

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

ОТЗЫВ
на бакалаврскую работу студента

Кострикиной Софии Дмитриевны
(фамилия, имя и отчество)

Тема бакалаврской работы Кострикиной Софии Дмитриевны – «Полупроводниковые гетероструктуры оксид цинка – оксид графена».

Выпускная квалификационная работа студента Кострикиной С.Д. посвящена актуальной и перспективной области материаловедения – созданию и исследованию полупроводниковых гетероструктур на основе оксида цинка (ZnO) и оксида графена (GrO). Данная тема представляет значительный интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точек зрения, поскольку такие гетероструктуры демонстрируют потенциал для использования в различных областях, включая сенсорику, фотовольтаику и оптоэлектронику. В ходе работы Кострикина С.Д. проявила себя как вдумчивый и целеустремленный исследователь, продемонстрировала хорошее понимание теоретических основ и современных методов синтеза и характеристики наноматериалов.

В целом, выпускная квалификационная работа Кострикиной С.Д. представляет собой законченное и самостоятельно выполненное исследование, демонстрирующее высокий уровень теоретической подготовки и практических навыков. Работа заслуживает отличной оценки. Студент Кострикина С.Д. проявила себя как способный и перспективный исследователь, обладающий необходимыми знаниями и умениями для дальнейшей научной работы.

Расчетно-пояснительная записка выполнена в соответствии с техническим заданием и требованиями к бакалаврской работе.

Выпускная бакалаврская работа может быть представлена к защите и **заслуживает отличной оценки.**

Считаю, что выпускная квалификационная работа Кострикиной С.Д. на тему "Полупроводниковые гетероструктуры оксид цинка - оксид графена" соответствует требованиям, предъявляемым к выпускным квалификационным работам, и студент Кострикина С.Д. заслуживает присвоения квалификации "бакалавр" по направлению 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника».

Руководитель заведующий кафедрой,
д.т.н., доцент
должность


подпись, дата
9.06.25

Пронин И.А.
фамилия, инициалы

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 нанoeлектроника
код и наименование

Профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»
наименование профиля

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

ПензГУ 02, 11.03.04, 005 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Полупроводниковые гетероструктуры «оксид цинка – оксид графена»
тема бакалаврской работы

Студент группы 21ПД1
номер группы

 6.06.2025
подпись, дата

Кострикина С.Д.
фамилия, иниц.

Руководитель заведующий кафедрой,
д.т.н., профессор
должность

 6.06.25
подпись, дата

Пронин И.А.
фамилия, иниц.

ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

 10.06.25
подпись, дата

Рыжова Т.Н.
фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 9.06.25 № 10)

Заведующий кафедрой

 9.06.25
подпись, дата

Пронин И.А.
фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой отм. (протокол ГЭК от 17.06 № 3)

Секретарь ГЭК

 17.06.25
подпись, дата

Вольсков А.А.
фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Дипломная работа на тему «Полупроводниковые гетероструктуры оксид цинка – оксид графена» студентки 4-ого курса дневной формы обучения специальности «Электроника и нанoeлектроника» Кострикиной С.Д.

Пояснительная записка состоит из 77 страниц, 22 рисунков, 2 таблиц, списка использованных источников из 19 наименований и 3-х приложений.

Ключевые слова: полупроводниковые гетероструктуры, оксид цинка, оксид графена, оптическая ширина запрещенной зоны, нанокomпозиты, метод Тауца, золь - гель метод, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, спектр пропускания, спектр поглощения.

Цель: Исследовать методику синтеза композитов оксида цинка – оксида графена.

В соответствии с поставленной целью дипломной работы, направленной на исследование методики синтеза композитов оксида цинка – оксида графена, определены следующие задачи:

1. Анализ литературных источников. Изучит методы морфологии, синтеза и свойствам полученных нанокomпозитов.

2. Определение оптимальной методики синтеза. На основе 1 пункта необходимо определиться с подходом методики в соответствии со следующими условиями: контроль над морфологией, составом материалов, экономичность, простота реализации.

3. Выполнить детальный анализ структуры, морфологии, элементного состава и физико-химических свойств композитов ZnO - GrO для определения их характеристик с применением такого метода, как РФЭС.

4. Обработка получившихся результатов и формулировка выводов. Провести анализ о влиянии массовой доли оксида графена в композите ZnO – GrO. Дать оценку перспективам полученных нанокomпозитов.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		2

Актуальность дипломной работы, посвященной полупроводниковым гетероструктурам ZnO - GrO, обусловлена следующими факторами:

1. Научный интерес. За последнее время наблюдается экспоненциальный рост интереса к изучению гетероструктур ZnO - GrO. Этот факт и подтверждает об актуальности данной темы и применение нанокompозитов в других областях.

2. Перспектива нанокompозитов ZnO – GrO. Учитывая характеристики гетероструктуры оксида цинка – оксида графена и их свойства по раздельности, их соединение предоставляет возможность пополнять материалы, совершенствуя свойства.

3. Гетероструктуры ZnO - GrO востребованы в различных областях:

- фотокатализ: ввиду фотокаталитической активности оксида цинка и свойств оксида графена (хорошая способность адсорбации загрязняющих сред), нанокompозиты на их основе могут эффективно помочь при очистке воздуха и воды;

- датчики: как известно, оксид цинка обладает превосходной чувствительностью к различного рода газам. В то же время оксид графена может изменять свою проводимость при воздействии факторов из вне. Данные свойства указывают на применение композита ZnO – GrO для создания датчиков температуры, влажности, а также сенсоров газа;

- биосенсоры и биомедицинские приложения.

4. Экологическая значимость: разработка эффективных и экологически безопасных методов получения гетероструктур ZnO - GrO, равно как и их применение для очистки окружающей среды, соответствует принципам развития и предотвращает экологические проблемы.

Следовательно, можно сделать выводы, что дипломная работа, посвященная полупроводниковым гетероструктурам ZnO - GrO, является актуальной и перспективной, поскольку направлена на решение важных научных и практических задач, связанных с разработкой новых материалов для широкого спектра применений.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 Литературный обзор	4
1.1 Оксид цинка.....	4
1.2 Оксид графена	9
1.3 Рентгеновская фото-электроскопия.....	13
1.4 Метод Тауца для определения ширины запрещенной зоны	18
2 Методика синтеза композитов оксид цинка - оксид графена.....	21
2.1 Золь - гель синтез композитов ZnO – GrO	22
2.2 Обоснование использованной методики.....	23
3 Исследование образцов методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и методом Тауца.....	24
3.1 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)	24
3.2 Спектры пропускания образцов	26
3.3 Определение оптической ширины запрещенной зоны методом Тауца.	30
4 Безопасность работника лаборатории.....	41
4.1 Микроклимат рабочего пространства работника.....	43
4.2 Освещение рабочего места	44
4.3 Воздействие шума и защита от него.....	44
4.4 Негативное воздействие повышенной напряженности электромагнитного поля	45
4.5 Электробезопасность.....	49
4.6 Пожаробезопасность	50
Заключение	51
Список использованных источников	52
Приложение А. Задание на выпускную квалификационную работу	53
Приложение Б. Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ».....	56
Приложение В. Презентация ВКР	60

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время перспективным направлением для создания прозрачных проводящих устройств и сенсорных дисплеев является исследование и разработки комбинации гетероструктур на основе ZnO – GrO.

На данный момент оксид цинка выделяется среди полупроводниковых материалов из-за уникальных свойств. К ним относятся высокая экситонная связь, широкая ширина запрещенной зоны $E_g = 3,37$ эВ, пьезоэлектрические свойства. Благодаря этому он находит применение в сенсорике, фотокатализе и оптоэлектронике.

Оксид графена имеет на своей поверхности кислородосодержащие функциональные группы. Данное свойство обеспечивает его перспективы химической модификаций и диспергируемость в водной среде.

Соединение ZnO и GrO дает новые свойства и перспективы для получения устройств с оптимизированными параметрами. Сейчас имеется большое количество исследований по данной тематике, но пока остаются также вопросы и пробелы, которые необходимо выяснить. Важным аспектом работы является разработка методов синтеза, позволяющих получать гетероструктуры ZnO – GrO с высокой степенью гомогенности и контролируемым соотношением компонентов.

Научная новизна работы заключается в исследовании влияния больших концентраций оксида графена в нанокompозите ZnO – GrO.

Дипломная работа состоит из введения, 4 разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. В первом разделе представлен аналитический обзор научной литературы по теме дипломной работы. Во втором разделе описаны методы синтеза композитов ZnO – GrO. В третьем, представлены результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. В заключении сформулированы основные выводы и результаты работы.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Кострикина					
Провер.		Пронин					
Н. Контр.		Рыжова		05.06.25			
Утверд.							
					Введение		
					Лит.	Лист	Листов
						5	77
					гр. 21ПД1		

1 Литературный обзор

1.1 Оксид цинка

Оксид цинка представляет собой неорганическое соединение формулы ZnO . Каждый атом цинка соединяется с одним атомом кислорода, образуя кристаллическую структуру. Молярная масса = 81,38 г/моль. Оксид цинка образует кристаллы, в которых атомы устроены в определенном порядке, что придает ему уникальные свойства.

Он используется в качестве добавки для многих материалов и изделий. Оксид цинка представляет собой нерастворимый в воде белый порошок. Надо отметить, что оксид цинка встречается в природе в виде минерала цинкита, большая часть оксида цинка производится синтетическим путем.

В чистом виде цинк был получен только в 18 в. при прокаливании смеси оксида цинка с углём без доступа воздуха. Цинк получают также электролизом растворов его солей.



В мире современной науки и техники, поиск новых материалов, способных улучшить эффективность устройств и преобразовывать энергию, является одним из важнейших направлений. Именно поэтому оксид цинка рассматривается как многообещающий полупроводник будущего. С развитием нанотехнологий и пониманием его уникальных свойств, оксид цинка обретает новое значение и важность в широком спектре приложений - от солнечных батарей до наногенераторов.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ						
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Литературный обзор	Лит.	Лист	Листов			
Разраб.		Кострикина									
Провер.		Пронин						6		77	
Н. Контр.		Рыжова		03.04.25							
Утверд.											
						гр. 21ПД1					

1.1.1 *Физические свойства оксида цинка.* Оксид цинка является прямозонным полупроводником с шириной запрещённой зоны 3,36 эВ. При нагревании вещество меняет цвет: белый при комнатной температуре, оксид цинка становится жёлтым. Объясняется это уменьшением ширины запрещённой зоны и сдвигом края в спектре поглощения из УФ-области в синюю. Теплопроводность: 54 Вт/(м·К). Естественное смещение стехиометрического отношения в сторону обогащения кислородом придаёт ему электронный тип проводимости.

Эффективная масса носителей заряда $m_p^* = 0,59me$; $m_n^* = 0,24me$.

Оксид цинка кристаллизуется в двух основных формах: гексагональном вюрците и кубической цинковой обманке. Структура вюрцита более устойчива и наиболее распространена. Форма цинковой обманки может быть стабилизирована путем выращивания оксида цинка на подложках с кубической структурой решетки. Оксид цинка превращается в мотив каменной соли при относительно высоких давлениях около 10 ГПа.

Гексагональные полиморфы и полиморфы из цинковой обманки не обладают инверсионной симметрией. Такие свойства симметрии решетки приводят к пьезоэлектричеству гексагонального оксида цинка и оксида цинка с цинковой обманкой и пироэлектричеству гексагонального оксида цинка.

1.1.2 *Химические свойства оксида цинка.* Степень окисления атома цинка в оксиде цинка (ZnO) равна +2.

Валентность (валентная составляющая) атома в оксиде Zn (оксид цинка валентность) также равна +2. Это связано с тем, что атом цинка в данном соединении образует две ковалентные связи с кислородом, каждая из которых вносит заряд -1, тогда как у атома цинка заряд +2. Валентность атома цинка в оксиде соответствует заряду его ядра.

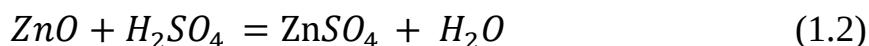
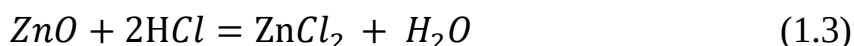
Оксид цинка амфотерный, он способен проявлять свойства как основания, так и кислоты в реакциях с соответствующими реагентами. Это свойство связано с тем, что ZnO может реагировать как с кислотами, так и с основаниями, в зависимости от условий реакции.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

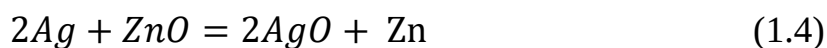
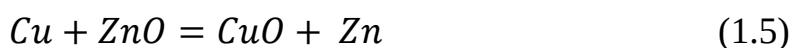
Сильные кислоты, такие как HCl или H₂SO₄, могут растворять ZnO, образуя соли цинка и воду, тогда как сильные основания, такие как NaOH или KOH, также могут растворять его, образуя гидроксид цинка и соответствующие соли.

Рассмотрим на примерах химические свойства (ZnO).

Свойства основания: оксид цинка взаимодействует с кислотами, образуя соли и воду.

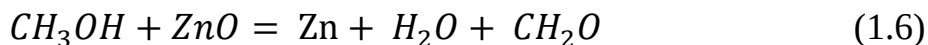


Свойства окислителя: ZnO может взаимодействовать с некоторыми веществами, выступая в роли окислителя. С металлами низкой активности, такими как медь и серебро:



Нерастворимость в воде: ZnO практически не растворим в воде, но способен образовывать слабый основной раствор в щелочах.

Свойства катализатора: ZnO может быть использован в качестве катализатора при реакциях, таких как дегидрирование алканов, превращение метанола в водород и углекислый газ, а также гидрогенирование органических соединений. Например: превращение метанола в формальдегид:



Свойства редокс-систем: ZnO может взаимодействовать с другими веществами в редокс-реакциях, таких как восстановление металлов или окисление соединений. Например, восстановление оксида цинка углеродом:



Восстановление оксида цинка угарным газом:



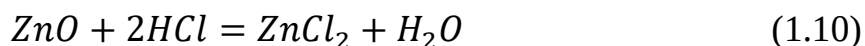
Восстановление оксида цинка водородом:



Оксид цинка кислота — ZnO не является кислотой, поскольку он не может выступать в реакциях как донор протона (H^+). Он обладает основными свойствами, так как реагирует с кислотами, образуя соли цинка и воду.

Необходимо отметить, что оксид цинка - это амфотерное вещество, оно способно проявлять свойства как основания, так и кислоты в зависимости от условий реакции.

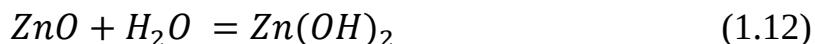
Оксид цинка реагирует с кислотами, образуя соответствующие цинковые соли и воду:



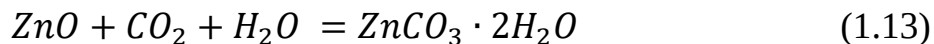
Оксид цинка взаимодействует с некоторыми металлами, образуя соответствующие цинковые сплавы.



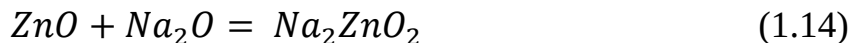
ZnO может растворяться в воде, образуя щелочную среду из-за образования гидроксида цинка. Реакция выглядит так:



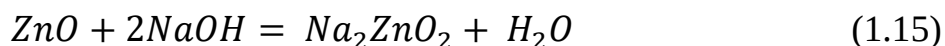
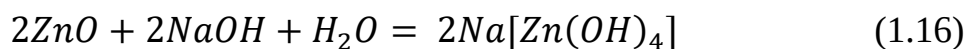
ZnO может реагировать с карбонатами, образуя соответствующие цинковые карбонаты. Например:



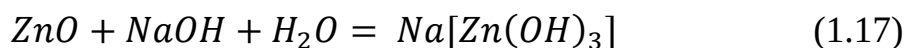
Реакция между оксидом цинка (ZnO) и оксидом натрия (Na_2O) происходит при нагревании с образованием соединения натрия и цинка — натрий цинкат (Na_2ZnO_2):



Реакция между оксидом цинка (ZnO) и гидроксидом натрия ($NaOH$) приводит к образованию гидроксида цинка ($Zn(OH)_2$) и натрия цинката (Na_2ZnO_2):



Если же количество $NaOH$ ограничено, то в результате образуется гидроксид цинка ($Zn(OH)_2$):

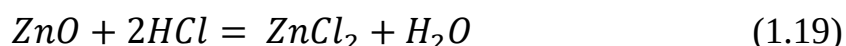


Эти реакции показывают, что оксид может реагировать с гидроксидом натрия, образуя гидроксид цинка и натрия цинкат.

