrochemical applications //Chemical reviews*. – 2012. – Т. 112. – №. 11. – С. 6027-6053.

47. *Hernandez Y. et al. High-yield production of graphene by liquid-phase exfoliation of graphite //Nature nanotechnology.* – 2008. – Т. 3. – №. 9. – С. 563-568.

48. *Brodie B. Note sur un nouveau procédé pour la purification et la désagrégation du graphite //Ann. Chim. Phys.* – 1855. – Т. 45. – С. 351-353.

49. *Salavatiha Z. et al. Zinc oxide-polyvinyl alcohol nanocomposite: A promising antiviral agent against acyclovir-sensitive and resistant herpes simplex virus type 1 //Microbial Pathogenesis.* – 2025. – С. 108223.

50. *Sharma A. et al. Insight into ZnO/carbon hybrid materials for photocatalytic reduction of CO2: An in-depth review //Journal of CO2 Utilization.* – 2022. – Т. 65. – С. 102205.

51. *Zhang D., Yin N., Xia B. Facile fabrication of ZnO nanocrystalline-modified graphene hybrid nanocomposite toward methane gas sensing application //Journal of Materials Science: Materials in Electronics.* – 2015. – Т. 26. – №. 8. – С. 5937-5945.

52. *Wang H. et al. Excitonic effects in polymeric photocatalysts //Angewandte Chemie International Edition*. – 2020. – Т. 59. – №. 51. – С. 22828-22839.

53. *Kisslinger R., Hua W., Shankar K. Bulk heterojunction solar cells based on blends of conjugated polymers with II–VI and IV–VI inorganic semiconductor quantum dots //Polymers.* – 2017. – Т. 9. – №. 2. – С. 35.

54. *Phogat P. et al. Synthesis of novel ZnO nanoparticles with optimized band gap of 1.4 eV for high-sensitivity photo electrochemical detection //Materials Today Sustainability.* – 2024. – Т. 27. – С. 100823.

55. *e Silva R. L. S., Banerjee P., Júnior A. F. Functional properties of donor-and acceptor-co-doped high dielectric constant zinc oxide ceramics //Physical Chemistry Chemical Physics.* – 2019. – Т. 21. – №. 18. – С. 9456-9464.

56. *Lettieri S. et al. Charge carrier processes and optical properties in TiO2 and TiO2-based heterojunction photocatalysts: A review //Materials*. – 2021. – Т. 14. – №. 7. – С. 1645.

57. *Zhang J., Li J. The oxygen vacancy defect of ZnO/NiO nanomaterials improves photocatalytic performance and ammonia sensing performance //Nanomaterials.* – 2022. – Т. 12. – №. 3. – С. 433.

58. *Islam M. U., Iqbal M., Kossar S. Synthesis and characterization of ZnO-graphite binary nanocomposite for supercapacitor and photocatalyst application //The European Physical Journal Plus.* – 2025. – Т. 140. – №. 12. – С. 1241.

59. *Abbas S. M. et al. Structure and electrochemical performance of ZnO/CNT composite as anode material for lithium-ion batteries //Journal of Materials Science.* – 2013. – Т. 48. – №. 16. – С. 5429-5436.

60. *Choi C. et al. Achieving high energy density and high power density with pseudocapacitive materials //Nature Reviews Materials.* – 2020. – Т. 5. – №. 1. – С. 5-19.

61. *Gür T. M. Review of electrical energy storage technologies, materials and systems: challenges and prospects for large-scale grid storage //Energy & environmental science.* – 2018. – Т. 11. – №. 10. – С. 2696-2767.

62. *Ge J., Zhang Y., Park S. J. Recent advances in carbonaceous photocatalysts with enhanced photocatalytic performances: a mini review //Materials.* – 2019. – Т. 12. – №. 12. – С. 1916.

63. *Song L. et al. C60/graphene/g-C3N4 composite photocatalyst and mutually-reinforcing synergy to improve hydrogen production in splitting water under visible light radiation //Ceramics International.* – 2017. – Т. 43. – №. 10. – С. 7901-7907.

64. *Soultati A. et al. Lithium doping of ZnO for high efficiency and stability fullerene and non-fullerene organic solar cells //ACS Applied Energy Materials.* – 2019. – Т. 2. – №. 3. – С. 1663-1675.

65. *Mahamuni P. P. et al. Synthesis and characterization of zinc oxide nanoparticles by using polyol chemistry for their antimicrobial and antibiofilm activity //Biochemistry and biophysics reports.* – 2019. – Т. 17. – С. 71-80.

