

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

ПензГУ 02. 11.03.04. 018 ПЗ
обозначение, присваиваемое кафедрой

на тему

Исследование проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка
для гибкой электроники
тема бакалаврской работы

Студент группы 19ПД1
номер группы

Gxhel 15.06.23
подпись, дата

Сухов И.В.
фамилия, иниц.

Руководитель Заведующий кафедрой
должность

[подпись] 15.06.23
подпись, дата

Пронин И.А.
фамилия, иниц.

профессор, ПГУ
наименование организации

Нормоконтролер ст. преподаватель
должность

[подпись] 15.06.23
подпись, дата

Рыжова Т.Н.
фамилия, иниц.

Работа допущена к защите в ГЭК (протокол заседания кафедры от 15.06.23 № 11)

Заведующий кафедрой

[подпись] 15.06.23
подпись, дата

Пронин И.А.
фамилия, иниц.

Работа защищена с оценкой отл. (протокол ГЭК от 26.06 № 1)

Секретарь ГЭК

[подпись] 26.06.23
подпись, дата

Вольсков А.А.
фамилия, иниц.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка состоит из 56 страниц, 9 рисунков, 2 таблиц, списка использованных источников из 102 наименований и 2-х приложений.

Ключевые слова: оксид цинка, оптическая ширина запрещенной зоны, гибкая электроника, золь-гель метод, низкотемпературный ультрафиолетовый отжиг, ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия, тонкие наноструктурированные покрытия, зонная структура, растровая электронная микроскопия.

Цель: Исследовать проводящие наноструктурированные покрытия на основе оксида цинка для гибкой электроники

Задачи:

1. Разработать модифицированную методику получения тонких наноструктурированных покрытий для устройств гибкой электроники.

2. Обеспечить возможность получения кристаллических пленок при температурах, не превышающих 180 °С с дополнительным УФ воздействием в процессе синтеза.

3. Исследовать образцы методами растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового анализа, оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии.

4. Обеспечить возможность осаждения пленок на гибкие подложки.

Актуальность данной темы заключается в том, что сегодня электроника переживает изменения, превращаясь из тяжелой, громоздкой и жесткой в легкую, мягкую и гибкую. Движущей силой этого изменения является необходимость встраивания электроники в повседневные предметы и обеспечения более высокой функциональности носимых устройств и интеллектуального текстиля, например, для использования в спорте или здравоохранении. В то же время бесшовная интеграция электроники прокладывает путь к новым приложениям, таким как смарт-метки, интеллектуальная упаковка, искусственная роботизированная оболочка, незаметный биомиметик и временные протезы, а также современные хирургиче-

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						2
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ские инструменты. Чтобы реализовать эти сценарии и революционизировать будущую повседневную жизнь миллиардов людей во всем мире, требуются гибкие, легкие, прозрачные, податливые, растягивающиеся, биосовместимые и даже биоразлагаемые электронные устройства. В связи с этим появляется необходимость исследований, направленных на разработку методов получения изделий гибкой электроники на основе оксида цинка, простота реализации и низкая стоимость выделяют его, среди прочих.

Объект исследования: проводящие наноструктурированные покрытия на основе оксида цинка для гибкой электроники

Предмет исследования: структурные, электрофизические и физико-химические свойства проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники.

Полученные результаты: исследования проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники современными методами нанодиагностики.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Обзор современной литературы по использованию наноструктурированных материалов в гибкой электронике	8
1.1 Гибкая электроника	8
1.2 Особенность получения пленок оксида цинка комбинированным ультрафиолетовым и термическим отжигом	15
1.3 Особенности исследования структуры валентной зоны пленок оксида цинка методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии.	17
2 Получение пленок оксида цинка низкотемпературным термическим ультрафиолетовым отжигом для гибкой электроники. Исследование особенностей структуры и фазового состава полученных образцов	25
2.1 Разработка методики получения образцов. Изготовление лабораторных образцов	25
2.2 Исследование образцов методом растровой электронной микроскопии	26
2.3 Исследование образцов методом рентгеновского фазового анализа	28
2.4 Анализ влияния времени комбинированного отжига на структуру и фазовый состав образцов	29
3 Исследование особенностей зонной структуры образцов	31
3.1 Исследование образцов методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и методом оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне	31
3.2 Исследование влияния условий получения образцов на зонную структуру	33
4 Техника безопасности и охрана труда работника лаборатории	37
4.1 Анализ опасных и вредных факторов, воздействующих на работника лаборатории	37
4.2 Микроклимат рабочей зоны работника лаборатории	38
4.3 Освещение рабочего места. Воздействие шума на работника лаборатории.	39
Защита от шума	

4.4 Опасность повышенного уровня напряженности электромагнитного поля	40
4.5 Электробезопасность	41
4.6 Пожаробезопасность	43
Заключение	46
Список использованных источников	48
Приложение А. Техническое задание на ВКР	57
Приложение Б Заявление и протокол проверки ВКР на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ»	61
Приложение В. Презентация ВКР	64

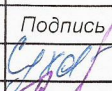
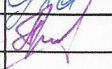
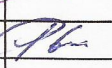
ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной темы заключается в том, что сегодня электроника переживает изменения, превращаясь из тяжелой, громоздкой и жесткой в легкую, мягкую и гибкую. Движущей силой этого изменения является необходимость встраивания электроники в повседневные предметы и обеспечения более высокой функциональности носимых устройств и интеллектуального текстиля, например, для использования в спорте или здравоохранении. В то же время бесшовная интеграция электроники прокладывает путь к новым приложениям, таким как смарт-метки, интеллектуальная упаковка, искусственная роботизированная оболочка, незаметный биомиметик и временные протезы, а также современные хирургические инструменты. Чтобы реализовать эти сценарии и революционизировать будущую повседневную жизнь миллиардов людей во всем мире, требуются гибкие, легкие, прозрачные, податливые, растягивающиеся, биосовместимые и даже био-разлагаемые электронные устройства. В связи с этим появляется необходимость исследований, направленных на разработку методов получения изделий гибкой электроники на основе оксида цинка, простота реализации и низкая стоимость выделяют его, среди прочих.