Рассматриваемое соединение может реагировать с серой при высоких температурах, образуя сульфид цинка:

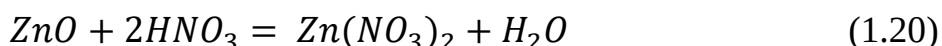


Оксид цинка (ZnO) реагирует с соляной кислотой (HCl), образуя соответствующую соль и воду. Оксид цинка уравнение реакции:



В этой реакции ZnO выступает в роли основания, принимая на себя протон от кислоты, и образуя соль цинка (ZnCl₂) и воду (H₂O). Оксид нейтрализует кислоту. Эта реакция происходит быстро и с выделением тепла.

Реакция оксида цинка (ZnO) с азотной кислотой (HNO₃) приводит к образованию цинкового нитрата (Zn(NO₃)₂) и воды (H₂O):



1.1.3 *Механические свойства оксида цинка.* Это относительно мягкий материал с твердостью примерно 4,5 по шкале Мооса. Его упругие постоянные меньше, чем у соответствующих полупроводников III-V (например, GaN).

Высокая теплопроводность и низкое термическое расширение делают его подходящим для использования в керамических материалах.

Оптический фон E_2 в оксиде цинка демонстрирует необычно долгое время жизни (13 пс при 10 К), это указывает на стабильность его электронных состояний.

Оксид цинка обладает одним из самых высоких пьезоэлектрических тензоров среди полупроводников с тетрагональными связями (или, возможно, сравнимым с такими материалами, как GaN и AlN).

Это свойство делает его важным для технологий, требующих высокой электромеханической связи, таких как объемные тонкопленочные акустические резонаторы.

1.1.4 *Электрические свойства.* Преимущества, связанные с большой шириной запрещенной зоны, включают наиболее высокое напряжение пробоя, способность выдерживать большие электрические поля, более низкий электронный шум, а также работу при высоких температурах и большой мощности. При комнатной температуре оксид цинка имеет относительно большую прямую запрещенную зону — 3,3 эВ. Ширина запрещенной зоны может быть дополнительно увеличена до 3 – 4 эВ путем легирования оксидом магния или оксидом кадмия.

1.1.5 *Тип проводимости.* Большая часть оксида цинка имеет *n*-тип проводимости даже в отсутствие преднамеренного легирования. Это связано с наличием нестехиометрических дефектов (непреднамеренные примеси водорода замещения).

Легирование *n*-типа легко достигается путем замены Zn элементами III группы (например, Al, Ga, In) или замещения кислорода элементами VII группы (например, хлором или йодом).

Легирование оксида цинка *p*-типа представляет собой значительную проблему. Это связано с низкой растворимостью *p*-типа легирующих примесей и их компенсацией за счет большого количества *n*-типа примесей.

Известные легирующие примеси *p*-типа включают элементы I группы (Li, Na, K), элементы V группы (N, P, As) и металлы (медь, серебро). Однако многие из этих примесей создают глубокие акцепторные уровни, что ограничивает эффективность *p*-типа проводимости при комнатной температуре. Это вещество обладает различными свойствами, которые и делают его уникальным.

Оксид цинка является перспективным материалом, обладая рядом уникальных химических, физических свойств. Его полупроводниковые характеристики, высокая химическая стабильность, способность поглощать УФ-излучение и биосовместимость позволяют ему оставаться неповторимым среди остальных веществ.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.2 Оксид графена

Большой интерес к изучению функциональных свойств оксида графена, обусловлен тем, что он является перспективным материалом для многих отраслей и имеет высокий коммерческий потенциал, выступает в качестве сырья для получения самого графена. Оксид графена, представляющий собой случайным образом распределенные по поверхности подложки небольшие островки графена с sp^2 -гибридизированными связями, окруженные обширными областями с sp^3 -связями, функционализированные кислородосодержащими группами (эпоксидные, гидроксильные, карбонильные и карбоксильные). Для широкого использования оксида графена требуется, в том числе и проведение его восстановления до графена. Термообработка является одним из эффективных способов восстановления оксида графена, в результате которой удастся значительно снизить содержание кислородосодержащих групп в оксиде графена и дает возможность управления шириной запрещенной зоны в широком энергетическом интервале от ближнего ультрафиолетового до инфракрасного диапазона.

Термин "оксиды графена" еще не получил международной дефиниции. Под оксидами графена понимают частицы графена с присоединенными по краям или внутри углеродной сетки кислородсодержащими функциональными группами и/или молекулами. Номенклатура этих групп обширна.

Специалистам известны пять основных разновидностей оксидов графена по форме частиц:

1. Пленки на инертных подложках.
2. Нанопорошки с размером плоских частиц порядка 905 нм.
3. Хлопья с размером частиц 1-5 мкм.
4. Ленты (с отношением длины к ширине более 10).
5. Помпоны с размером сфероподобных частиц диаметром 3-6 мкм.

Оксид графена проявляет свойства диэлектрика.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Его можно восстановить до хорошо проводящего состояния. Проводимость оксида графена может контролируемо меняться в широких пределах с изменением соотношения количества С/О. Однако полного восстановления оксида графена до совершенного графена на сегодняшний день добиться не удастся. Благодаря гидрофильности ОГ из него могут быть приготовлены золи в полярных растворителях для получения равномерных пленок оксида графена методом накапывания на вращающуюся подложку. Набор этих свойств делает этот материал перспективным для создания низкочастотных полевых транзисторов в дисплеях, прозрачных электродов, химических сенсоров и т.д.

При приложении электрического поля к структурам на основе оксида графена был обнаружен эффект резистивного переключения, который ранее наблюдался в оксидах переходных металлов (TiO_2 , NiO и др.) и в настоящее время интенсивно исследуется в связи с возможностью создания новых низкоразмерных элементов резистивной памяти. Наноструктуры на основе оксида графена могут быть получены как с помощью химического метода окисления и расслоения графита в растворе с последующим нанесением пленок оксида графена на подложки больших размеров, так и путем локального окисления графена на подложке в кислородной плазме или фотокаталитически.

Оксид графена - это двумерный материал, состоящий из частиц толщиной в несколько (от 1 до 5) окисленных углеродных слоев. Оксид графена получают диспергированием полярных растворителей при механическом перемешивании или слабом УЗ - воздействии. При такой обработке оксид графита расслаивается на оксид графена, который можно легко нанести на подложку в виде тонкой пленки.

Получением и исследованием оксида графена начали заниматься после открытия графена, когда обнаружили, что физические свойства графена сильно отличаются от свойств графита. Оказалось, что в графене можно полем менять тип проводимости с *n*- на *p*-тип, в графите это сделать невозможно.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Теплопроводность графена в 2 раза выше, чем в графите; графен из-за своей атомарной толщины оптически прозрачен в отличие от графита.

Восстановленный оксид графена (ВОГ) - это оксид графена после обработки, приводящей к уменьшению в нем содержания кислорода (например, химической, микроволновой, фотохимической, фототермической, термической или биологической).

Воздействие сильных окислителей, таких как смесь концентрированных азотной и серной кислот с хлоратом калия, либо смесь перманганата калия, нитрата натрия и концентрированной серной кислоты на графитовую матрицу приводит к окислению графита. В ходе реакции происходит интеркалирование молекул и ионов из окисляющей смеси, вызывающее постепенное окисление графитовой матрицы по мере продвижения интеркалята вглубь графитовой частицы с последующим расслоением на чешуйки толщиной в несколько атомарных слоев.

Так как при окислении происходит нарушение ароматической структуры графита, сопровождающееся переходом атомов углерода из sp^2 - в sp^3 - гибридное состояние и деформацией плоских углеродных сеток, оксид графена считают крайне окисленной, деформированной формой графена.

Содержание кислорода в ОГ уменьшают с помощью его обработки в восстановительных средах, таких как: гидразин, боргидрид натрия, аскорбиновая кислота, отжиг в вакууме или среде Ar/H_2 при $1000^\circ C$, электрохимическим воздействием, локальной обработкой лазером, с помощью острия кантилевера в АСМ в электрическом поле или при термическом нагреве. В зависимости от метода восстановления меняется соотношение С/О и электропроводность ОГ. После восстановления увеличение соотношения С/О приводит к увеличению проводимости.

1.2.1 Методы получения оксидов графена. Известны четыре основных метода получения оксида графена. Все они используют окисление кусочков графита в водной среде сильных кислот (например, концентрированной

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

серной кислоты) в присутствии высокоактивных окислителей. За этими методами закрепились названия: Штауденмайера, Хофмана, Броди и Хаммерса. Существует множество их разновидностей. Изобретатели стремятся получить стабильное качество, минимизацию отбраковки и удешевление производства.

Со временем ученые начали присматриваться к свойствам оксида графена, особенно к его необычно высокой водопроницаемости. Оксид графена способен образовывать водородные связи с молекулами воды за счет наличия на его поверхности кислородных групп. Это свойство делает его перспективным материалом для селективных мембран, очищающих воду от ионов, макромолекул и даже бактерий. Про высокую проницаемость оксида графена уже давно известно из экспериментов, о точных механизмах диффузии молекул воды сквозь этот материал до сих пор ведутся споры. Когда молекулы воды оказываются зажаты в узком зазоре между плоскостями оксида графена, их динамические свойства заметно меняются («конфайнмент»). Кислородные группы в составе оксида графена не равномерно распределены по всей его поверхности: напротив, они стремятся собраться в кластеры. В итоге поверхность материала может представлять собой сложную мозаику из чередующихся окисленных и восстановленных наноразмерных областей. Диффузия воды вдоль границ между этими областями оказывается удивительно высокой, гораздо выше, чем в каждой из них по отдельности, а молекулы воды практически не испытывают сопротивления и скользят как конькобежец на льду.

Рядом уникальных свойств обладают водные дисперсии оксида графена, реологические свойства которых зависят от его концентрации. Водные растворы оксида графена проявляют аномально высокие кислотные свойства и катионообменную емкость, которые невозможно объяснить с точки зрения общепризнанной структурной модели. Вдобавок с оксидом графена не протекают общеизвестные реакции, таргетирующие имеющиеся в нем функциональные группы.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

По степени окисления оксиды графена сильно различаются и могут содержать от 3% до 40% кислорода по массе. Широкие пределы химического состава (с учетом дополнительных легирующих атомов и групп) делают непростой задачу классификации и стандартизации оксидов графена. Тем более, что состав может меняться не дискретно, а непрерывно. Однако для коммерческих нужд можно взять опыт классификаций природных алмазов, где международная классификация состоит из 3 тыс. сортов, абсолютно понятных профессионалам.

Среди различных применений оксидов графена биомедицинские и фармакологические вызывают самый большой интерес, поскольку эти вещества обладают уникальными свойствами селективности. Комбинируя функциональные группы (гидроксильные, эпоксильные, карбонильные и т.д.), разные оксиды графена позволяют осуществлять разнообразные виды взаимодействий с биомолекулами посредством электростатического притяжения, π - π стэкинга (π - π *stacking*) и водородных связей.

Биомедицинское применение сорбционных свойств оксидов графена - относительно новая область со значительным потенциалом. За последнее десятилетие была проведена большая работа по изучению возможностей использования оксида графена, начиная от поставки лекарств / генов, биологического обнаружения и визуализации, антибактериальных материалов, до использования как биосовместимого каркаса для клеточной культуры.

Одним из методов использования оксида графена является диагностика раковых заболеваний. Уникальные электрические и оптические свойства графена предоставляют возможность обнаружения биомаркеров (индикаторов раковых заболеваний на ранних стадиях). Сенсоры данного типа были разработаны на основе оксида графена, который выступал как сорбент биологических объектов. Создаваемые на базе графена электрохимические устройства способны как детектировать биомаркеры, так и помогать изучать процессы образования активных форм кислорода в живых клетках.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.3 Рентгеновская фото-электроскопия

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) — полуколичественный спектроскопический метод исследования элементного состава, химического и электронного состояния атомов на поверхности изучаемого материала, который основан на явлении внешнего фотоэффекта.

РФЭС основан на измерении энергии фотоэлектронов, которые были выбиты с различных энергетических уровней атомов при облучении вещества рентгеновским излучением. Схема метода представлена на рисунке 1.1. Ведь под действием кванта света из вещества выбиваются электроны, поэтому энергия кванта $h\nu$ в соответствии с законом сохранения энергии тратится на энергию ионизации $E_{\text{св}}$ и передачу этому электрону кинетической энергии ($E_{\text{кин}} = mu^2/2$).

$$h\nu = E_{\text{св}} + E_{\text{кин}} + \varphi, \quad (1.21)$$

где $h\nu$ - энергия возбуждающего фотона; $E_{\text{св}}$ - энергия связи электрона; $E_{\text{кин}}$ - фиксируемая в эксперименте кинетическая энергия вылетевшего электрона; φ - работа выхода спектрометра. Поскольку величины $h\nu$ и φ известны, а $E_{\text{кин}}$ определяется экспериментально, уравнение (1.21) позволяет легко рассчитать $E_{\text{св}}$.

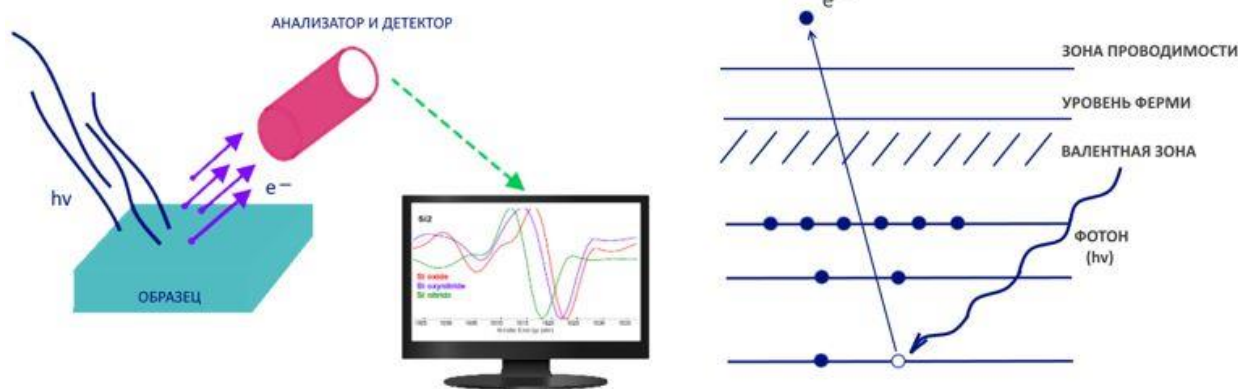


Рисунок 1.1 – Общая схема метода

Для металла: уровень Ферми находится в верхней точке заполненной валентной зоны и отделен от уровня вакуума потенциалом работы выхода φ .

При поглощении фотона на внутреннем уровне, энергия связи электрона равна величине $E_{\text{св}}$. Вылетевший электрон регистрируется с кинетической энергией $E_{\text{кин}} = h\nu - E_{\text{св}} - \phi$. Так, спектр вылетевших электронов в шкале кинетических энергий копирует энергетическое распределение электронов в твердом теле. Каждый химический элемент имеет свои определенные значения $E_{\text{св}}$ для внутренних электронных уровней, поэтому спектр вылетевших электронов отражает элементный состав вещества (кроме водорода и гелия).