66. *Viezbicke B. D. et al. Evaluation of the Tauc method for optical absorption edge determination*: ZnO *thin films as a model system* //*physica status solidi (b)*. – 2015. – Т. 252. – №. 8. – С. 1700-1710.

67. ГОСТ 12.2.091-2012 Безопасность электрического оборудования для измерения, управления и лабораторного применения

68. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

69. ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования»

70. ГОСТ 12.4.009-83 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание»

71. ГОСТ 12.0.002-2014 «Система стандартов безопасности труда. Термины и определения»

72. ГОСТ Р 59792-2021 «Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Виды испытаний автоматизированных систем»

73. ГОСТ 8.417-2024 «Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин»

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Задание на бакалаврскую работу

«Утверждаю»
зав. кафедрой НиМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«04» июня 2026 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студент(ка) гр. 22ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Поспехова Анастасия Владимировна
(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Якушова Надежда Дмитриевна
(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы Исследование влияния аллотропных модификаций углерода на морфологию и оптические свойства оксида цинка

Тема утверждена приказом ПГУ № 461 а/о от «24» апреля 2026 г.

4. Техническое задание на бакалаврскую работу (вид работы: разработка, проектирование, исследование, и т.д.; назначение; основные параметры; условия функционирования и т.д.)

Провести подбор оптимальных модификаторов для синтеза тонких пленок оксида цинка, обеспечивающих высокое пропускание в видимой и ближней инфракрасной области, а также возможность управления шириной запрещенной зоны. Выбор модификаторов провести из соединений, образованных атомами углерода, но отличающихся строением и свойствами. Составить схему синтеза и модификации. Исследовать полученные пленки методом оптической спектрофотометрии в спектральном диапазоне от 200 до 1100 нм. Определить оптическую ширину запрещенной зоны, используя метод Тауца. Провести анализ РЭМ-изображений полученных пленок.

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

5.1. Пояснительная записка (перечень вопросов, подлежащих разработке, обоснований, описаний, расчетов и т.д.)

1. Литературный обзор способов модификации пленок оксида цинка аллотропными модификациями углерода

1.1 Области применения оксида цинка как функционального материала

1.2 Виды аллотропных модификаций углерода. Их влияние на оптические свойства оксида цинка

1.3 Применение оксида цинка, модифицированного аллотропными модификациями углерода

2 Исследование морфологических и оптических свойств пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными формами углерода

2.1 Методика синтеза пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными модификациями углерода

2.2 Исследование оптических свойств материалов на основе оксида цинка

2.3 Определение оптической ширины запрещенной зоны методом Тауца

2.4 Исследование морфологических свойств материалов на основе оксида цинка

3 Обеспечение электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования

3.1 Профилактика и действия при поражении электричеством. Меры безопасности

3.2 Обеспечение противопожарной безопасности

3.3 Профилактика производственных травм

3.4 Испытания и маркировка оборудования

5.2. Иллюстративная часть (перечень и содержание чертежей и слайдов презентации)

1 слайд: Титульный

2 слайд: Цели и задачи ВКР

3 слайд: Возможные сферы применения пленок оксида цинка, модифицированных углеродом

4 слайд: Методика синтеза золь-гель пленок оксида цинка, модифицированных углеродом

5 слайд: Анализ спектров пропускания материалов ZnO/углерод

6 слайд: Определение оптической ширины запрещенной зоны материалов ZnO/C

7 слайд: Морфология поверхности золь-гель плёнок ZnO/углерод

8 слайд: Обеспечение электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования

9 слайд: Заключение

10 слайд: Спасибо за внимание

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов 6.1. _____

_____

_____

Консультант _____

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Литературный обзор способов модификации пленок оксида цинка аллотропными модификациями углерода	45%	4 июня	
Исследование морфологических и оптических свойств пленок оксида цинка, модифицированного аллотропными формами углерода	25%	6 июня	
Обеспечение электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования	20%	7 июня	
Иллюстративная часть	5%	9 июня	
Оформление пояснительной записки	5%	9 июня	

Руководитель бакалаврской работы _____ Якушова Н.Д.
подпись фамилия, инициалы

Дата выдачи задания «04» июня 2026 г.

Задание к исполнению принял _____ Поспехова А.В.
подпись фамилия, инициалы

«04» июня 2026 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета _____ Кревчик В.Д.
подпись фамилия, инициалы

«15» июня 2026 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»

Заявление для проверки ВКР на оригинальность

И.о ректора Пензенского государственного университета Васину С.М.
студентки 4 курса ФИТЭ очной формы обучения
Поспеховой Анастасии Владимировны

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Поспехова Анастасия Владимировна, студент (ка) 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, Микроэлектроника и твердотельная электроника, прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат.ВУЗ» бакалаврской выпускной квалификационной работы на тему «Исследование влияния аллотропных модификаций углерода на морфологию и оптические свойства оксида цинка», выполненной мной самостоятельно, на содержание элементов плагиата.