Цель: Исследовать проводящие наноструктурированные покрытия на основе оксида цинка для гибкой электроники

Задачи:

1. Разработать модифицированную методику получения тонких наноструктурированных покрытий для устройств гибкой электроники.
2. Обеспечить возможность получения кристаллических пленок при температурах, не превышающих 180 °C с дополнительным УФ воздействием в процессе синтеза.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ВВЕДЕНИЕ		
Разраб.	Сухов И.В.			29.05.13			
Пров.	Пронин И.А.			29.05.13			
Н.контр.	Рыжова Т.Н.			29.05			
Утв.							
					Лит.	Лист	Листов
						6	56
					гр. 19ПД1		

3.Исследовать образцы методами растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового анализа, оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии.

4.Обеспечить возможность осаждения пленок на гибкие подложки

Объект исследования: проводящие наноструктурированные покрытия на основе оксида цинка для гибкой электроники

Предмет исследования: структурные, электрофизические и физико-химические свойства проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1 Обзор современной литературы по использованию наноструктурированных материалов в гибкой электронике

1.1 Гибкая электроника

Все современные устройства, начиная от смартфонов до чипов в головном мозге, используют кремниевые подложки, это в свою очередь накладывает определенные ограничения. Одно из таких – гибкость. Получаемые на основе кремния подложки нельзя сгибать, соответственно необходимо найти замену этому материалу и адаптировать существующие подходы для создания изделий гибкой электроники.

Технологии гибкой электроники играют особую роль в развитии научно-технологического комплекса, ориентированного на создание микро- и нанороботов, например, обеспечения дружественного биотехнического интерфейса "человек-машина" в разных сферах деятельности [1].

Термин "гибкая электроника", отражающий конструктивно-функциональные особенности размещения элементов, комплектующих и систем коммутации, а также процессы сборки и упаковки, имеет ряд синонимов. Они определяют две составные части этого направления: основы материаловедения, включая подложку, определенные функциональные материалы (органическая и полимерная электроника) и технологическая основа как способ формирования функциональных элементов и систем коммутации (печатная электроника). Можно выделить специфические особенности:

- большие рабочие зоны;
- относительно большие размеры элементов;
- низкое боковое разрешение (≈ 5 мкм);
- использование многослойных гетерогенных композиций;
- гибкость подложки;

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Обзор современной литературы по использованию наноструктурированных материалов в гибкой электронике	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сухоу И.В.	<i>Сухоу</i>	29.05.23				
Пров.		Пронин И.А.	<i>Пронин</i>	29.05.23			8	56
Н.контр.		Рыжова Т.Н.	<i>Рыжова</i>	29.05		гр. 19ПД1		
Утв.								

- соответствие и интегрируемость в объект;
- использование высокоэффективных технологий печати;
- относительная простота и невысокая стоимость продукции.

К числу наиболее распространенных технологий гибкой электроники, относятся следующие:

- матричная печать (рулонная, трафаретная) механическая;
- капельно-струйные (принтерные) механические;
- лазерные принтерные, конверсионные (поверхностные) и стереолитографические (объемные) физико-химические;
- аэрозоль [2].

Для каждого устройства подбирается своя технология изготовления, универсальной технологии, подходящей для любого устройства не существует.

В гибкой электронике применяются следующие материалы:

- $\text{In}_2\text{O}_3:\text{SnO}_2$ (ITO);
- ZnO ;
- In_2O_3 ;
- SnO_2 ;
- In-Zn-O (IZO);
- Zn-O-N (ZnON);
- Al-Zn-O (AZO);
- In-Ga-Zn-O (IGZO) [3].

В последнее время большой интерес проявляется к оксиду цинка, который является прямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны 3,3 эВ (при 300K), обладающий многими свойствами, которые делают его широко изучаемым в сообществах материаловедов, физики, химии, биохимии и твердотельной электроники. Возможность легирования оксида цинка до высоких концентраций электронов многими переходными или редкоземельными металлами, а также множество структур, которые он может образовывать, все это объясняет большой интерес к этому полупроводнику.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Научное сообщество в основном рассматривает оксид цинка (ZnO) как полупроводник, имеющий отношение к потенциальному применению в оптоэлектронном и биохимическом направлении. Необходимо отметить, что в истории человеческой цивилизации такие применения незначительны по сравнению с другими широко распространенными применениями ZnO. Сегодня от 50% до 60% ZnO используется в резиновой промышленности, затем в керамической промышленности [4], производстве бетона [5], мази для кожи и крема для загара, пищевые продукты (как источник цинка) и пигменты, лишь небольшая часть применения которых связана с изучением его функциональных свойств. За пределами крупной промышленности оксид цинка рассматривался как перспективный материал для тонкопленочной оптоэлектроники [6,7,8], пьезоэлектроники [9], прозрачной электроники [10], спинтроники [11], сенсорики [12] и фотоэлектронных [13] устройств.

Одним из главных достоинств оксида цинка является большая энергия связи экситонов (60 мэВ), что позволяет ему проявлять эффективную экситонную люминесценцию в ближнем ультрафиолетовом диапазоне при комнатной температуре и пропускать 80 – 90% света в видимом диапазоне [14,15].

Низкий показатель преломления 2,05 облегчает извлечение света из оптического устройства. Его кристаллическая структура из вюрцита с параметрами решетки a и c , равными 3,2495 Å и 5,2062 Å [16] соответственно, и большие пьезоэлектрические постоянные обеспечивают сильную пьезоэлектрическую поляризацию в материале, что приводит не только к возможности изготовления пьезоэлектронных устройств, но и к изготовлению высококачественных 2D структур электронного газа [17,18] с наблюдением дробного квантового эффекта Холла [19].

С химической точки зрения решетку можно описать как две переплетенные гексагональные плотно упакованные решетки Zn и O, расположенные таким образом, что каждый ион Zn^{2+} координируется четырьмя ионами O^{2-} в тетраэдрическом расположении, и аналогично, каждый ион O^{2-} координируется четырьмя ионами Zn^{2+} таким же образом (Рисунок 1) [20]. Скрепления являются sp^3 гибри-

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

дизованными, связи почти одинаковы как ионного, так и ковалентного характера. Здесь следует сказать, что при особых условиях роста или с использованием подложек с кубической решеткой ZnO может образовывать пленки с решеткой цинковой обманки с теми же типами ионной координации.