Принцип действия РФЭС таков, что спектры РФЭС получают облучением материала пучком рентгеновских лучей с регистрацией зависимости количества испускаемых электронов от их энергии связи. Исследуемые электроны эмиттируются по всей глубине проникновения используемого мягкого рентгеновского излучения в исследуемый образец (обычно порядка 1 мкм, что очень много по сравнению с размерами атомов и молекул). Выбитые рентгеновскими квантами электроны сильно поглощаются исследуемым веществом настолько, что эмиттированные на глубине около 100 Å уже не могут достичь поверхности, испуститься в вакуум и, соответственно, быть детектированными прибором.

Как раз поэтому методом РФЭС можно собрать информацию о самых верхних (около 10 - 30) атомных слоях образца без информации об его объеме. И РФЭС незаменим, как метод анализа и контроля в ряде отраслей таких, как полупроводниковая индустрия, гетерогенный катализ и т.д.

РФЭС может проводиться в различных режимах, обеспечивающих широкий спектр аналитических возможностей:

1. Классическая XPS — элементный анализ и определение химических состояний.
2. Углово-разрешенная РФЭС (ARXPS) - применяется для изучения распределения химических состояний и состава поверхностных слоёв на различных глубинах без разрушения образца.

3. Глубинное профилирование — поочередное удаление слоев материала с помощью ионного травления и анализ химического состава вглубь образца.

Современные спектрометры оснащены монохроматическими рентгеновскими источниками. Именно это и обеспечивает улучшенное энергетическое разрешение и снижение фонового шума.

Современные РФЭС-спектрометры включают:

1. Рентгеновский источник ($Al\ K\alpha$, 1486,6 эВ или $Mg\ K\alpha$, 1253,6 эВ) — монохроматический или немонахроматический.

2. Полусферический анализатор энергии (HSA) — обеспечивает энергоразрешение вплоть до 0,1 эВ.

3. Система детектирования — многоканальные электронные детекторы с высоким квантовым выходом.

4. Вакуумная камера — поддерживает ультравысокий вакуум (10^{-9} мбар) для предотвращения рассеяния фотоэлектронов на молекулах газа.

Необходима подготовка, так как РФЭС — метод поверхностного анализа, особое внимание уделяется подготовке образцов. Общий перечень условий анализа:

1. Очистка образцов — ионная очистка удаляет загрязнения без значительных изменений химического состава.

2. Компенсация заряда — при анализе изоляторов (диэлектриков) применяется низкоэнергетическая электронная или ионная компенсация заряда для предотвращения искажений спектров.

3. Условия измерений — РФЭС проводится в условиях ультравысокого вакуума (10^{-9} мбар), что предотвращает рассеяние фотоэлектронов.

Существует ряд ограничений для РФЭС (метод применяется только для твёрдых образцов):

- необходимо работать в ультравысоком вакууме;

- возможны трудности при анализе диэлектриков без системы компенсации заряда.

Преимущества данного метода:

1. Высокая чувствительность к химическим состояниям элементов.
2. Исследование поверхностных слоёв толщиной до нескольких нанометров.
3. Возможность картирования поверхности — получение распределения элементов по площади образца.
4. Совместимость с другими методами анализа — с методами *AES*, *SIMS* и *AFM* для комплексного исследования материалов.
5. Неразрушающий метод анализа.

Таким образом, можно сделать вывод, что рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) является одним из наиболее точных и информативных методов анализа поверхности твердых тел. Метод позволяет определять химический состав, исследовать электронные свойства материалов, что делает ее незаменимой в полупроводниковых технологиях, нанонауке и материаловедении. Современные РФЭС-спектрометры обеспечивают высокое энергоразрешение, широкие аналитические возможности и совместимость с дополнительными методиками, что делает методику универсальным инструментом научных и промышленных исследований.

1.4 Метод Тауца для определения ширины запрещенной зоны

Ширина запрещенной зоны E_g является фундаментальным параметром, который характеризует природу химической связи в веществе, находящимся в конденсированном состоянии, и определяется как минимальный энергетический зазор между верхним уровнем валентной зоны и нижним уровнем зоны проводимости. Величина E_g связана с электропроводностью материала, при этом энергетическая щель для полупроводника имеет значение меньшее по сравнению с диэлектриком.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Оксидные полупроводниковые структуры на протяжении нескольких десятилетий являются предметом исследования в ведущих исследовательских лабораториях и привлекают внимание в качестве базового материала для создания приборов полупроводниковой оптоэлектроники. Определение оптической ширины запрещенной зоны указанных материалов возможно по краю собственного поглощения света полупроводником и основано на возбуждении валентного электрона в зону проводимости за счет поглощаемой энергии фотона. Для наглядного примера была взята работа по исследованию определения E_g металлооксидного полупроводникового соединения Pb_3O_4 методом спектроскопии диффузного отражения (ДО).

Экспериментальные исследования проводились на поликристаллических слоях Pb_3O_4 со связующим веществом – кремнийорганическим лаком. Измерение спектров ДО осуществлялось на спектрофотометре СФ-56 с использованием приставки ПДО-6 и соответствующего программного обеспечения. Метод спектроскопии ДО основывается на анализе параметров отраженного излучения, содержащего определённую информацию о свойствах исследуемого вещества. По изменениям распределения интенсивности отраженного света на шкале длин волн можно проанализировать физико-химические реакции окисления и разложения, оценить оптическую ширину запрещённой зоны и характер оптических переходов.

Для определения оптической ширины запрещенной зоны широко используется метод Тауца. Соответствующее выражение имеет вид:

$$(\alpha h\nu)n = A(h\nu - E_g), \quad (1.22)$$

где h – постоянная Планка, ν – частота колебаний, α – коэффициент поглощения, A – коэффициент пропорциональности.

Величина показателя n определяется типом оптических переходов в образце. В частности, для прямых разрешенных переходов в исследуемом материале $n = 1/2$.

Полученный для образца поликристаллического слоя Pb_3O_4 спектр ДО можно преобразовать в зависимость функции Кубелки-Мунка $F(R_\infty)$ (R_∞ – абсолютный коэффициент отражения исследуемого слоя) от длины волны, пропорциональной коэффициенту поглощения. Для реального эксперимента выражение (1.22) трансформируется следующим образом:

$$[h\nu F(R_\infty)]^2 = A(h\nu - E_g) \quad (1.23)$$

Пересечение касательной к участку кривой в точке перегиба спектральной зависимости выражения $[h\nu F(R_\infty)]^2$ с осью $h\nu$, позволяет найти требуемую ширину запрещенной зоны. Расчетное значение E_g порядка 2,2 эВ удовлетворительно совпадает с известными литературными данными.

2 Методика синтеза композитов оксид цинка - оксид графена

В представленном разделе описана методика синтеза композитов ZnO - GrO с использованием золь-гель технологии. Подход золь – геля был основан на подготовке раствора из 2-метоксиэтанола, 2-этаноламина, ацетата цинка. В последующем действии было введение дисперсии оксида графена.

«Золь – гель» технологию мы выбрали исходя из: хорошей дисперсности наполнителей, низкой температуры синтеза, контроля состава и однородности, простоты, экономичности.

Блок - схема использованной методики представлена на рисунке 2.1.

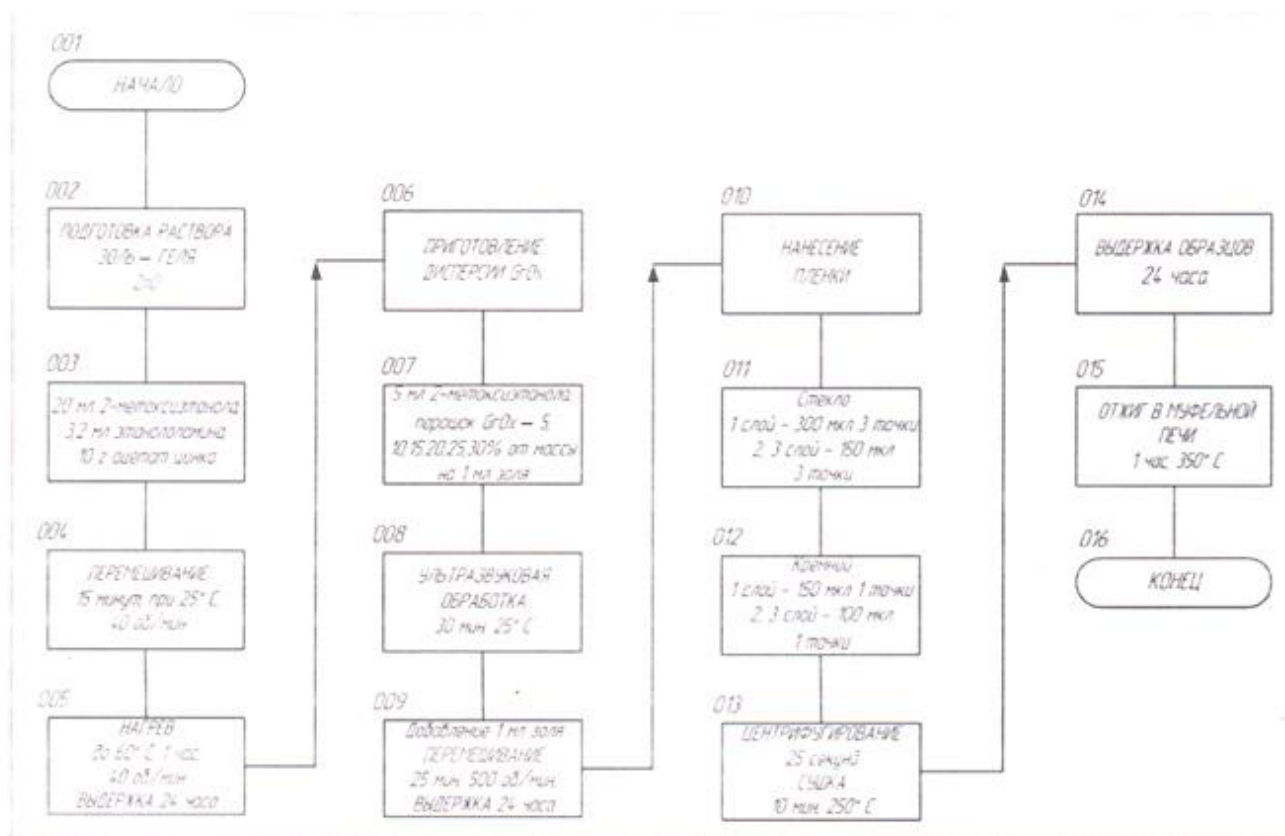


Рисунок 2.1 – Блок - схема методики синтеза нанокompозитов оксида цинка – оксида графена

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Методика синтеза композитов оксид цинка – оксид графена		
Разраб.	Кострикина						
Провер.	Пронин						
Н. Контр.	Рыжова						
Утверд.					Лит. Лист Листов		
					23 77		
					гр. 21ПД1		

2.1 Золь - гель синтез композитов ZnO - GrO

В качестве прекурсора ZnO был применен цинка ацетат дигидрат $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Также использовались 2-метоксиэтанол $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ и 2-этаноламин $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ в качестве комплексообразователя и растворителя.

2.1.1 *Приготовление золь - геля ZnO.* Ацетат цинка 10 г растворяли в 20 мл 2 - метоксиэтанола и 3,2 мл этаноламина. При комнатной температуре в течении 15 минут раствор перемешивали с помощью магнитной мешалки (IKA C-MAG HS 7) на 40 оборотах в минуту. Для того, чтобы ускорить процесс растворения, нагревали на плитке до 60 °C, при тех же оборотах в течении 1 часа до однородной структуры золя.

2.1.2 *Введение дисперсии GrO в золь ZnO.* Готовим дисперсию GrO. 5,2 мл 2 – метоксиэтанола (для лучшей совместимости с органическим зодем ZnO) и порошок GrO по массе (5, 10, 15, 20, 25, 30 массовых процента) из расчета на 1 мл золя.

1. Полученную дисперсию обработали ультразвуком (Sonics & Materials, VCX 750, 80 Вт) в течении 30 минут при комнатной температуре.

2. Обработанную дисперсию аккуратно вводили в золь ZnO и растворяли при помощи магнитной мешалки на 500 оборотах в минуту в течении 25 минут.

2.1.3 *Созревание золя и нанесение на подложки.* Для того, чтобы получилась более прочная структура золь – геля ZnO необходимо его выдержать в течении 24 часов при комнатной температуре, так как в процессе созревания происходит процесс конденсации и полимеризации.

1. После чего, получившийся раствор наносили на подложки из стекла и кремния. Метод нанесения использовали спин-коутинга (метод нанесения частиц или тонких плёнок на плоские подложки за счёт центрифугирования и растекания раствора прекурсора по поверхности образца). Параметры спин-коутинга: скорость вращения - 2000 об/мин, время - 30 секунд [1]. По 1 слою – 300 мкл 3 точки. И по 150 мкл 2 и 3 слои

3 точки для стекла. Для кремния по 1 точке 1 слой – 150 мкл и 2, 3 слои – 100 мкл.

2. Пленки сушили в течении 10 минут при температуре 250°C.

2.1.4 *Отжиг образцов.* Полученные образцы отжигали в муфельной печи (*Nabertherm L 9/11/B180*) в атмосфере воздуха, в течении 1 часа при температуре равной 350 °C. Для удаления органических компонентов, кристаллизации ZnO и восстановление до восстановленного оксида графена применялась данная операция.

2.2 Обоснование использованной методики

Для равномерного распределения наночастиц оксида цинка на поверхности оксида графена введение последнего в золь – гель позволяет получить нано-композитный материал.

Агрегацию чешуек может предотвратить ультразвуковая обработка дисперсии оксида графена.

Для того, чтобы получить однородные и тонкие пленки нанокомпозитного материала на подложках из стекла и кремния применялся метод спин – коутинга.

Удаление органических составляющих и кристаллизация оксида цинка способствует отжиг в муфельной печи при контролируемой атмосфере.

Благодаря 2 - метоксиэтанолу и 2 - этаноламину мы получаем стабильный золь – гель ZnO с контролируемым размером наночастиц. Первый является хорошим растворителем, последний же выступает в роли стабилизатора. В следствии этого предотвращает мгновенную преципитацию ZnO. Данное свойство описано в статье [2].

3 Исследование образцов методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и методом Тауца

1.1 Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)

РФЭС - анализ проводился на спектрометре «Nicolet is 50». Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, в данной работе была задействована для определения элементного состава, электронных свойств поверхности, синтезированных нанокomпозитов оксида цинка – оксида графена с различной концентрацией последнего и химического состояния. Применимый метод является чувствительным к поверхностям и дает получить сведения о химических связях.