Все прямые заимствования из печатных и электронных источников, а также из защищенных ранее выпускных квалификационных работ, кандидатских и докторских диссертаций имеют соответствующие ссылки.

Я ознакомлен (а) с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР к защите и отчисления из университета.

подпись студента _____ 09.06.2026 дата

ВКР представлена на проверку _____ 09.06.2026 дата

Руководитель ВКР _____ подпись Якушова Н.Д ФИО руководителя

Протокол

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной бакалаврской работы на тему «Исследование влияния аллотропных модификаций углерода на морфологию и оптические свойства оксида цинка»

Студента 4 курса Поспеховой Анастасии Владимировны

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника,

бакалаврская программа «Нано- и микроэлектроника»

Руководитель ВКР Якушова Надежда Дмитриевна

АНТИПЛАГИАТ

СПРАВКА

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Руководитель ВКР

«09» июня 2026 г. _____ Якушова Н.Д.

подпись фамилия, инициалы

АНТИПЛАГИАТ
ОБНАРУЖЕНИЕ ЗАИМСТВОВАНИЙ

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пензенский государственный университет"

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Поспехова Анастасия Владимировна
Самоцитирование рассчитано для: Поспехова Анастасия Владимировна
Название работы: Исследование влияния аллотропных модификаций углерода на морфологию и оптические свойства оксида цинка
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ **ВНИМАНИЕ, ДОКУМЕНТ ПОДОЗРИТЕЛЬНЫЙ:** ОБНАРУЖЕНЫ ПОПЫТКИ МАСКИРОВКИ ЗАИМСТВОВАНИЙ. РЕКОМЕНДУЕТСЯ ПРОВЕРИТЬ ПОЛНЫЙ ОТЧЕТ

■ **ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ:** НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	20.07%	СОВПАДЕНИЯ	20.07%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	76.31%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	76.31%
ЦИТИРОВАНИЯ	3.62%	ЦИТИРОВАНИЯ	3.62%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%
ИИ-КОНТЕНТ	10.65%		

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 09.06.2026 13:55

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 09.06.2026

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.2, 26-58, содержание с.3, введение с.4-25, выводы с.59-60

Модули поиска: Профессиональная лексика. Юриспруденция; Рувики; Коллекция НБУ; Медицина; Цитирование; Профессиональная лексика. Медицина; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Переводные заимствования; Шаблонные фразы; Профессиональная лексика. АПК и биотех; СМИ России и СНГ; Публикации eLIBRARY; IEEE; Сводная коллекция научных работ Беларуси; Кольцо вузов; Сводная коллекция ЭБС; Публикации РГБ; Коллекция открытых публикаций международных издательств; PubMed; Перефразирования по коллекции IEEE; Перефразирования по базе публикаций открытого доступа PubMed; СПС ГАРАНТ: аналитика; Патенты СССР, РФ, СНГ; ИПС Адилет; Переводные заимствования по Коллекции открытых публикаций международных издательств; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Публикации eLIBRARY (...

Работу проверил: Головяцкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 09.06.2026

Подпись проверяющего

Чтобы убедиться в подлинности справки, используйте QR-код, который содержит ссылку на отчет.

Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего. Предоставленная информация не подлежит использованию в коммерческих целях.

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)
Презентация к ВКР

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Факультет информационных технологий и электроники
Кафедра « Нано – и микроэлектроника »

Исследование влияния аллотропных модификаций углерода на морфологию и оптические свойства оксида цинка

Выполнила: ст. гр. 22ПД1
Поспехова Анастасия Владимировна

Научный руководитель: к.т.н., доцент кафедры НиМЭ
Якушова Надежда Дмитриевна

Пенза, 2026 г.

Цель и задачи ВКР

Цель: исследование влияния типа модификатора на оптические и морфологические свойства плёнок оксида цинка.

Основные задачи исследования:

- подобрать оптимальный набор модификаторов для обеспечения высокого значения пропускания тонкой пленки;
- исследовать полученные материалы методом оптической спектрофотометрии в спектральном диапазоне от 200 до 1110 нм;
- используя метод Тауца определить значение оптической ширины запрещенной зоны материалов;
- исследовать морфологию поверхности золь-гель пленок оксида цинка с модификаторами путем анализа данных растровой электронной микроскопии.