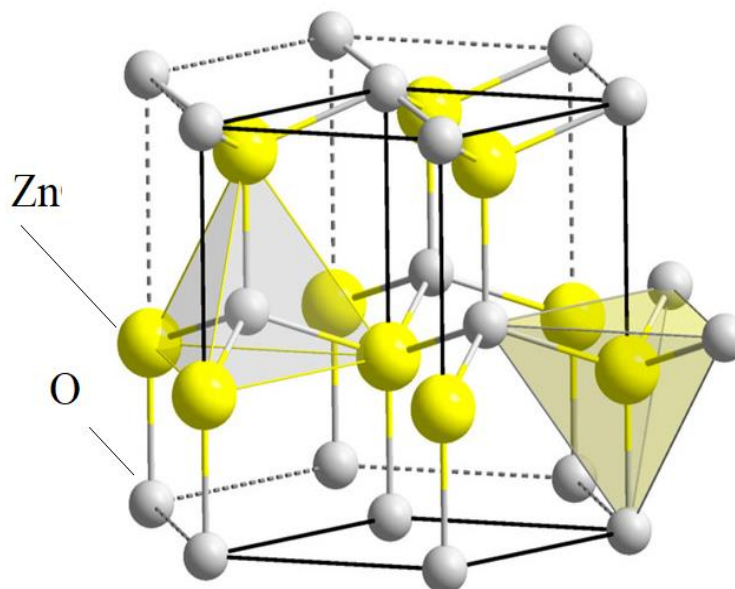


Рисунок 1– Ячейка ZnO вюрцита

Уникальные оптические и пьезоэлектрические свойства ZnO сочетаются с его нетривиальными электрическими характеристиками. Обычно сообщается, что полупроводник ZnO, обладает проводимостью n -типа с высокой подвижностью носителей порядка $\sim 100 \text{ см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-1}$, даже если он не был намеренно легирован. Однако, в первых отчетах объяснялось, что дефекты, такие как междоузлия Zn (Zn_i) или вакансии O (O_v), были ответственны за внутренний n -тип материала [21,22], в более современных работах [23,24] утверждается, что O_v являются глубокими донорами, которые не могут отвечать за проводимость n -типа, и что Zn_i , хотя и являются мелкими донорами, имеют большое образование энергии и быстро рассеиваются, поэтому являются нестабильными. Zn_v являются глубокими акцепторами с низкой энергией образования в условиях, приводящих к росту ZnO n -типа, и поэтому могут компенсировать заряды n -типа [25,26,27].

Таким образом, был достигнут консенсус в отношении того, что внутренняя проводимость пленок ZnO n -типа обусловлена примесями, присутствующими в

процессе роста. В зависимости от процесса выращивания были приняты во внимание примеси водорода, фтора или примеси III группы (In, Ga, B, Al). Что касается примесей III группы, то было обнаружено, что все они преднамеренно добавляют ZnO в *n*-тип [28,29,30,31] путем замещения Zn.

Оксид цинка, легированный алюминием, коммерчески успешен в качестве прозрачной проводящей пленки для прозрачных электронных устройств. Замещающий кислород фтор в решетке действует как мелкий донор с энергией ионизации 80 мэВ и низкой энергией образования [32]. Наконец, было обнаружено, что водород действует как неглубокий донор с энергией ионизации 35 мэВ в промежуточном положении [33]. В отличие от других полупроводников, где водородное междоузлие представляет собой амфотерную легирующую добавку, внедряющуюся в материал *n*-типа в качестве акцептора и в материал *p*-типа в качестве донора, в ZnO он всегда внедряется в качестве мелкого донора [34]. Кислород, замещающий водород, также является неглубоким донором с несколько меньшей энергией образования, чем H_i [29,30,31]. Следует подчеркнуть, что, хотя примеси Al и In могут в основном включаться при химическом выращивании кристаллов, примеси водорода могут иметь значение для вакуумных технологий, поскольку большинство вакуумных камер изготавливаются из нержавеющей стали, которая, как известно, выделяет водород [35,36]. Следует отметить, что ученые, занимающиеся материалами на основе ZnO, по-прежнему, не уделяет достаточного внимания недавним разработкам в области идентификации уровней дефектов. Это особенно часто встречается при описании зеленой полосы люминесценции, видимой в большинстве материалов ZnO. В основной части литературы встречаются работы, противоречащие самим себе, применительно к ZnO в целом, а не к частному случаю структурирования ZnO с использованием определенной техники в конкретных условиях. Недавние экспериментальные исследования показывают, что на самом деле зеленое свечение может происходить из различных источников, даже в одном и том же образце – например, для гидротермальных монокристаллов ZnO, Zn_v в сочетании с H^+ и O_v , вызывает зеленое свечение с небольшими смещениями [37].

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

ZnO состоит из химически активных ионов, в результате чего сам материал далеко не инертен. Во-первых, он легко поддается мокрому химическому травлению, что упрощает эпитаксиальную обработку устройства вплоть до микронного масштаба. Но эта реакционная способность также выгодна с точки зрения изготовления материала, поскольку ZnO легко образует осадки в растворах, и в зависимости от условий реакции можно получить множество морфологий, включая нанокolonки [38], нанопроволоки [39], нанолитники [40], нановолокна [41], наночастицы [42] и квантовые точки [43], а также 3D иерархические архитектуры [44], что является одной из причин невероятной популярности наноструктур ZnO в исследованиях.

Из-за их высокого отношения поверхности к объему и реакционной способности поверхности эти структуры рассматриваются как потенциальные кандидаты для применения в поглощении частиц, будь то фотоны в солнечных элементах, чувствительных к красителям [45], или биохимические молекулы в биомедицинских датчиках [46], или молекулы газа в газовых сенсорах. Кроме того, его низкая токсичность, биосовместимость и биоразлагаемость делают наноструктуры и наночастицы ZnO материалом, представляющим интерес для биомедицинских и экологических систем. Однако необходимо соблюдать осторожность при использовании наноструктур ZnO в водной среде, поскольку при низких концентрациях ZnO растворяется в воде, а порог концентрации растворения быстро возрастает с уменьшением pH, что потенциально создает множество проблем для реальных, стабильных применений в таких областях, как биомедицина или фотокатализ. В таких случаях приемлемым решением может быть соответствующая структура и морфологический дизайн, иногда дополнительно использующий ультратонкие поверхностные пассивирующие слои. Примечателен тот факт, что, в отличие от высококачественного эпитаксиального выращивания ZnO и выращивания тонких пленок, где чаще всего используются вакуумные технологии, наноструктурированный ZnO в большинстве случаев выращивается химическими методами, и лишь немногие разработки основаны на вакуумных технологиях, таких как магнетронное распыление [47] или импульсное лазерное осаждение.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ние [37]. Чаще всего, в получении наноразмерных структур, используют золь-гель-метод, простота реализации и низкая стоимость выделяют это подход среди прочих.