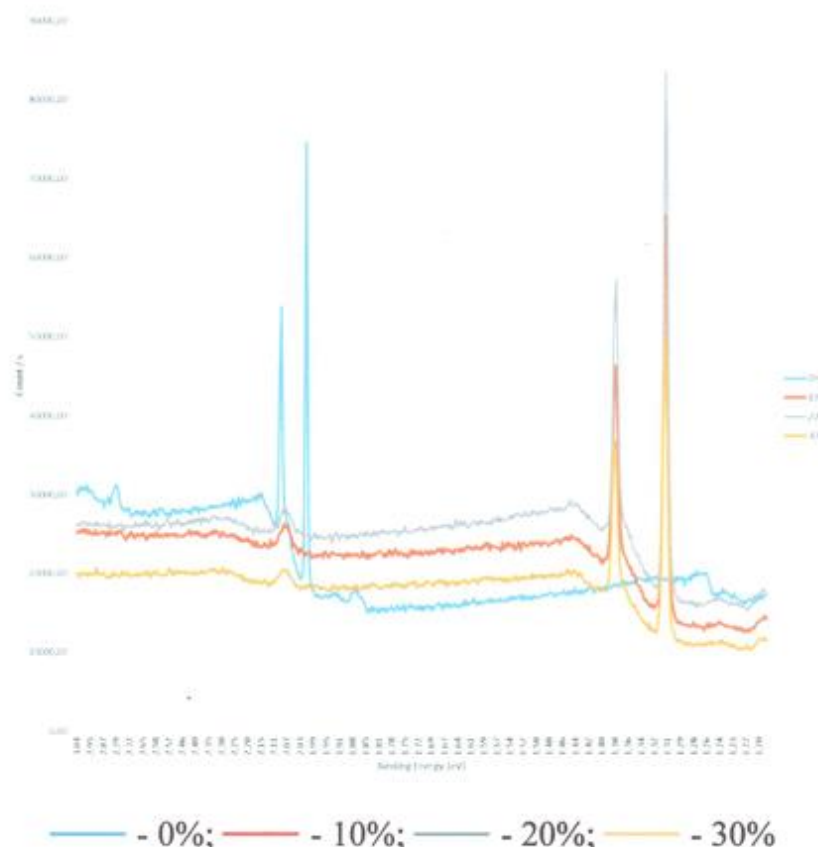


Рисунок 3.1 – Обзорные спектры образцов чистого оксида цинка и композитов ZnO - GrO с концентрациями 10%, 20%, 30%

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование образцов методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) и методом Тауца	Лит.	Лист	Листов	
Разраб.		Кострикина							
Провер.		Пронин						26	77
Н. Контр.		Рыжова		09.06.25		гр. 21ПД1			
Утверд.									

На рисунке 3.1, на котором изображены спектры образцов, можно удостовериться о наличии цинка, кислорода и углерода, что совпадает по составу нанокompозита ZnO - GrO. Интенсивность пиков углерода увеличивается с увеличением концентрации GrO, данный факт подтверждает успешное введение оксида графена в матрицу ZnO. На рисунках 3.2 – 3.5 более четко отражена зависимость.

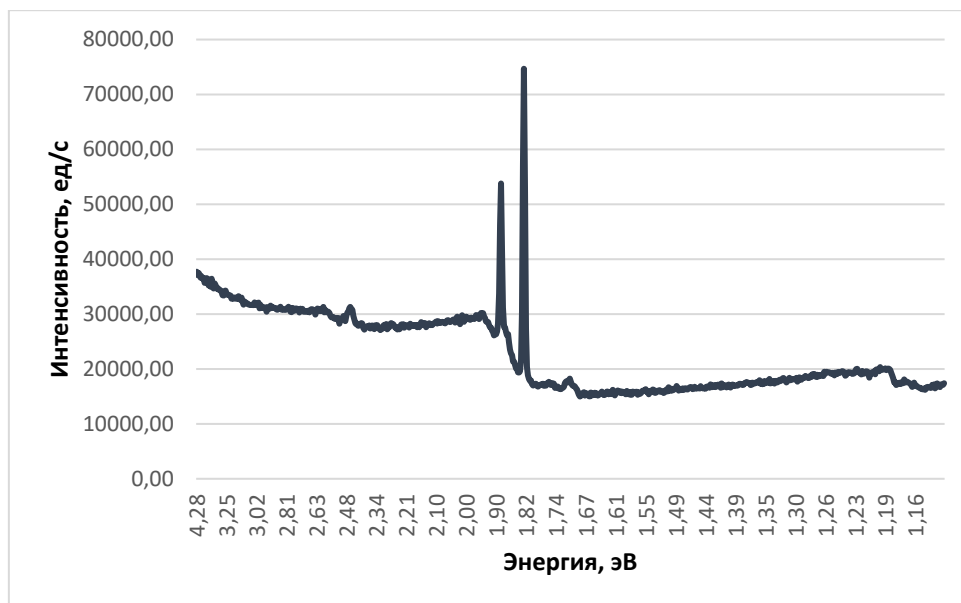


Рисунок 3.2 – Обзорный спектр образца чистого оксида цинка



Рисунок 3.3 – Обзорный спектр образца композита ZnO - GrO с концентрацией оксида графена 10%



Рисунок 3.4 – Обзорный спектр образца композита ZnO - GrO с концентрацией оксида графена 20%

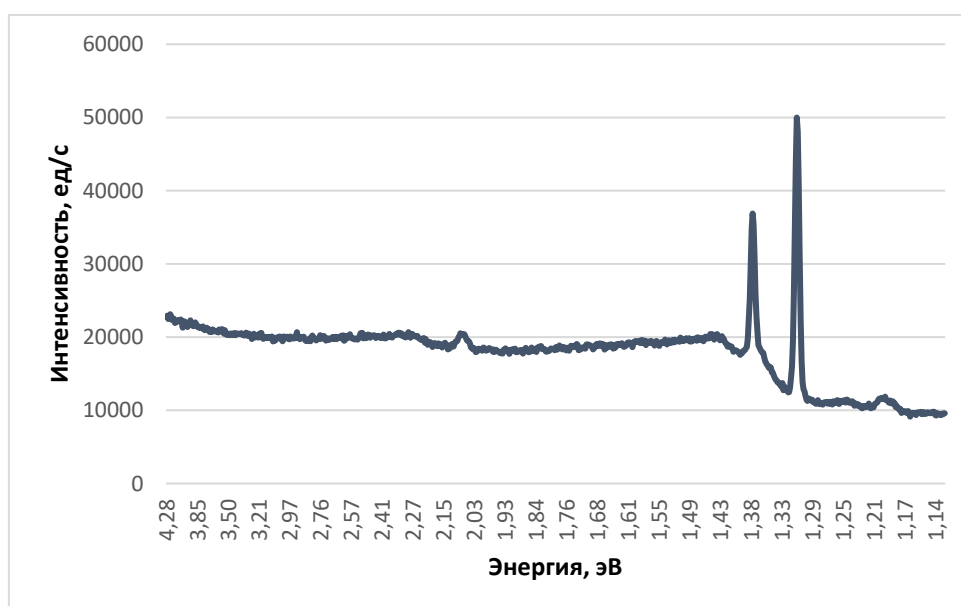


Рисунок 3.5 – Обзорный спектр образца композита ZnO - GrO с концентрацией оксида графена 30%

В таблице 3.1 представлен количественный анализ элементного состава по обзорным спектрам. Можно заметить, что происходит уменьшение атомных концентраций Zn и O с ростом массовых долей оксида графена и уменьшением содержания концентрации углерода.

Таблица 3.1 – Элементный состав, полученный из данных РФЭС

GrO	Zn 2p	O 1s	C 1s
0%	34.91%	39.18%	25.91%
10%	44.03%	35.41%	20.56%
20%	39.76%	36.43%	23.81%
30%	35.06%	32.91%	32.02%

По результатам РФЭС можно сделать выводы, что внедрение оксида графена в матрице оксида цинка, привели к формированию благоприятного нанокompозита оксид цинка – оксид графена.

Как выше было упомянуто, что «происходит уменьшение атомных концентраций Zn и O с ростом массовых долей оксида графена и уменьшением содержания концентрации углерода». Данный факт позволяет нам определять концентрацию функциональных групп, дефектов, также позволяет охарактеризовать взаимодействие между нашими композитами.

Данные говорят о том, что GrO сильно влияет на химические, оптические, электрофизические и электронные свойства поверхности оксида цинка. В подтверждении своих слов приведу в пример ссылку на статью [3].

3.2 Спектры пропускания образцов

На рисунке 3.6 – 3.12 представлены спектры пропускания нанокompозитов ZnO - GrO с различной массовой долей последнего.

Чистый образец ZnO (содержание GrO = 0%) демонстрирует резкое снижение пропускания в УФ - области спектра, из-за фундаментального поглощения оксида цинка. Чистый образец представлен на рисунке 3.6 (по оси абсцисс – длина волны в нм, по оси ординат – коэффициент пропускания, %).

Можно заметить, что общее снижение пропускания встречается во всем исследуемом диапазоне длин волн с увеличением процентного содержания оксида графена. Происходит данное явление (снижение пропускания) благодаря поглощению света оксидом графена.