Возможные сферы применения пленок оксида цинка, модифицированных углеродом

Методика синтеза золь-гель пленок оксида цинка, модифицированных углеродом

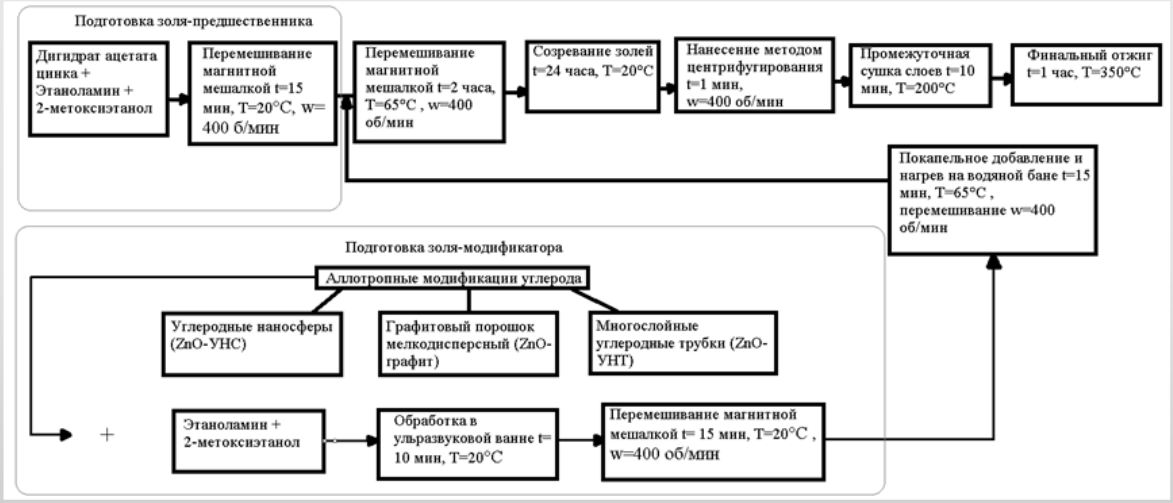
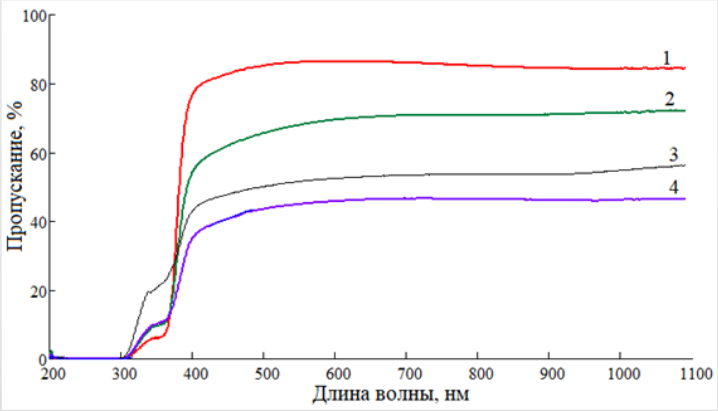


Рисунок 2 – Этапы синтеза золь-гель пленок, легированных различными модификациями углерода

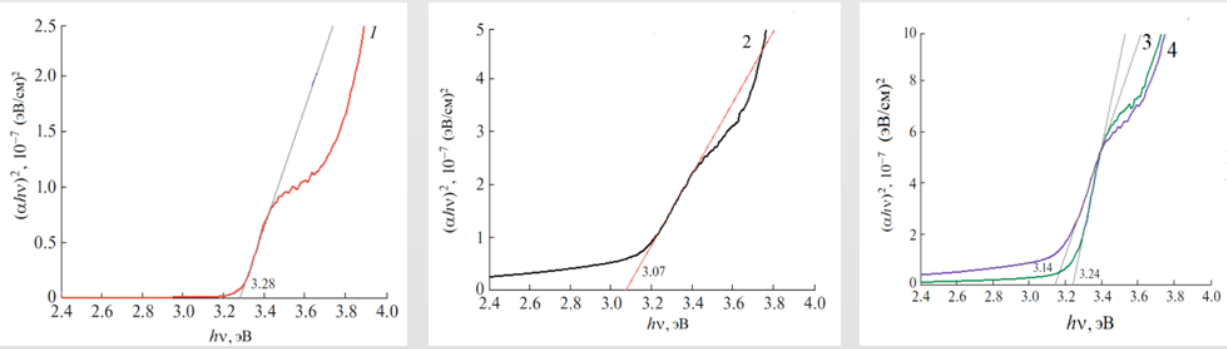
Анализ спектров пропускания материалов ZnO/углерод



1 – ZnO, 2 – ZnO:углеродные наносферы; 3 – ZnO:графит; 4 – ZnO:УНТ
Рисунок 3 – Спектры пропускания материалов на основе оксида цинка с добавка аллотропных модификаций углерода

- Измерение проводилось с помощью спектрофотометра СФ-56.
- При длине волны от 200 до 310 нм пропускание близко к 0.
- С ростом длины волны до 400 нм происходит постепенное возрастание пропускания до величины 40-90% в зависимости от материала.