Оксид цинка еще не полностью раскрыл свой потенциал, поскольку некоторые проблемы остаются нерешенными. Основная проблема заключается в невозможности изготовить стабильный, эффективный и воспроизводимый материал, ZnO *p*-типа, а также в раскрытии полной производительности выращенных униполярных структур. Фокус исследований ZnO в настоящее время, в основном, сместился в область наноструктур, где легко изготавливаемый униполярный ZnO *n*-типа с высокоразвитыми поверхностями и наномасштабной морфологией может быть отличным материалом для многих применений, вызывая значительный исследовательский интерес ученых из разных стран.

Другие, менее известные свойства ZnO включают высокую радиационную стойкость, высокую теплопроводность и сильные нелинейные оптические характеристики, что делает материал интересным, соответственно, для космических применений, термоэлектрических генераторов и нелинейно-оптических элементов. По своим электрофизическим и оптическим свойствам ZnO считается перспективным материалом для применения в гибкой электронике [37].

Изделия из гибкой электроники применяются в:

- в компьютерных системах;
- в жидкокристаллической технологии;
- в технологии органических светодиодов;
- в сборках электронных компонентов;
- в автомобилестроении;
- в бытовой электронике;
- в медицине;
- в спорте;
- в системах радиочастотной идентификации;
- в солнечных панелях.
- в текстиле [48,49].

1.2 Особенность получения пленок оксида цинка комбинированным ультрафиолетовым и термическим отжигом

В последние годы ученые исследовали многие материалы с фотокаталитическими свойствами на основе полупроводников из-за их способности с высокой эффективностью разлагать большое количество неподатливых химических веществ в водных системах. Среди этих полупроводниковых наноматериалов, ZnO широко изучался из-за его большой площади поверхности и высокой фоточувствительности [50,51]. Однако из-за его большой ширины запрещенной зоны и большой энергии связи экситона использование ZnO в фотокатализе ограничено в основном в УФ-свете с длиной волны менее 385 нм. Поскольку солнечный свет, достигающий земной поверхности, содержит даже менее 5% его в виде УФ-света, практическое применение фотокатализаторов ZnO в значительной степени ограничено. Однако модифицированный ZnO благородными металлами, такими как Pt [52,53], Au [54,55] и Ag [56] обладают многими уникальными свойствами, такими как легкость восстановления, высокая химическая стабильность и биоаффинность. Кроме того, благородные металлы также действуют как поглотители электронов, что может значительно повысить фотокаталитическую активность как в УФ, так и в видимом свете [57]. Поэтому очень важно показать, как плазменная энергия может быть преобразована в химическую энергию, когда поверхность наноматериала ZnO функционализирована наночастицами золота и серебра.

О синтезе наночастиц оксида цинка сообщают различные группы с использованием различных методов, таких как гидротермальный синтез [58], осаждение щелочью [59], термическое разложение [60] и цинкорганический гидролиз [61]. Ян и его коллеги сообщили о бромиде цетилтриметиламмония (СТАВ) способствовал гидротермальному синтезу наночетка ZnO с использованием автоклава при 120 ° C [62]. Ванг и его коллеги сообщили о синтезе наностержня и призмы ZnO с использованием цинковой фольги, NaOH и СТАВ при температуре ~160 ° C [63].

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Модификация поверхности ZnO наночастицами благородных металлов (Au и Ag) сопряжено со многими потенциальными проблемами. Ли и его коллеги сообщили о синтезе наночастиц золота, защищенных глутатионом, на поверхности ZnO и их успешном применении в фотокатализе [64]. Кроме того, они также сообщили, что зависящий от размера синтез наночастиц золота на поверхности ZnO и их фотокаталитическую активность можно контролировать с помощью золотого конденсатора, зависящего от размера [65]. Камат и его коллеги сообщили о синтезе наночастиц ZnO/Au и уравнивании уровня Ферми во время взаимодействия между полупроводником и благородным металлом. Это явление очень важно для выявления роли благородного металла в фотокатализе. Они сообщили о смещении уровня Ферми в сторону зоны проводимости в полупроводнике в случае ZnO/Au [66].

В целом чистый ZnO проявляет меньшую реакционную способность в качестве фотокатализатора из-за отсутствия ловушек, улавливающих электроны и дырки, в зоне проводимости и валентной зоне соответственно. При модифицировании благородными металлами (Au и Ag) фотокаталитическая активность ZnO значительно возрастает, так как металлические центры действуют как сток (ловушка) электронов на поверхности полупроводника [57].

Кроме того, из-за различия значений работы выхода разных металлов металло-полупроводниковая гетероструктура проявляет переменную каталитическую эффективность в фотокатализе при облучении видимым и УФ-светом. Поэтому, чтобы лучше понять влияние благородных металлов на наночастицы ZnO и их сдвиг уровня Ферми, учеными изучается простой и удобный подход к декорированию наночастиц Au и Ag на поверхности ZnO. Однако, сравнительное исследование декорирования наночастиц Au и Ag на поверхности ZnO и их фотокаталитического эффекта с использованием УФ и видимого света все еще отсутствует [56].

Для получения качественной проводящей наноструктурированной пленки необходимо произвести термический отжиг при температуре ~ 550 °C, что неприемлемо для гибких подложек, которые имеют более низкие температуры плавления.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

ния. Из разных источников известно, что комбинированные методы низкотемпературного нагрева с добавлением воздействия излучения УФ диапазона на зольгель пленки приводит к формированию нанокристаллических оксидов со структурой, подходящей для использования в газовых сенсорах, биосенсоров и др. [67].