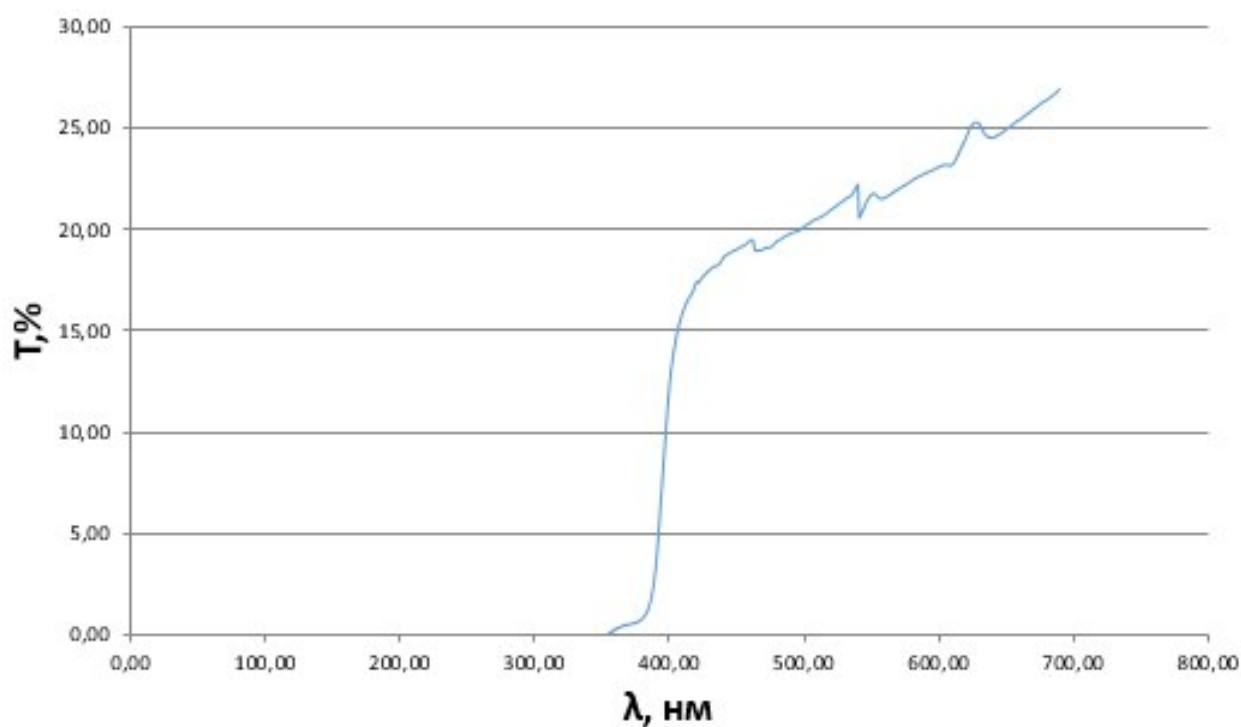


Рисунок 3.6 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO - 0 %

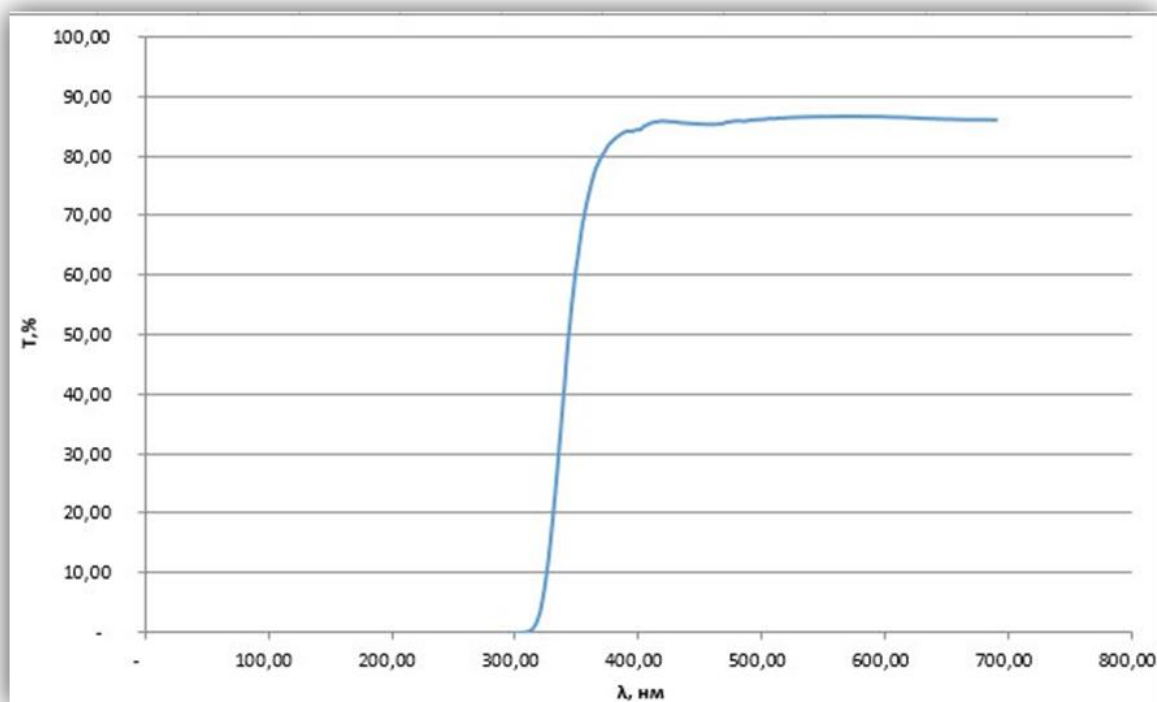


Рисунок 3.7 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO – 5 %

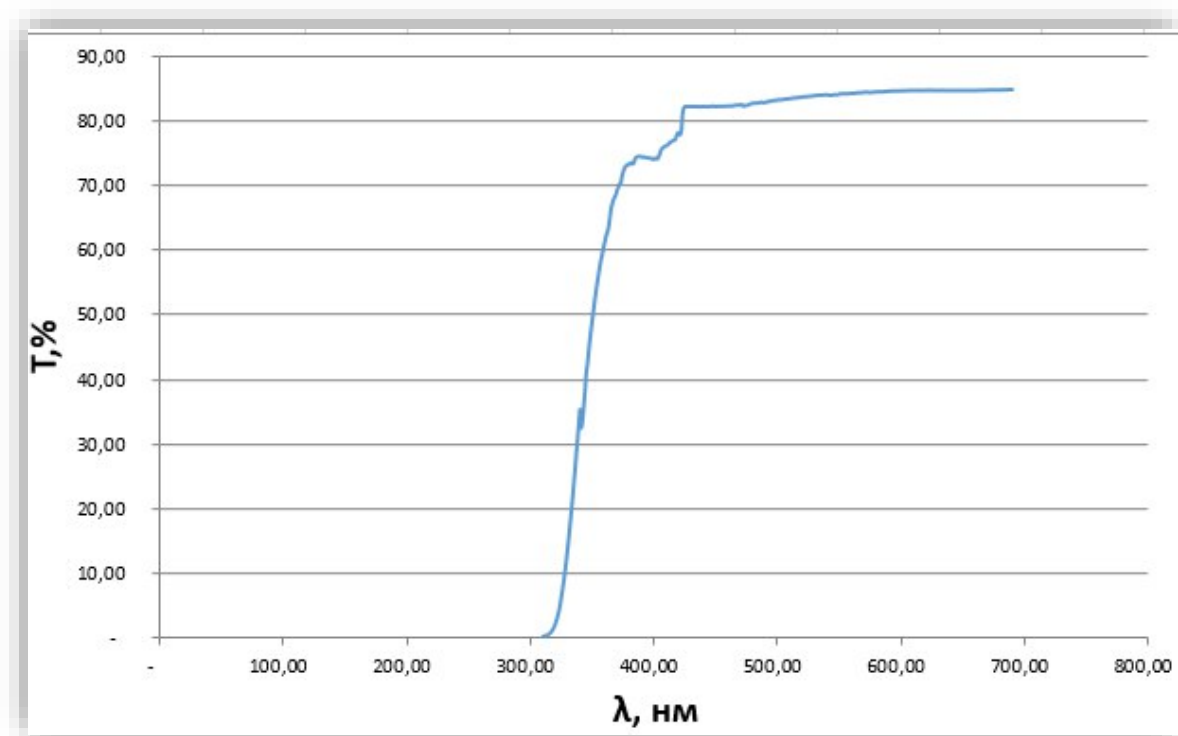


Рисунок 3.8 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO – 10 %

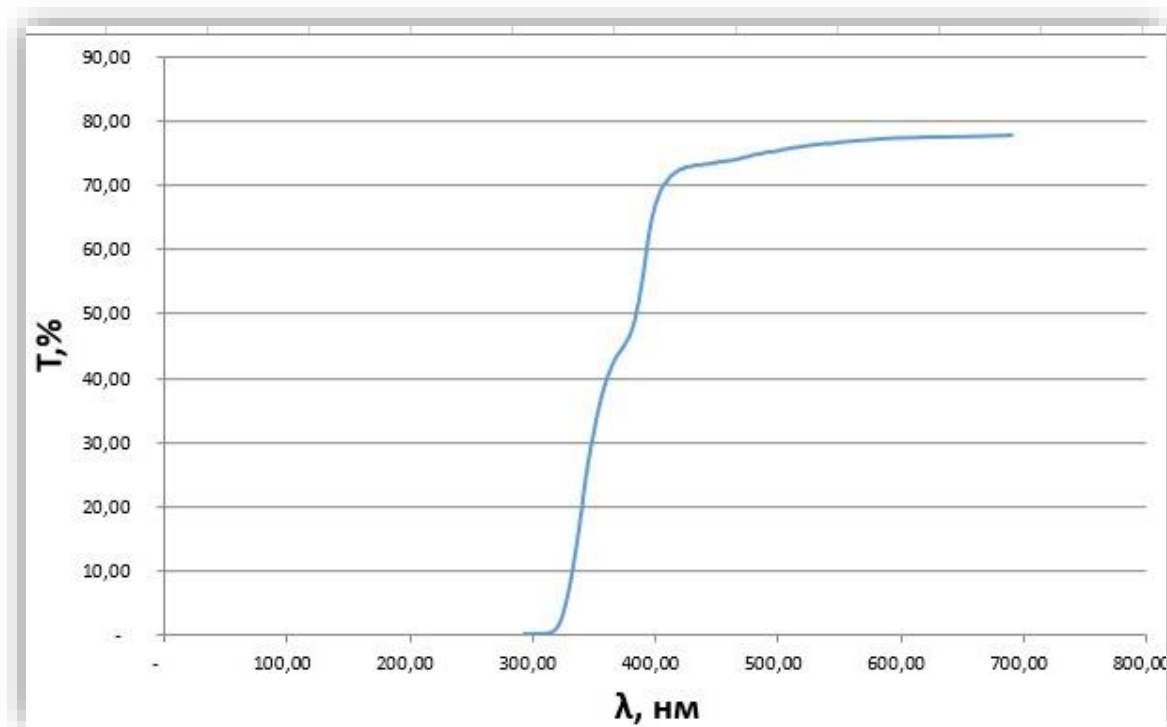


Рисунок 3.9 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO – 15 %

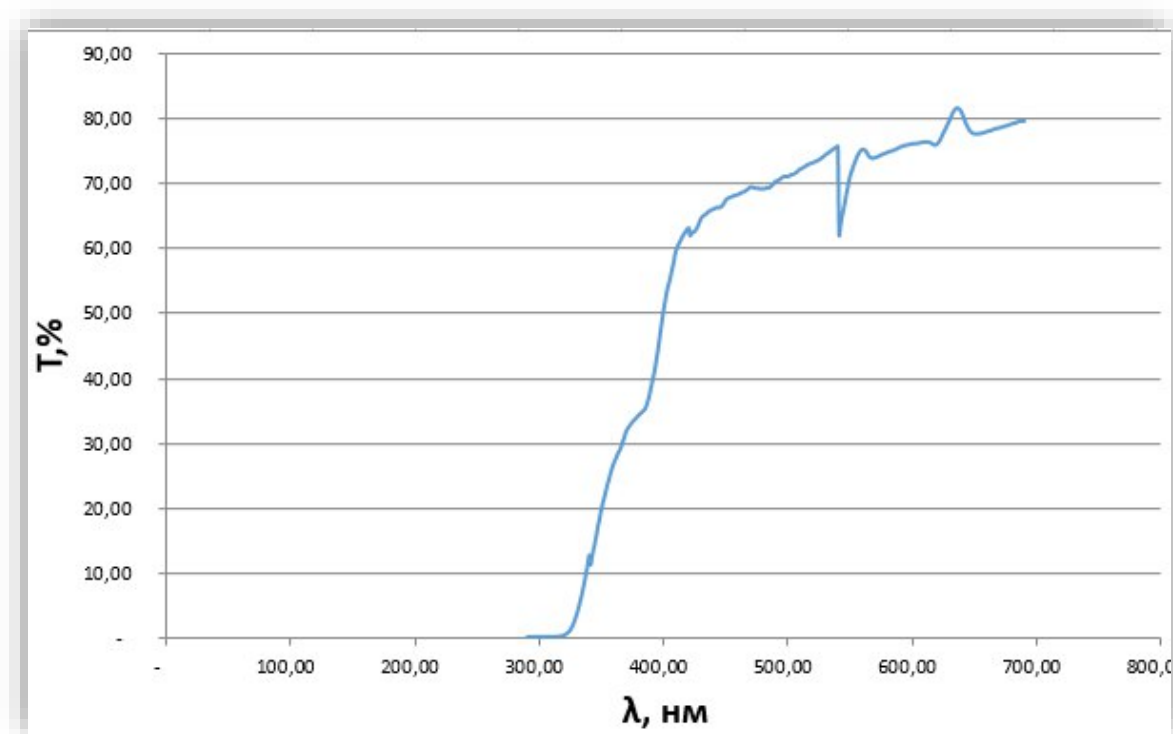


Рисунок 3.10 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO - 20 %

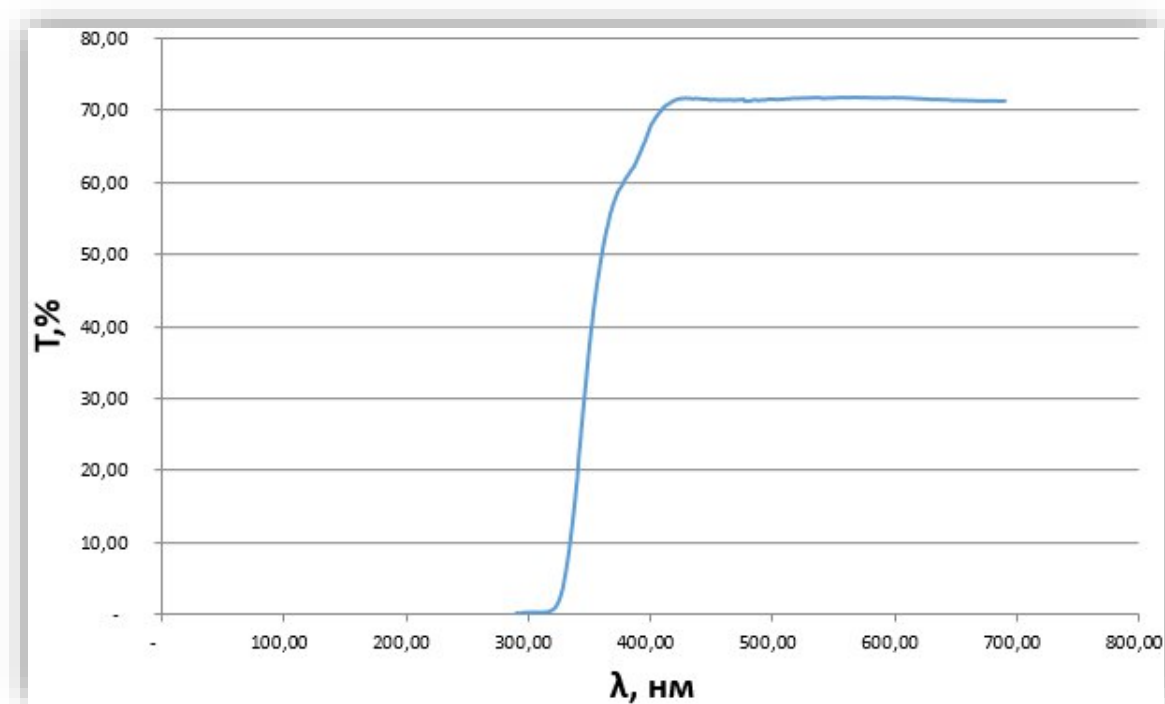


Рисунок 3.11 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO - 25 %

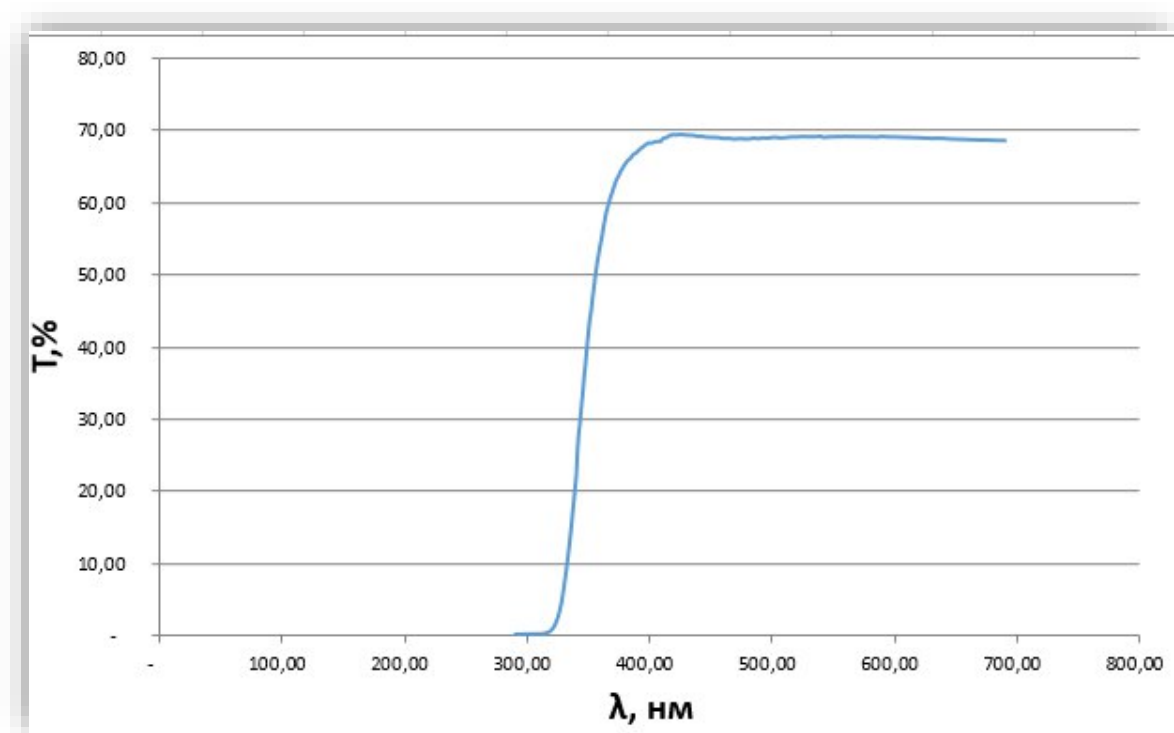


Рисунок 3.12 – Спектр пропускания образца
с массовой долей GrO - 30 %

3.3 Определение оптической ширины запрещенной зоны методом Тауца

Довольно-таки простым оценочным методом определения оптической ширины запрещенной зоны (E_g) является метод Тауца. Сущность которого заключается в анализе спектров поглощения в координатах Тауца вблизи края фундаментального поглощения.

На графике необходимо найти приближенный к линейному участок в области фундаментального поглощения. Следующим действием является экстраполяция линейного участка до пересечения с осью абсцисс. Точка пересечения и будет приближенным значением оптической ширины запрещенной зоны.

На рисунках 3.13 – 3.19 представлены спектры поглощения с различными массовыми долями оксида графена (по оси абсцисс – энергия фотона в эВ, ордината является произведением квадрата этой энергии на квадрат коэффициента поглощения).

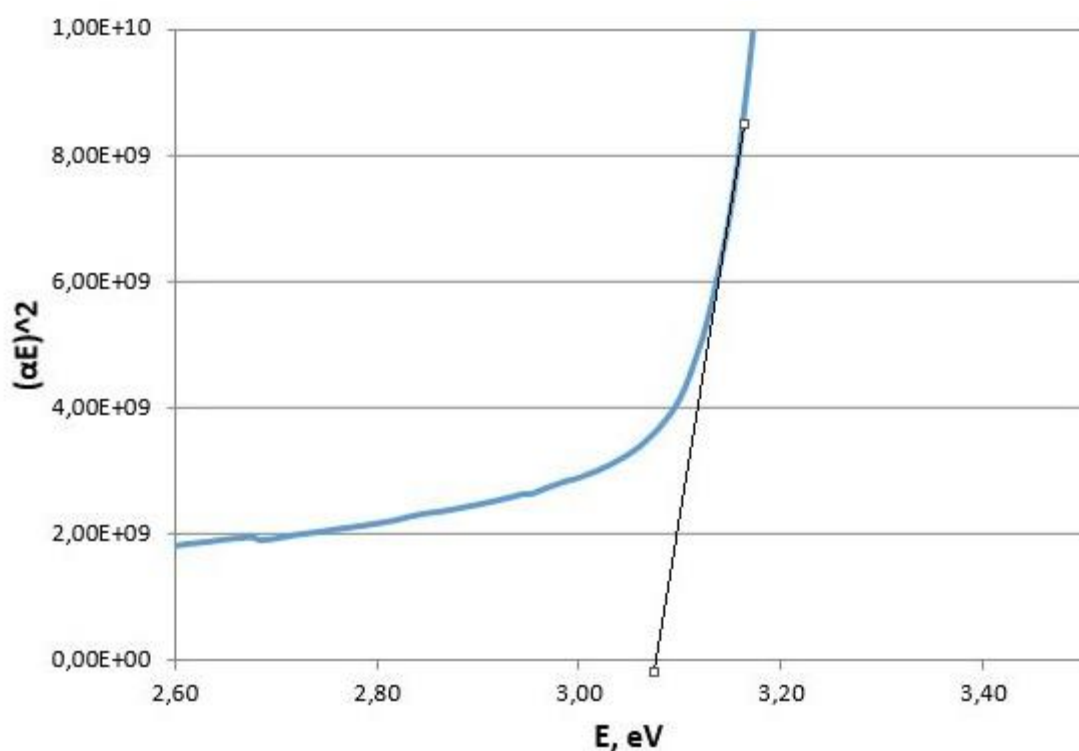


Рисунок 3.13 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 0% в координатах Тауца