Определение оптической ширины запрещенной зоны материалов ZnO/C



1 – ZnO; 2 – ZnO:графит; 3 – ZnO:углеродные наносферы; 4 –ZnO:УНТ
Рисунок 4 – Построения в координатах Тауца для определения оптической ширины запрещенной зоны

Метод Тауца, в основе которого лежит теория межзонных оптических переходов, согласно которой коэффициент поглощения вблизи края фундаментального поглощения связан с энергией фотона следующим соотношением:

$$(\alpha h\nu)^{1/n} = A \cdot (h\nu - E_g)$$

Морфология поверхности золь-гель плёнок ZnO/углерод

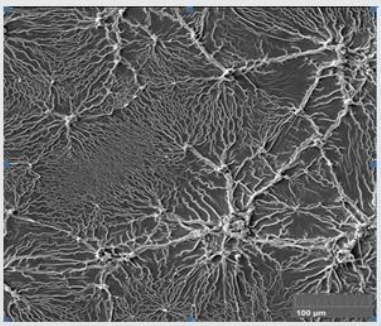


Рисунок 5 – РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного углеродными наносферами

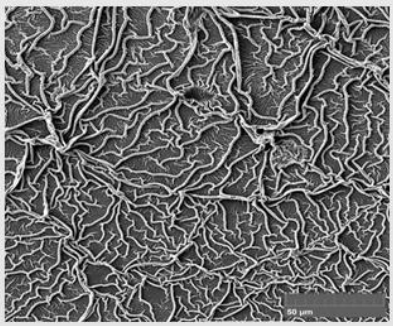


Рисунок 6– РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного графитом

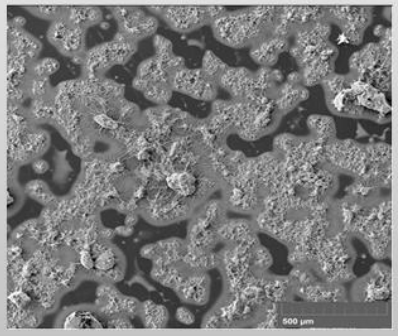


Рисунок 7 – РЭМ-изображение пленки оксида цинка, модифицированного углеродными нанотрубками

Обеспечение электробезопасности и профилактика производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования

В современных условиях развития научно-исследовательской деятельности особую актуальность приобретает проблема электрической безопасности и профилактики технических поражений при эксплуатации лабораторного оборудования.

Особую важность имеет вопрос эксплуатации стендов, измерительных приборов, источников питания и автоматики. Все это сопряжено с риском поражения электрическим током, а также возникновения других поражений.

Важно учитывать, что несоблюдение установленных правил может привести к серьезным последствиям. Также следует обратить внимание, что в Российской Федерации этот вопрос регулируется целым рядом ГОСТов, таких как ГОСТ 12.2.091-2012, ГОСТ 12.1.019-2017, ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.4.009-83, ГОСТ 12.0.002-2014, ГОСТ Р 59792-2021, ГОСТ 8.417-2024.

Заключение

1. Проведен аналитический обзор, затрагивающий в том числе самые передовые работы в этой области. Были исследованы способы модификации оксида цинка аллотропными формами углерода для конкретных практических применений. Определен оптимальный набор модификаторов для обеспечения высокого значения пропускания тонкой пленки.

2. Проведен анализ спектров пропускания полученных материалов в диапазоне от 200 до 1100 нм. Выявлен вклад каждого из исследуемых модификаторов в пропускание золь-гель пленок на основе оксида цинка.

3. Реализовано определение оптической ширины запрещенной зоны с использованием метода Тауца.

4. Проведен анализ изображений поверхности пленок, полученных методом растровой электронной микроскопии. Проанализирована взаимосвязь морфологии поверхности золь-гель пленок оксида цинка и типа модификатора.

5. Проведен анализ правил обеспечения электробезопасности и профилактики производственных травм при эксплуатации лабораторного оборудования.

Спасибо за внимание!