Существует два основных метода фотоотжига. Первый предполагает использование интенсивного импульсного света (*IPL*) с длинами волн от 200 до 1000 нм от ксеноновой лампы, которая может обеспечить высокую плотность энергии в течение нескольких миллисекунд при комнатной температуре в окружающей атмосфере. В этом методе отжиг происходит от поверхности подложки на небольшую глубину без какого-либо повреждения подложки. Вторым методом заключается в использовании эксимерного глубокого ультрафиолета (*EDUV*) с длинами волн от 150 до 250 нм. Источник света *EDUV* излучает волны меньшей длины, чем обычные УФ-лампы; таким образом, он может разрушать органические связи, такие как связи $C = C$ и $C = O$, даже при низких температурах. Следовательно, этот метод подходит для низкотемпературного отжига. Кроме того, *EDUV* обеспечивает фотолиз предшественников на основе алкоксида и реорганизацию сетей $M-O-M$. В частности, это позволяет образовывать связи $M-O-M$ без применения тепла; при этом удаляются органические остатки [3].

1.3 Особенности исследования структуры валентной зоны пленок оксида цинка методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии

Методы фотоэлектронной спектроскопии в зависимости от типа возбуждающего $h\nu$ -излучения делятся на ультрафиолетовую фотоэлектронную спектроскопию УФЭС (*UPS* – англ. *Ultraviolet photoelectron spectroscopy*) и рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию РФЭС (*XPS* – англ. *X-ray photoelectron spectroscopy*).

В основе *XPS* лежит фотоэлектрический эффект, то есть эмиссия электронов (иногда называемых фотоэлектронами) с поверхностей, подверженных воздействию света достаточно высокой энергии. Путем измерения кинетической

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

энергии электронов, которые покидают поверхность без неупругих столкновений, можно получить точную оценку их энергии связи с использованием соотношения Эйнштейна:

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

где, $E_{\text{св}}$ – энергия связи, эВ; $h = 4,1 \cdot 10^{-15}$ эВ*с, постоянная планка; ν – частота излучения, Гц; $E_{\text{к}}$ – кинетическая энергия, эВ [68].

Результатом эксперимента является спектр *XPS* (множество спектров), график собранного потока электронов, как функции энергии связи. Спектры обычно имеют один или несколько пиков, которые обусловлены эмиссией электронов с уровней ядра атома (электроны на уровне ядра) и, следовательно, называются уровнями ядра. Вероятность того, что взаимодействие входящего фотона приведет к фотоэлектронной эмиссии, описывается сечением фотоионизации [69].

Во время экспериментов образцы облучаются рентгеновскими лучами. Наиболее распространенными источниками рентгеновского излучения являются $K\alpha$ линии от электродов с Mg- и Al-покрытием (называемых анодами, поскольку они имеют положительный потенциал в диапазоне кВ для привлечения электронов), характеризующиеся энергией фотонов 1253,6 и 1486,6 эВ соответственно.

Выбор источника возбуждения имеет решающее значение по нескольким причинам. Во-первых, он непосредственно устанавливает верхний предел энергии связи электронов, которая может быть обнаружена. Например, для анодов Al $K\alpha$ диапазон энергий связи простирается до ≈ 1350 эВ (ограничен присутствием неупруго рассеянных электронов, которые создают фон, резко возрастающий, как только энергия связи приближается к $h\nu$). Если этого диапазона недостаточно, можно рассмотреть более экзотические источники рентгеновского излучения, такие как Ag $L\alpha$ ($h\nu = 2984,3$ эВ), Cr $K\alpha$ ($h\nu = 5414,7$ эВ) или даже Ga $K\alpha$ ($h\nu = 9251,7$ эВ). Во-вторых, естественный рентгеновский спектр, образующийся при взаимодействии электронов высокой энергии с материалом анода, не является монохроматическим, а скорее состоит из ряда острых пиков (так называемых характерных линий, связанных с электронной структурой атомов в материале анода) [68], наложенных на непрерывный фон (тормозное излучение, возникающее при тор-

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						18
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

мождении электронов в аноде). Кроме того, характерные линии часто имеют сложную структуру. Например, линии $K\alpha$ на алюминиевом аноде фактически представляют собой дублеты $K\alpha_1-K\alpha_2$ с отношением интенсивности 2: 1, которые появляются при 1486,70 и 1486,27 эВ соответственно. В то время как естественная ширина линии каждого компонента составляет 0,5 эВ, результирующая ширина составной линии составляет приблизительно 0,85 эВ, что отрицательно влияет на энергетическое разрешение [70,71].

Таким образом, работа с нефильтрованным $K\alpha$ -излучением подразумевает несколько недостатков, таких как низкое энергетическое разрешение, наличие спутниковых пиков (из-за фотоэлектронов, возбуждаемых линиями $K\alpha_3-K\alpha_6$ и $K\beta$) и пониженное отношение сигнал/шум (из-за высокого уровня фона, вызванного электронами, возбуждаемыми тормозным излучением). По этим причинам следует отдавать приоритет использованию монохроматических источников, которые были разработаны в 1970-х годах и в настоящее время обеспечивают разброс энергии падающего излучения всего в 0,26 эВ [72]. Наконец, выбор источника определяет глубину зондирования. В соответствующем диапазоне энергий длина свободного пробега неупругого электрона увеличивается с увеличением энергии электрона, следовательно, более высокие источники энергии позволяют даже тем электронам, которые возбуждаются на больших глубинах, достигать поверхности без столкновений. Большая глубина зондирования может быть полезна для минимизации относительного вклада поверхностных оксидов (загрязняющих веществ), особенно для тех образцов, которые чувствительны к повреждениям от распыления, что исключает использование Ar^+ травление перед анализами. Однако такие преимущества достигаются ценой худшего энергетического разрешения из-за большей ширины линий источников $Ag L\alpha$ и $Cr K\alpha$.

Для расширения функционала прибора иногда используются двойные аноды, в этом случае поверхность анода покрыта двумя различными материалами (например, Al и Mg, или Al и Ag), а конструкция источника позволяет легко переключаться между рентгеновскими лучами с различной энергией возбуждения [73,74]. В особых случаях, таких как аноды Al и Ag, дополнительным преимуще-

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

ством является то, что энергия фотонов $Ag\ L\alpha$ в два раза превышает энергию фотонов $Al\ K\alpha$, следовательно, оба источника могут быть монохроматизированы с помощью монохроматора с двойным анодом.

В современных приборах для облучения образца рентгеновскими лучами используются две концепции дизайна. Первый метод основан на том, что рентгеновский луч фокусируется в небольшое пятно (диаметром в несколько мкм), которое растривается по анализируемой области образца (или, альтернативно, позволяет проводить анализы с пространственным разрешением). Однако необходимость фокусировки рентгеновских лучей оказывает негативное влияние на их рассеивание и, следовательно, ухудшается энергетическое разрешение. Во второй конструкции используется относительно широкий пучок 1-2 мм (в плоскости образца), так что образец по существу залит рентгеновскими лучами, а область, подлежащая анализу, часто определяется входной щелью в отверстии электронного анализатора энергии.