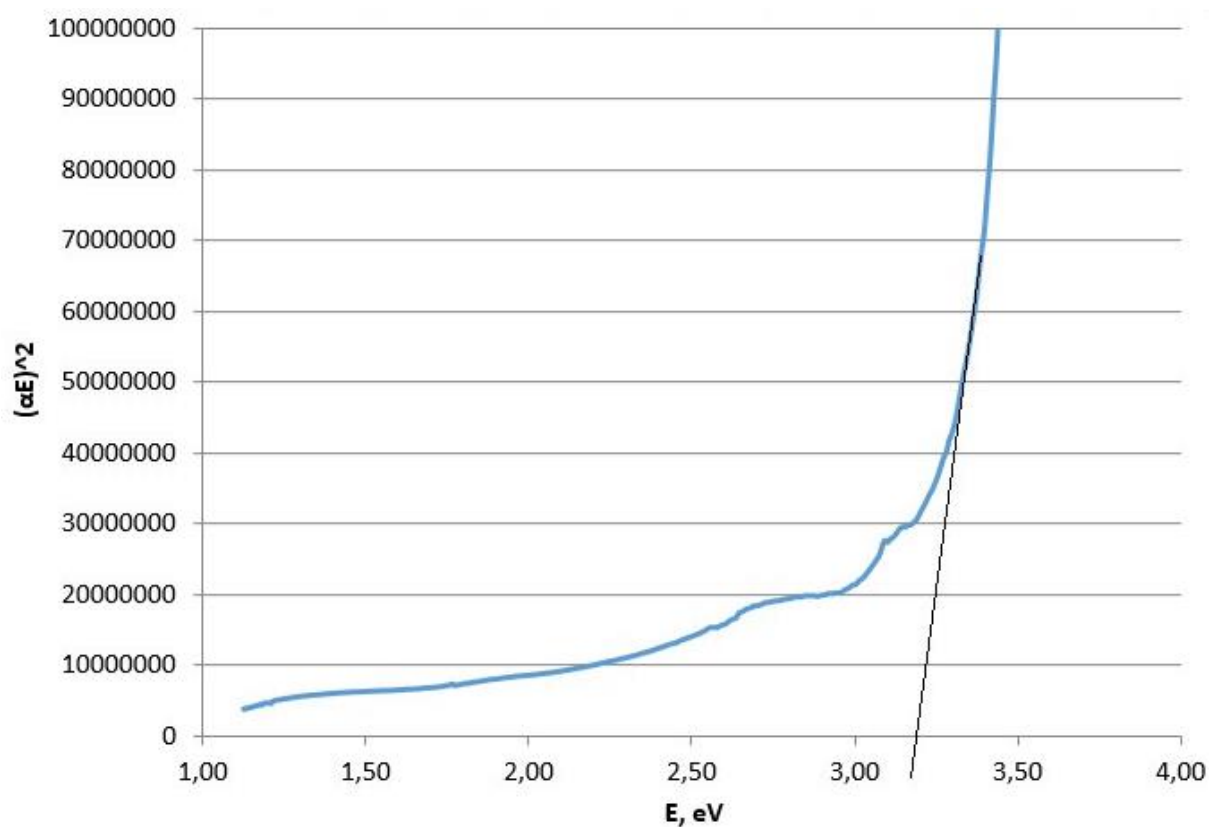


Рисунок 3.14 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 5%
в координатах Тауца

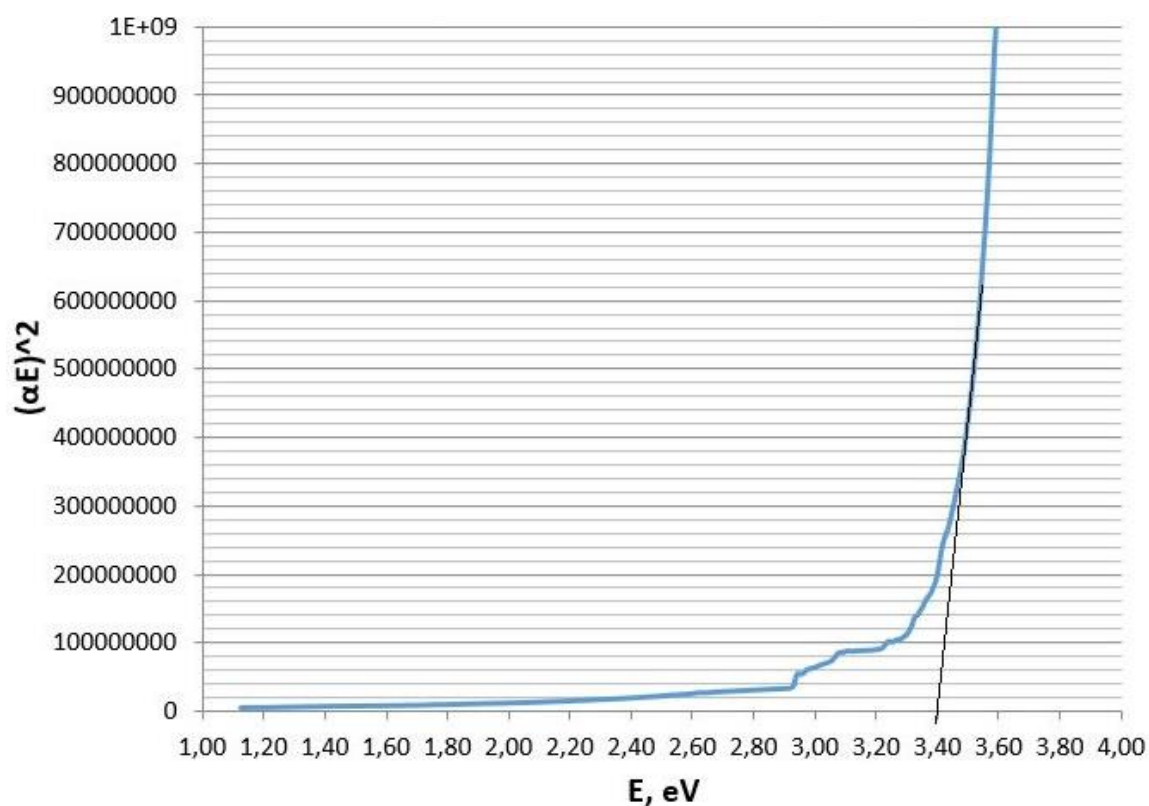


Рисунок 3.15 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 10%
в координатах Тауца

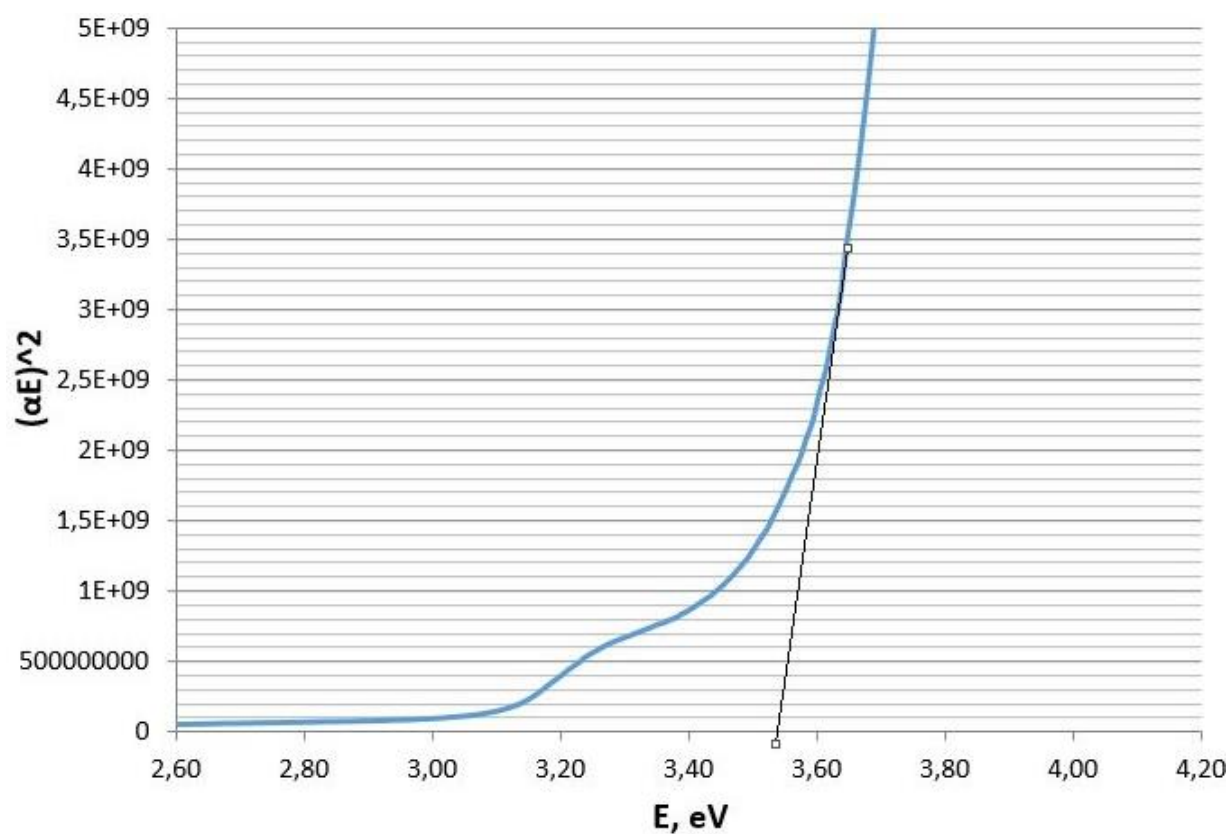


Рисунок 3.16 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 15%
в координатах Тауца

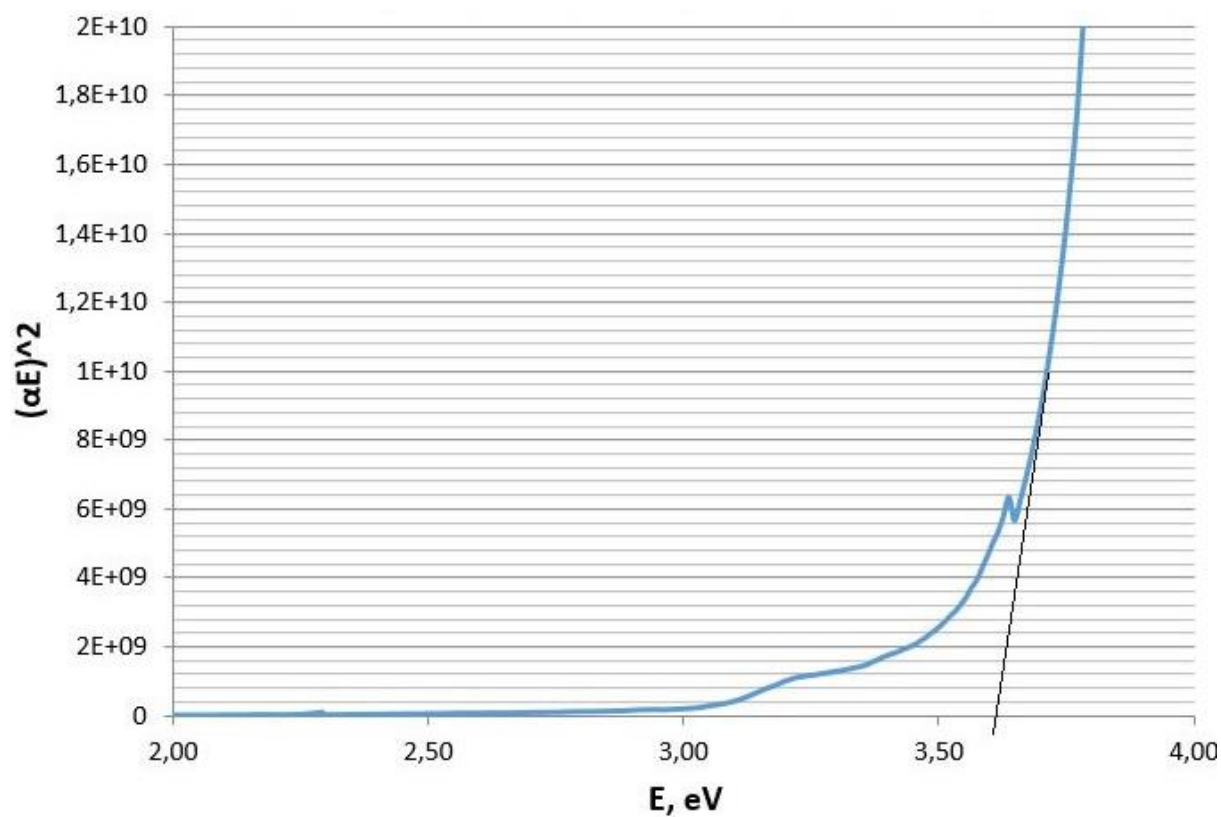


Рисунок 3.17 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 20%
в координатах Тауца

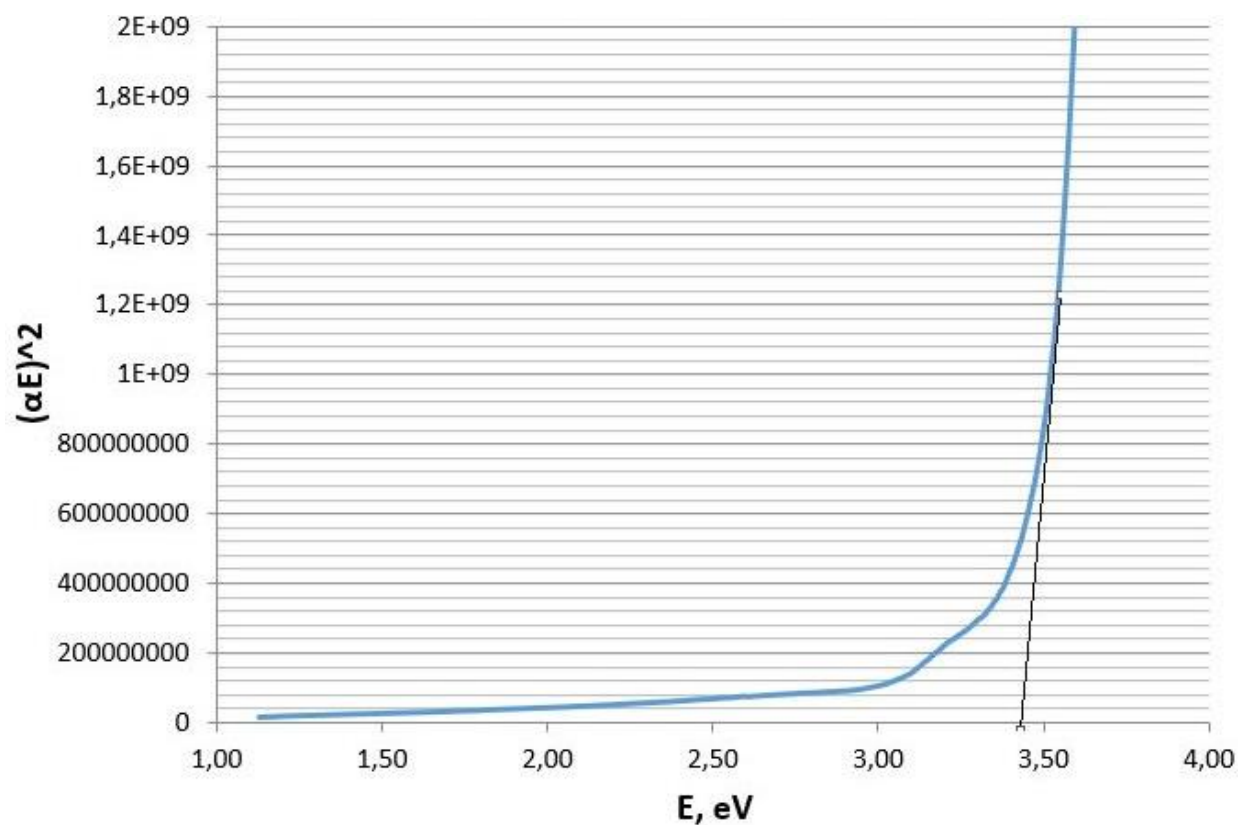


Рисунок 3.18 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 25%
в координатах Тауца

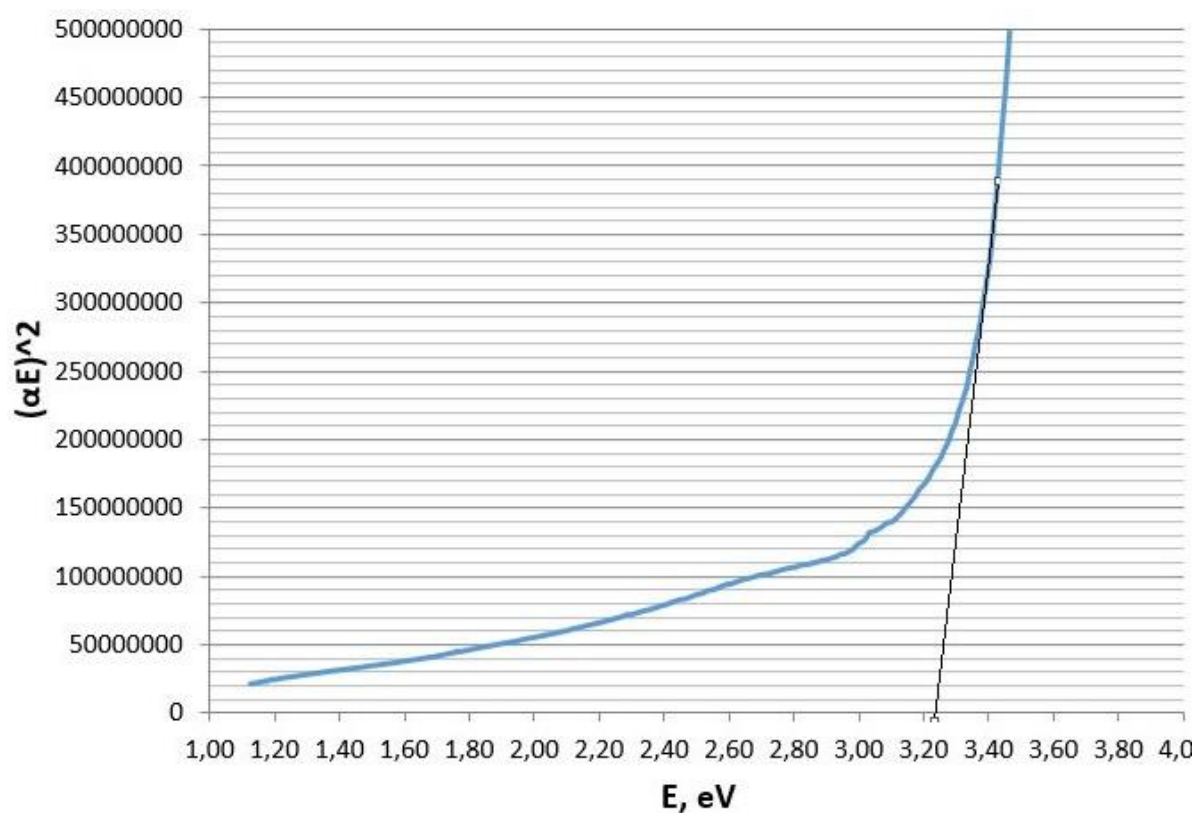


Рисунок 3.19 – Спектр поглощения образца с содержанием GrO - 30%
в координатах Тауца

В таблице 3.2 представлены получившиеся значения оптической ширины запрещенной зоны для образцов с концентрацией оксида графена 0%, 5%, 10%, 15%, 20% и 30% соответственно. Данная зависимость отражена на рисунке 3.20

Таблица 3.2 – Значения ширины запрещенной зоны для каждого образца

Состав	E_g , эВ
ZnO	3,09
ZnO-GrO (5%)	3,26
ZnO-GrO (10%)	3,44
ZnO-GrO (15%)	3,55
ZnO-GrO (20%)	3,64
ZnO-GrO (25%)	3,49
ZnO-GrO (30%)	3,25

Все результаты значений оптической ширины запрещенной зоны сравнивались со значением оптической ширины запрещенной зоны чистого образца ZnO, то есть с содержанием оксида графена – 0 %.

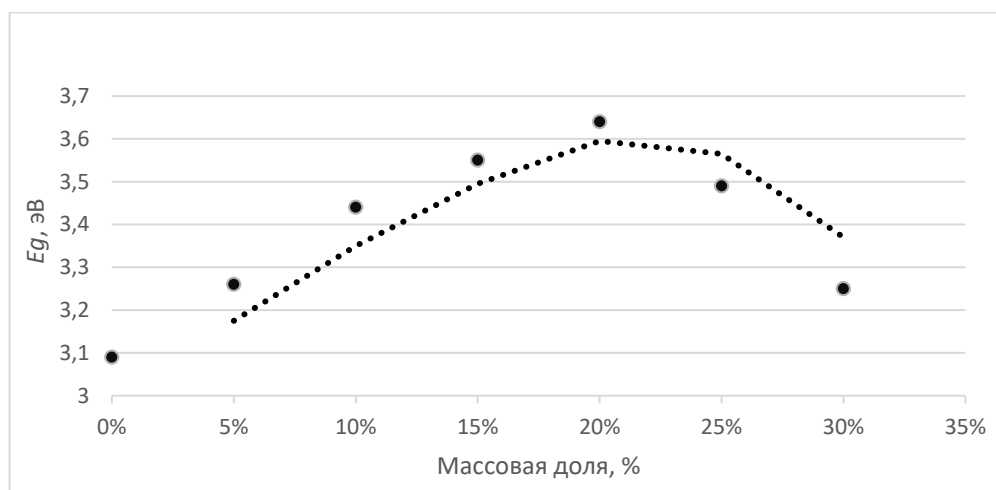


Рисунок 3.20 – Зависимость оптической ширины запрещенной зоны (E_g , эВ) от массовой доли (%) оксида графена

На оценку оптической ширины запрещенной зоны может повлиять, к примеру кислородные вакансии, то есть наличие дефектов в ZnO.

Исходя их выше представленных графиков, можно сказать, что зависимость оптической ширины запрещенной зоны от массовой доли является нелинейной функцией. При массовой доле GrO до 20% наблюдается возрастание ширины запрещенной зоны с 3,1 эВ для чистого материала, до 3,64 для 20% образца. Дальнейший рост массовой доли оксида графена приводит к уменьшению ширины запрещенной зоны до 3,25 эВ при 30%. Мы связываем такого рода метаморфозы с изменением размеров нанокристаллитов оксида цинка при его модификации оксидом графена и возникающем в следствии этого размерным эффектом. В данном случае может произойти квантовый размерный эффект, который и приводит к увеличению ширины запрещенной зоны материала, в случае разве что размер кристаллитов ZnO мал (нанометровый диапазон).

Одним не мало важных из аспектов для определения оптической ширины запрещенной зоны является выбор верного значения n - показателя степени, который зависит от типа электронных переходов. В литературе часто используют $n = 1/2$ для ZnO, но для композитов ZnO - GrO можно встретить и другие значения. В данной работе был выбран $n = 2$, ибо в данном случае получались наиболее линейные участки.

На основании метода Тауца была определена оптическая ширина запрещенной зоны (E_g) на основе методики описанной в данном разделе. Графики зависимостей $(\alpha E)^2$ от энергии фотона ($h\nu$) были построены для каждого образца (рисунок 3.13 – 3.19). Для чистого оксида цинка оптическая ширина запрещенной зоны составила 3,09 эВ, что приближено к литературному значению.

Сочетание РФЭС и метода Тауца позволяет получить более полную информацию об оптических свойствах и ширине запрещенной зоны полученных композитов. РФЭС является поверхностно-чувствительным методом, позволяющим изучить электронную структуру и состав поверхности материала, а метод Тауца позволяет определить ширину запрещенной зоны на основе оптических спектров.

4 Безопасность работника лаборатории

Исследования в лаборатории связаны с возможными угрозами для жизни человека. Соответственно гарантия безопасности работников и исключение происшествий возможны только при неукоснительном следовании правилам охраны труда и техники безопасности.

В этом разделе подробно описываются меры предосторожности и правила техники безопасности, необходимые при проведении исследований в лаборатории, специализирующейся на полупроводниковых гетероструктурах ZnO-GrO.

Основная цель раздела:

- обеспечение безопасных условий труда для работников лаборатории;
- минимизация рисков, связанных с использованием химических веществ, оборудования и процессов;
- предотвращение несчастных случаев и заболеваний, связанных с данной деятельностью;
- повышение информирования работников о правилах техники безопасности и охраны труда.

Раздел "Безопасность жизнедеятельности" (БЖД) в дипломном проекте разрабатывается студентами на основе действующей законодательной базы в области охраны труда. Охрана труда представляет собой комплекс мер, включающих в себя законодательные положения, социально-экономические механизмы, организационные, инженерно-технические, гигиенические и лечебно-профилактические мероприятия, а также средства, направленные на обеспечение безопасности, поддержание здоровья и сохранение трудоспособности человека в процессе производственной деятельности.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ					
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Безопасность работника лаборатории			Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Кострикина								
Провер.		Пронин							40	77
Н. Контр.		Рыжова		19.06.25				гр. 21ПД1		
Утверд.										

Внедрение этих мер на предприятиях создает благоприятные условия труда на всех этапах производственного цикла, опираясь на достижения науки и техники.

Техника безопасности призвана исследовать специфику производственных процессов, применяемых в различных технологиях, анализировать факторы, приводящие к несчастным случаям и профессиональным заболеваниям, и разрабатывать профилактические меры для их предотвращения.

В высших учебных заведениях изучение безопасности завершается разработкой раздела БЖД в дипломных проектах. Этот раздел должен включать оценку текущего состояния безопасности жизнедеятельности на конкретном предприятии и предложения по улучшению условий труда и обеспечению безопасной работы.

В соответствии с темой данной дипломной работы, необходимо провести разбор видов опасностей, влияющих неблагоприятно на здоровье работника. Стоит уделить внимание на вредные условия труда. Их можно разделить на четыре группы:

- физические;
- химические;
- биологические;
- психофизиологические.

К физическим факторам относятся:

- движущиеся машины и механизмы, подвижные части торговотехнологического оборудования, перемещаемые товары, сырье, тара;
- напряжение в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;
- острые кромки, заусеницы;
- повышенная или пониженная температура поверхностей оборудования, товаров, сырья и продукции;

- повышенный уровень шума, вибрации;
- тепловое (инфракрасное) излучение.

К химическим факторам относятся:

- содержание в воздухе рабочей зоны производственных помещений пыли, в том числе растительного и животного происхождения;
- содержание токсических веществ.

К психофизиологическим факторам относятся:

- физические перегрузки;
- нервно-психические перегрузки: перенапряжение анализаторов, монотонность труда, эмоциональные перегрузки.

К биологическим факторам относятся:

- патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности;
- опасные и ядовитые животные и растения;
- аварии на объектах микробиологической промышленности, очистительных сооружениях;
- недостаточная очистка стоков.

4.1 Микроклимат рабочего пространства работника

Микроклимат рабочей зоны на производстве представляет собой комплекс физических параметров, включающий температуру, влажность и скорость воздушных масс, который оказывает прямое воздействие на человеческий организм. Следовательно, рабочее пространство работника должно соответствовать определенным требованиям.

1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"

2. СанПиН 2.2.4.3352-16 "Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах"

3. ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны"

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

4.2 Освещение рабочего места

Рабочее место в лаборатории должно быть организовано в соответствии с требованиями к освещенности, установленными в СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение". Особенно важно обеспечить правильное освещение при работе с компьютерами и лабораторным оборудованием, использующим экраны. Такие рабочие места могут быть подвержены:

1. Прямой блескости: слишком яркий свет, попадающий непосредственно в глаза.
2. Низкой контрастности: сложность различения изображения на экране из-за недостаточной разницы между светлыми и темными участками.
3. Отражениям на экране: появление нежелательных отражений от окружающих предметов, затрудняющих восприятие информации.

Поскольку естественного освещения в лабораториях часто недостаточно, необходимо использовать искусственное освещение, которое должно быть тщательно подобрано, чтобы минимизировать вышеуказанные проблемы.

4.3 Воздействие шума и защита от него

Несмотря на то, что в лабораториях обычно низкий уровень общего шума, источниками дискомфорта и негативного воздействия могут быть:

- вентиляционные системы;
- кондиционеры;
- механические приводы оборудования;
- периферийные устройства компьютеров (принтеры, плоттеры и т.д.).

Длительное воздействие даже относительно негромкого шума может отрицательно влиять на эмоциональное состояние и продуктивность персонала.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ, эквивалентный уровень звука на рабочем месте не должен превышать 50 дБ. Для достижения этого уровня рекомендуется использовать звукопоглощающие материалы для отделки стен.

Мероприятия по снижению шума:

1. Звукопоглощающая отделка: Облицовка потолка и стен звукопоглощающими материалами может снизить уровень шума на 6-8 дБ.
2. Экранирование рабочих мест: Использование перегородок или диафрагм для создания барьеров между источником шума и работником.
3. Использование тихого оборудования: Приобретение компьютерной техники и другого оборудования, производящего минимальный шум.
4. Рациональная планировка: Организация пространства таким образом, чтобы источники шума находились как можно дальше от рабочих мест.

Защита от шума должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.003-03, а звукоизоляция строительных конструкций – Санитарным нормам СН 2.2.4/2.1.8.562–96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий".

4.4 Негативное воздействие повышенной напряженности электромагнитного поля

В современных лабораториях, особенно в тех, где проводятся исследования и измерения в области физики, химии, биологии и медицины, широко используется различное электрооборудование, генерирующее электромагнитные поля (ЭМП). К такому оборудованию относятся:

1. Научные приборы: спектрометры, электронные микроскопы, ЯМР-томографы, ускорители частиц.
2. Измерительное оборудование: генераторы сигналов, анализаторы спектра, осциллографы.
3. Вычислительная техника: компьютеры, серверы.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

4. Осветительное оборудование: люминесцентные лампы, светодиодные светильники с импульсными блоками питания.

5. Электроустановки: силовые кабели, трансформаторы, распределительные щиты.

Работа всего этого оборудования сопровождается созданием ЭМП различных частот и интенсивности.

Воздействие ЭМП на персонал лаборатории является актуальной проблемой охраны труда, требующей тщательного анализа и принятия мер по снижению негативного воздействия.

4.4.1 *Источники и характеристики электромагнитных полей в лаборатории.* Электромагнитные поля, воздействующие на персонал лаборатории, можно классифицировать по следующим признакам:

По частоте:

1. Поля промышленной частоты (50 Гц): создаются электроустановками и силовыми кабелями.

2. Радиочастотные поля (от нескольких кГц до сотен МГц): генерируются генераторами сигналов, анализаторами спектра, ВЧ-оборудованием.

3. Микроволновые поля (от 300 МГц до 300 ГГц): используются в микроволновых печах, радарх и другом специализированном оборудовании.

По источнику:

1. Локальные источники: непосредственно генерирующее ЭМП оборудование (например, ЯМР-томограф).

2. Фоновые источники: электропроводка, освещение.

По характеру воздействия:

1. Электрическое поле: характеризуется напряженностью (В/м).

2. Магнитное поле: характеризуется индукцией (Тл) или напряженностью (А/м).

Важно отметить, что комбинированное воздействие электрического и магнитного полей оказывает более выраженное влияние на организм, чем воздействие каждого из них по отдельности.

4.4.2 *Потенциальная опасность и биологическое воздействие электромагнитных полей.* Длительное и интенсивное воздействие ЭМП на организм человека может привести к различным негативным последствиям, среди которых:

1. Нарушения в нервной системе: головные боли, утомляемость, раздражительность, нарушения сна, снижение концентрации внимания, ухудшение памяти.
2. Нарушения в сердечно-сосудистой системе: колебания артериального давления, нарушения сердечного ритма.
3. Эндокринные нарушения: изменения в гормональном фоне.
4. Иммунодефицитные состояния: снижение сопротивляемости организма к инфекциям.
5. Катаракта: помутнение хрусталика глаза.
6. Онкологические заболевания: увеличение риска развития некоторых видов рака (например, лейкемии).
7. Репродуктивные нарушения: снижение фертильности у мужчин и женщин, тератогенное воздействие на плод.

Механизмы биологического воздействия ЭМП до конца не изучены, однако предполагается, что они связаны с:

1. Тепловым воздействием: нагрев тканей организма под воздействием ЭМП.
2. Нетепловым воздействием: изменения в клеточной мембране, нарушение работы ионных каналов, изменение активности ферментов.

Особенно чувствительны к воздействию ЭМП дети, беременные женщины и лица с ослабленным здоровьем.