В вышеуказанных случаях испускаемые электроны, которые покидают поверхность в вакуум, попадают в анализаторную щель спектрометра. Важным параметром для обычных типов анализов (например, *XPS* с угловым разрешением) является угол приема γ , который описывает угловое распространение фотоэлектронов, которым разрешено попадать в анализатор [75]. Обычно, чем меньше угол приема, тем лучше разрешающая способность прибора по углу. Однако в некоторых конструкциях *XPS* с угловым разрешением возможен даже при углах приема, достигающих 85° и в этом случае позиционно-чувствительный детектор используется для подсчета электронов, испускаемых под разными углами излучения.

Ключевым элементом прибора является анализатор энергии. Термин "энергия связи" часто используется в *XPS*-анализах, и поэтому очень важно уточнить его значения. Во-первых, подчеркивается, что в основном состоянии атома, электроны не обладают какими-либо определенными энергиями, которые могли бы быть присвоены исключительно им, чтобы считаться их энергией связи [76]. Вместо этого полная энергия системы одновременно распределяется между

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

всеми ее компонентами. Следовательно, неверно рассматривать конкретные положения пиков, полученные в результате *XPS*-анализа, как прямую меру индивидуальной энергии (энергии связи), связанной с электронами, занимающими данный уровень ядра. Следует скорее относиться к измеренным значениям энергии связи (оценивается по положению пиков), как разнице между полной энергией положительного иона после того, как произошла фотоионизация (путем испускания электрона с рассматриваемого уровня ядра) и полной энергии атома в основном состоянии.

Существенной значимостью *XPS* в современных исследованиях является его способность предоставлять информацию о химической связи. На заре развития метода *XPS* иногда – а в некоторых сообществах до сих пор – называли электронной спектроскопией для химического анализа (*ESCA*) [77]. Уже в 1950-х годах было осознано, что изменения в конфигурации валентных электронов, возникающие в результате образования химических связей, оказывают прямое и измеримое влияние на положение пиков на уровне ядра, присвоенных соответствующим атомам [78]. Чем выше плотность отрицательного заряда на атоме, тем выше кинетическая энергия фотоэлектронов, которые происходят с его основных уровней, и тем ниже энергия связи соответствующих пиков в спектре. Явление сдвига пика, вызванное изменением химической среды, называется химическим сдвигом [79].

Основное уравнение *XPS* (1) может быть непосредственно применено только для анализов, выполняемых в газовой фазе. В этом случае кинетическая энергия фотоэлектронов не изменяется на пути к детектору, следовательно, уровень вакуума (E_0), соответствующий энергии свободного электрона в состоянии покоя и находящийся на полубесконечном расстоянии от рассматриваемой системы, служит естественным эталонным уровнем (“0 эВ” по шкале энергий связи) [80,81]. Ситуация для твердофазных образцов заметно отличается из-за того, что испускаемые фотоэлектроны должны преодолевать потенциальный барьер на поверхности, это соответствует разности энергий между уровнем Ферми и уровнем вакуума. В таких случаях E_F , который в соответствии с уравнением Ферми–

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Дирака обозначает энергию, при которой выше абсолютного нуля вероятность обнаружения электрона равна $\frac{1}{2}$, обеспечивает более рациональный и удобный контрольный уровень.

Предполагается, что образец и спектрометр находятся в хорошем электрическом контакте, это означает, что имеется достаточное количество свободных носителей заряда, доступных с обеих сторон контакта, и заряды могут свободно перемещаться по интерфейсу. Изменение количества электронов, поступающих на детектор, в зависимости от их кинетической энергии несет важную информацию об образце. Традиционно построенные, как функция энергии связи, спектры *XPS* обычно состоят из многочисленных, часто перекрывающихся, пиков различной формы и интенсивности, которые, если не разрешены полностью, описываются как плечи, горбы или сателлиты [82]. Причиной такого множества спектральных характеристик является то, что в анализируемом образце происходят многочисленные физические явления либо до, либо после фотоионизации. Часто в литературе по *XPS* говорится об эффектах начального и конечного состояний соответственно.

Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (*UPS*) основана на тех же принципах, что и *XPS*, но работает с использованием низкоэнергетического ультрафиолетового возбуждения вместо рентгеновского возбуждения. Вместо возбуждения остовных электронов ультрафиолетовый свет возбуждает переходы валентных электронов, предоставляя информацию об электронной структуре полупроводника и абсолютной энергии максимума его валентной зоны.

Информация, полученная от *UPS*, может быть дополнена обратной фотоэмиссионной спектроскопией (*IPES*), методом, при котором электроны с четко определенной энергией бомбардируют образец и соединяются с состояниями внутри зоны проводимости. Эти электроны впоследствии распадаются на более низкоэнергетические состояния в зоне проводимости; некоторые из этих процессов распада сопровождаются испусканием фотонов, которые измеряются анализатором. В то время как *UPS* дает информацию о валентной зоне, *IPES* дает информацию о зоне проводимости. Таким образом, объединение наборов данных

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

UPS и *IPES*, часто наряду с моделированием и расчетами, дает полную картину плотности состояний вблизи экстремумов зон и их абсолютных энергий [75]. Однако, как и *XPS*, *UPS* и *IPES* очень чувствительны к поверхности; поэтому необходимо проявлять большую осторожность, чтобы избежать загрязнения поверхностей. Как и *XPS*, *UPS* также требует точного выравнивания начала спектра.

Многие модификации оксида цинка обладают слишком высокими изоляционными свойствами, чтобы их можно было точно измерить в сыпучих материалах (например, в образцах порошка и кристаллов); вместо этого измерения должны проводиться на тонкопленочных образцах, нанесенных на подложки с достаточной проводимостью (например, *ITO*, *FTO*), чтобы уменьшить эффекты заряда. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия, использующая фотоны низкой энергии (обычно He, 21,2 эВ, и HeII, 40,8 эВ), полезна для изучения валентных зонных структур и электронных свойств многих материалов и для подтверждения результатов расчетов зонной структуры. Хотя *UPS* имеет высокое энергетическое разрешение, спектр представляет собой свертку состояний валентной (заполненной) зоны и зоны проводимости (пустой), последние из которых обусловлены фотовозбуждением валентных электронов в зону проводимости. С другой стороны, *XPS* показывает истинную плотность состояний, так что спектры валентной зоны *XPS* легко понять, и они были недавно измерены во многих областях, даже если энергетическое разрешение не такое высокое.