4.4.3 *Нормативные требования и методы защиты от электромагнитных полей.* В Российской Федерации действуют нормативные документы, устанавливающие предельно допустимые уровни (ПДУ) ЭМП на рабочих местах и в жилых помещениях. Основные из них:

1. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания".

2. ГОСТ 12.1.006-84 "Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля".

В соответствии с этими нормами, работодатель обязан:

1. Проводить измерения уровней ЭМП на рабочих местах.
2. Обеспечивать соответствие уровней ЭМП установленным ПДУ.
3. Информировать работников о потенциальных опасностях, связанных с воздействием ЭМП.
4. Обеспечивать работников средствами индивидуальной защиты (СИЗ), если уровни ЭМП превышают ПДУ.

Для снижения уровня воздействия ЭМП на персонал лаборатории применяются следующие методы защиты:

- 1 Организационные мероприятия:
 - рациональное размещение оборудования, генерирующего ЭМП, с учетом зон обслуживания и рабочих мест;
 - сокращение времени пребывания в зонах с повышенным уровнем ЭМП;
 - организация рабочих мест таким образом, чтобы персонал находился на максимально возможном расстоянии от источников ЭМП.
- 2 Технические мероприятия:
 - экранирование источников ЭМП с помощью металлических корпусов, экранов, поглощающих материалов;
 - заземление оборудования;

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

- использование фильтров для подавления высокочастотных помех в электросети;

- автоматизация и дистанционное управление процессами, сопровождающимися излучением ЭМП.

3 Индивидуальные средства защиты:

- защитные костюмы, халаты, головные уборы, перчатки, очки, изготовленные из материалов, ослабляющих воздействие ЭМП.

Повышенный уровень напряженности электромагнитного поля представляет собой серьезную опасность для здоровья персонала лаборатории. Необходимо проводить систематический контроль уровней ЭМП на рабочих местах и принимать все возможные меры по их снижению. Только комплексный подход, включающий организационные, технические и индивидуальные средства защиты, позволит обеспечить безопасные условия труда и сохранить здоровье работников.

4.5 Электробезопасность

В лаборатории, где часто работают с электрооборудованием и химическими веществами, крайне важно обеспечивать электробезопасность и пожаробезопасность. Главная опасность в электробезопасности – это поражение электрическим током при контакте с неисправным оборудованием, оголенными проводами. Это может привести к серьезным травмам, вплоть до смертельного исхода. Также, короткие замыкания и перегрузки сети могут вызвать пожар или взрыв. Нельзя забывать про электромагнитные поля, которые при длительном воздействии негативно влияют на здоровье. Важно, чтобы всё электрооборудование было исправно, имело защитное заземление, а также устройства защитного отключения. При работе нужно использовать диэлектрические средства защиты. Сотрудники должны быть обучены правилам электробезопасности и не пытаться самостоятельно ремонтировать неисправности.

4.6 Пожаробезопасность

Что касается пожарной безопасности, то здесь основные риски связаны с возгоранием горючих веществ, таких как растворители и другие реагенты. Некоторые вещества могут даже образовывать взрывоопасные смеси. Важно правильно хранить и использовать горючие вещества, обеспечивать исправность электрооборудования и наличие средств пожаротушения. Необходимо иметь план эвакуации и регулярно проводить тренировки. Курить в лаборатории нужно только в специально отведенных местах. При возникновении пожара необходимо немедленно сообщить в пожарную охрану, оповестить людей, приступить к тушению пожара и эвакуации. В целом, в лаборатории должна быть создана комплексная система, направленная на предотвращение как электрических, так и пожарных опасностей. Руководитель лаборатории несет ответственность за это, и регулярный контроль и профилактика являются ключевыми для обеспечения безопасности.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломный проект был посвящен исследованию полупроводниковых гетероструктур, в основе которых лежат оксид цинка и оксид графена. В рамках работы изучались методы синтеза, особенности строения и электрофизические свойства полученных композитов.

Методом РФЭС получены образцы спектров, проанализирован элементный состав образцов с различными концентрациями оксида графена. Применимый метод является чувствительным к поверхностям и дает получить сведения о химических связях. С помощью использования метода Тауца была определена оптическая ширина запрещенной зоны образцов нанокompозитов ZnO – GrO.

Практическое знакомство с технологиями синтеза и характеристики материалов дало возможность получить ценный опыт работы с современным научным оборудованием. Проведенные эксперименты позволили оценить влияние графена на структуру и электрофизические свойства оксида цинка, что является важным для разработки новых электронных и оптоэлектронных устройств.

Данная дипломная работа стала важным этапом в профессиональном становлении и позволила закрепить теоретические знания, приобрести практические навыки и сформировать понимание перспектив развития области полупроводниковых гетероструктур.

Результаты показали, что при объединении ZnO и GrO в гетероструктуру наблюдаются изменения в электрофизических свойствах по сравнению с исходными материалами. Проведенные исследования позволяют рассматривать гетероструктуры ZnO - GrO как перспективный материал для создания новых электронных устройств, таких как сенсоры различного назначения, транзисторы и солнечные элементы. Полученные результаты могут служить основой для дальнейших исследований в нанoeлектронике и материаловедении.

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Griffin J., Hassan H., Spooner E. *Spin Coating: Complete Guide to Theory and Techniques* //Ossila. Available online: <https://www.ossila.com/en-eu/pages/spin-coating> (accessed on 15 September 2022). – 2022.
2. Moussa N. B. et al. *Synthesis of ZnO sol–gel thin-films CMOS-Compatible* //RSC advances. – 2021. – T. 11. – №. 37. – С. 22723-22733.
3. Davis K. et al. *Band gap engineered zinc oxide nanostructures via a sol–gel synthesis of solvent driven shape-controlled crystal growth* //RSC advances. – 2019. – T. 9. – №. 26. – С. 14638-14648.
4. Афанасьев П., Бохов О., Лучинин В. Научно-технологический комплекс экспресс прототипирования изделий гибкой электроники и фотоники //Нано индустрия. – 2013. – №. 6. – С. 94-104.
5. Brown H. E. *Zinc oxide rediscovered*. – New Jersey Zinc Company, 1957.
6. Leong E. S. P. et al. *Metal-oxide-SiO₂/composite ZnO lasers* //IEEE photonics technology letters. – 2005. – Vol. 17. – №. 9. – P. 1815-1817.
7. Subramanian V. et al. *Solution-processed zinc oxide transistors for low-cost electronics applications* //Journal of Display Technology. – 2009. – Vol. 5. – №. 12. – P. 525-530.
8. Vigué F. et al. *Growth modes and microstructures of ZnO layers deposited by plasma-assisted molecular-beam epitaxy on (0001) sapphire* //Journal of Applied Physics. – 2001. – Vol. 90. – №. 10. – P. 5115-5119.
9. Borysiewicz M. A. *ZnO as a functional material, a review* //Crystals. – 2019. – Vol. 9. – №. 10. – P. 505.
10. Shin J. et al. *Low-temperature and rapid photo-annealing process for metal-oxide thin-film transistors using combined excimer deep-ultraviolet and intensely pulsed light irradiation* //Organic Electronics. – 2022. – Vol. 104. – P. 106476.
11. Brayner R. et al. *ZnO nanoparticles: synthesis, characterization, and ecotoxicological studies* //Langmuir. – 2010. – Vol. 26. – №. 9. – P. 6522-6528.

12. Matsuyama K. et al. Transparent polymeric hybrid film of ZnO nanoparticle quantum dots and PMMA with high luminescence and tunable emission color //Journal of colloid and interface science. – 2012. – Vol. 367. – №. 1. – P. 171-177.

13. Zheng Y. et al. Photocatalytic activity of Ag/ZnO heterostructure nanocatalyst: correlation between structure and property //The Journal of Physical Chemistry C. – 2008. – Vol. 112. – №. 29. – P. 10773-10777.

14. Lee J. et al. Size-controlled electron transfer and photocatalytic activity of ZnO–Au nanoparticle composites //The Journal of Physical Chemistry Letters. – 2011. – Vol. 2. – №. 22. – P. 2840-2845.

15. Subramanian V., Wolf E. E., Kamat P. V. Green emission to probe photoinduced charging events in ZnO – Au nanoparticles. Charge distribution and Fermi-level equilibration //The Journal of Physical Chemistry B. – 2003. – Vol. 107. – №. 30. – P. 7479-7485.

16. Bagus P. S., Ilton E. S., Nelin C. J. The interpretation of XPS spectra: Insights into materials properties //Surface Science Reports. – 2013. – Vol. 68. – №. 2. – P. 273-304.

17. Powell R. A., Spicer W. E., McMenamin J. C. Photoemission studies of wurtzite zinc oxide //Physical Review B. – 1972. – Vol. 6. – №. 8. – P. 3056.

18. Siegbahn K. et al. Electron Spectroscopy with Monochromatized X-rays: This technique constitutes a second-generation approach for a new analytical method //Science. – 1972. – Vol. 176. – №. 4032. – P. 245-252.

19. Drummond I. W. XPS: instrumentation and performance //Surface Analysis by Auger and X-Ray Photoelectron Spectroscopy. – 2003. – Vol. 117-144.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Задание на выпускную квалификационную работу

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53


«Утверждаю»
зав. кафедрой НиМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«05» июня 2025 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студентка гр. 21ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и наноэлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Кострикина София Дмитриевна

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Пронин Игорь Александрович

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы

Полупроводниковые гетероструктуры «оксид цинка – оксид графена»

Тема утверждена приказом ПГУ № 582/о от «25» 04 2025 г.

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

Исследовать полупроводниковые гетероструктуры оксид цинка – оксид графена.

Назначение структур: полупроводниковые сенсорные элементы.

Основные параметры: метод получения гетероструктур – золь гель технология.

Массовая доля оксида графена в гетероструктурах – 10%, 20%, 30%.

Подложка – кремний монокристаллический, стекло предметное.

Оптическая ширина запрещенной зоны материалов 3 – 4 эВ.

Условия функционирования – нормальные.

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 по тематике исследования

2. Исследовать методику синтеза композитов оксид цинка - оксид графена

3. Исследовать образцы методом РФЭС и методом Тауца

4. Безопасность работника лаборатории

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

1 слайд – оксид цинка: обзор свойств и сфер применения

2 слайд – обзор свойств нанокompозитов оксида цинка и оксида графена

3 слайд – золь - гель синтез гетероструктур оксида цинка и оксида графена

4 слайд – рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

5 слайд – обзор на спектры и химический состав образцов

6 слайд – определение оптической ширины запрещенной зоны методом Тауца

7 слайд – спектры пропускания образцов

8 слайд – спектры поглощения образцов, поглощение в координатах Тауца

9 слайд – химический состав и электрофизические свойства образцов

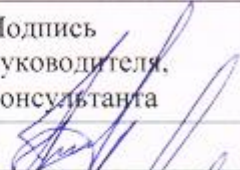
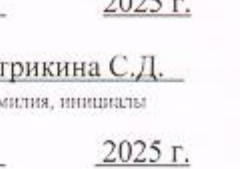
10 слайд – выводы о работе

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 по тематике исследования	25 %	5.06.2025	
Исследование методики синтеза композитов оксид цинка – оксид графена	25 %	6.06.2025	
Исследование образцов методом РФЭС и методом Тауца	35 %	7.06.2025	
Безопасность работника лаборатории	5 %	8.06.2025	
Иллюстративная часть	5 %	9.06.2025	
Оформление пояснительной записки	5 %	9.06.2025	

Руководитель бакалаврской работы

подпись

Пронин И.А.

фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

«05»

июня

2025 г.

Задание к исполнению принял

подпись

Кострикина С.Д.

фамилия, инициалы

«05»

июня

2025 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета

подпись

Кревчик В.Д.

фамилия, инициалы

« 05 »

июня

2025 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

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

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Ректору Пензенского
государственного университета
А. Д. Гулякову
студента 4 курса ФИТЭ
очной формы обучения
Кострикиной Софии Дмитриевны

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Кострикина София Дмитриевна, студентка 4 курса очной формы обучения направления подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», прошу провести проверку с использованием системы «Антиплагиат» выпускной бакалаврской работы на тему «Полупроводниковые гетероструктуры «оксид цинка – оксид графена»», 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.

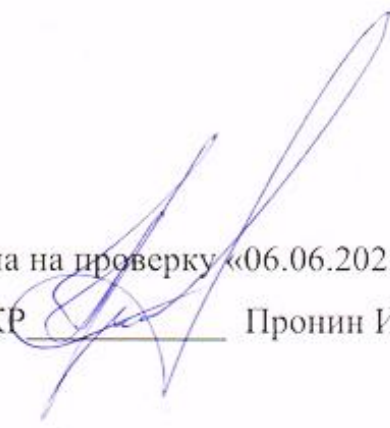
Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР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


подпись студента

06.06.2025

Дата

ВКР представлена на проверку «06.06.2025»

Руководитель ВКР  Пронин И.А.

Протокол

Проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной квалификационной работы на тему «Полупроводниковые гетероструктуры «оксид цинка – оксид графена»»

студента 4 курса Кострикиной С.Д. направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Руководитель ВКР Пронин И.А.



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: Кострикина София Дмитриевна
Самодитирование
рассчитано для: Кострикина София Дмитриевна
Название работы: Полупроводниковые гетероструктуры «оксид цинка – оксид графена»
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ. НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	42.77%	СОВПАДЕНИЯ	42.77%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	54.48%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	54.48%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.75%	ЦИТИРОВАНИЯ	2.75%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 06.06.2025

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 06.06.2025 09:58

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.2-44, титульный лист с.1, выводы с.44-45

Модули поиска: Перефразирование по коллекции IEEE; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования: СМИ России и СНГ; Цитирование: Шаблоны фразы, IEEE, Патенты СССР, РФ, СНГ; Публикации РГБ; ИПС Адилет; Коллекция НБУ; Коллекция вузов; Публикации РГБ (переводы и перефразирование); Публикации eLIBRARY; Сводная коллекция ЗБС; Диссертации НББ; Переводные заимствования IEEE; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирование); Медицина; Коллекция вузов (переводы и перефразирование); СПС ГАРАНТ; аналитика; Переводные заимствования по коллекции Гарант; аналитика; Перефразирование по СПС ГАРАНТ; аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; СПС ГАРАНТ: нормативно правовая документация; Интернет...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

Файл рекомендаций

Дата подписи:

Подпись проверяющего



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

Отчет на запрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Представленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

06.06.2025

Пронин И.А.



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: Кострикина София Дмитриевна
Самоцитирование
рассчитано для: Кострикина София Дмитриевна
Название работы: Полупроводниковые гетероструктуры «оксид цинка – оксид графена»
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

■ ОТЧЕТ О ПРОВЕРКЕ КОРРЕКТИРОВАЛСЯ; НИЖЕ ПРЕДСТАВЛЕНЫ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕРКИ ДО КОРРЕКТИРОВКИ

СОВПАДЕНИЯ	42.77%	СОВПАДЕНИЯ	42.77%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	54.48%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	54.48%
ЦИТИРОВАНИЯ	2.75%	ЦИТИРОВАНИЯ	2.75%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 06.06.2025

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 06.06.2025 09:59

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.2-44, титульный лист с.1, выводы с.44-45
Модули поиска: Перефразирования по коллекции IEEE; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования: СМИ России и СНГ; Цитирование; Шаблонные фразы; IEEE; Патенты СССР, РФ, СНГ; Публикации РГБ; ИПС Адилет; Коллекция НБУ; Кольцо вузов; Публикации РГБ (переводы и перефразирования); Публикации eLIBRARY; Сводная коллекция ЭБС; Диссертации НББ; Переводные заимствования IEEE; Публикации eLIBRARY (переводы и перефразирования); Медицина; Кольцо вузов (переводы и перефразирования); СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; Интернет...

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич
ФИО проверяющего

Дата подписи: 08.06.2025

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 ВКР

					ПГУ 2. 11.03.04. 005 ПЗ	Лист
						60
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		