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия ранее использовалась для исследования электронной структуры ZnO [83,84]. Рентгеновский фотоэлектронный спектр оксида цинка, в отличие от других оксидов *3d*-переходных металлов, характеризуется низким положением *3d*-полосы, которая находится на расстоянии 3 эВ от нижней части валентной *O2p*-полосы. В связи с этим в некоторых теоретических работах *3d*-электроны рассматриваются как электроны ядра, не участвующие в ковалентной связи цинка и кислорода [85,86].

Результаты, полученные Цвикером и Якоби [87], имеют большое значение для развития идей о природе химической связи в оксиде цинка; эти авторы

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

наблюдали тонкую структуру $3d$ -пика в УФ фотоэлектронных спектрах с угловым разрешением с (1010) поверхности ZnO. Было отмечено, что расщепление, составляющее 0,8 эВ, намного больше значения, которое может быть получено с учетом спин-орбитального взаимодействия или в случае расщепления в поле лигандов тетраэдрического кристалла. Прямое взаимодействие маловероятно из-за большого расстояния (3,25 Å) между соседними атомами Zn. Цвикер и Якоби поставили вопрос о возможности взаимодействия $3d$ -электронов цинка через $2p$ -электроны кислородной среды и необходимость расчетов электронной структуры ZnO с использованием расширенного s, p, d -базиса.

Расчеты зонной структуры с включением $Zn3d$ -электронов в качестве валентных электронов были выполнены в работах [88, 89]; было получено значительное перемешивание $Zn3d$ - и $O2p$ -состояний, указывающее на участие $Zn3d$ -орбиталей в ковалентной связи атомов Zn и O.

Экспериментальным методом, который может дать "почувствовать" участие $3d$ -состояний в образовании связи с кислородом и присутствие $p-d$ -смешанных орбиталей в валентной зоне является метод фотоэлектронной спектроскопии с варьированием энергии фотонов в широком диапазоне. Комбинация методов XPS и UPS позволяет использовать зависимость сечений фотоионизации различных орбиталей от энергии падающих квантов. Когда энергия фотона изменяется, сечения ионизации $O2p$ - и $Zn3d$ -орбиталей (σ_{O2p} и σ_{OZn3d}) изменяются по-разному. Они сопоставимы по величине при $h\nu = 60$ эВ, то при $h\nu = 1253,6$ эВ $\sigma_{O2p} \ll \sigma_{OZn3d}$ [75], и примесь $Zn3d$ -орбиталей должно влиять на форму валентной зоны и соотношение интенсивностей $Zn3d$ - и $O2p$ -полос.

2 Получение пленок оксида цинка низкотемпературным термическим ультрафиолетовым отжигом для гибкой электроники. Исследование особенностей структуры и фазового состава полученных образцов

2.1 Разработка методики получения образцов. Изготовление лабораторных образцов

Методика получения золь ZnO разрабатывалась на основе работы [90]. На первом этапе 10 г дигидрата ацетата цинка $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ смешивали с 20 мл 2-метоксиэтанола – $\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ и 3,2 мл 2-аминоэтанола – $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ в круглодонной колбе и перемешивали в течение 15 мин с помощью магнитной мешалки при комнатной температуре (25°C). На втором этапе раствор созревал в течение 60 мин при температуре 60°C . Далее полученный золь созревал в течение 24 часов при комнатной температуре.

Золь наносился на кремниевые и ситалловые подложки методом погружения с последующей сушкой в течение 60 мин при 90°C .

Комбинированная термическая и УФ обработка происходила в течение 90, 180 и 270 минут под линейной ультрафиолетовой лампой мощностью 8 Вт с максимумами излучения 185 нм и 254 нм (WL 2001, тип лампы T5 G5, Camelion, Китай) (серия «комбинированная обработка»). Расстояние от колбы лампы до поверхности образцов составляло 20 мм. Образцы располагались на плитке, обеспечивающей дополнительный нагрев до 180°C на всём протяжении эксперимента.

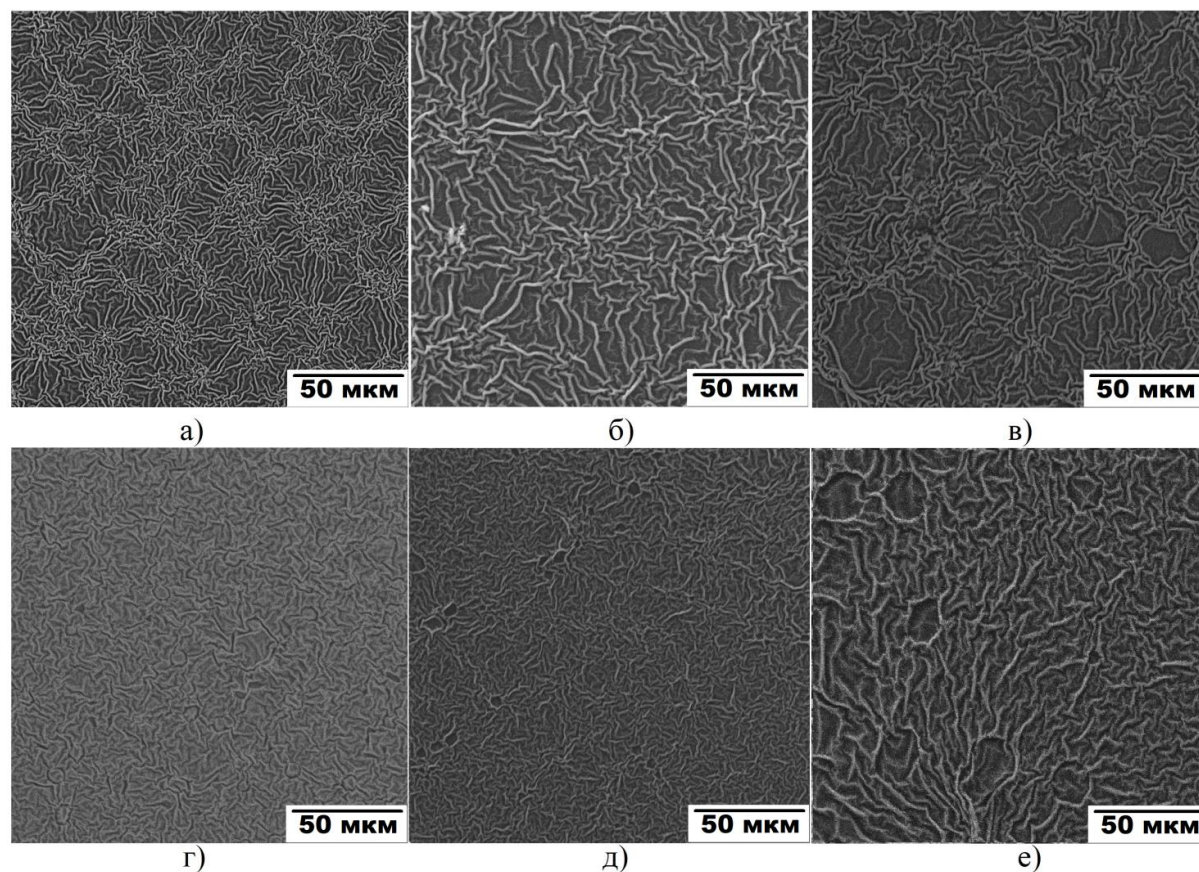
Дополнительно для контроля была изготовлена серия образцов, полученных при тех же условиях, но без воздействия УФ лампы (серия «термообработка»).

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Получение пленок оксида цинка низкотемпературным термическим ультрафиолетовым отжигом для гибкой электроники. Исследование особенностей структуры и фазового состава полученных образцов	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Сухо И.В.	<i>Сухо И.В.</i>	29.05.23				
Пров.		Пронин И.А.	<i>Пронин И.А.</i>	29.08.23			25	56
Н.контр.		Рыжова Т.Н.	<i>Рыжова Т.Н.</i>	29.08.23		гр. 19ПД1		
Утв.								

2.2 Исследование образцов методом растровой электронной микроскопии

Структура поверхности образцов была исследована с помощью растрового электронного микроскопа *VEGA 3 SBH (TESCAN, Чехия)* в режиме отраженных электронов.

На рисунке 2 представлены микрофотографии всех синтезированных образцов, полученные методом растровой электронной микроскопии.



а – термообработка 90 минут; б – термообработка 180 минут;
в – термообработка 270 минут; г – комбинированная 90 минут;
д – комбинированная 180 минут; е – комбинированная 270 минут
Рисунок 2– Микрофотографии, полученные методом растровой
электронной микроскопии

Анализ изображений говорит о разных механизмах сборки ветвей материала при использовании методик термической и добавочной ультрафиолетовой обработок. Остановимся подробнее на термической обработке тонкопленочного материала при 180 °С при различных ее продолжительностях. Прежде всего, стоит отметить, что структура материала представляет собой ветвистые агрегаты с плотной центральной областью, контактирующие друг с другом на периферии. Размер данных агрегатов при минимальном времени обработки 90 минут составляет 20-30 мкм и имеет тенденцию к увеличению с ростом времени нагрева: при его продолжительности 180-270 минут размер агрегата превышает 50 мкм. Все представленные агрегаты по своей структуре состоят из ветвей, средний диаметр которых возрастает с увеличением продолжительности термообработки. Механизм роста настоящих ветвей хорошо известен и связан с формированием лабиринтных структур из доперколяционных фрагментов, выросших в золе, претерпевшем спинодальный распад. Более подробно с закономерностями формирования данных структур подробно можно ознакомиться в данной статье [91].

Укрупнение ветвей и соответствующий ему рост агрегатов связан, вероятно, с замедленной диффузией в конденсированной фазе и поглощением малых ветвей большими, что приводит к укрупнению ветвей.

Структура образцов, полученных с комбинированной термической и УФ обработкой, существенно отличается от пленок, полученных без дополнительной УФ активации. Прежде всего, образцы имеют более однородную ветвистую структуру, в которой нет возможности выделить отдельные микроскопические агрегаты. Вероятно, это связано с блокированием процесса сборки агрегатов за счет разрушения химических связей, формирующихся за счет самосборки жестким ультрафиолетовым излучением. Не исключен также распад ядер, собранных по механизмам диффузионно-лимитированной агрегации на ранних этапах созревания золя, предшествующих нанесению его на подложку.

2.3 Исследование образцов методом рентгеновского фазового анализа

На рисунке 3 представлен фрагмент дифрактограммы пленок в диапазоне углов $2\theta = 31 - 35^\circ$.

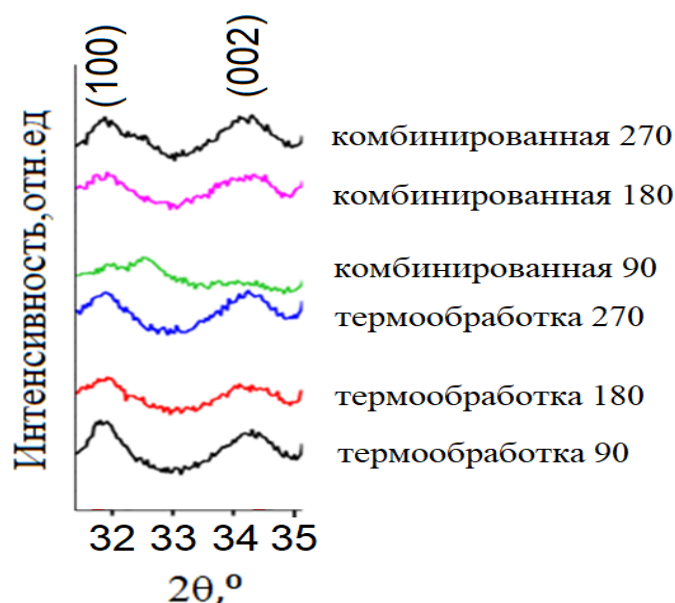


Рисунок 3 – Фрагмент дифрактограммы пленок в диапазоне углов $2\theta = 31 - 35^\circ$

Указанные на рисунке 3 рефлексy соответствуют фазе ZnO типа вюрцит и отображают семейства плоскостей (100) и (002) [92]. Следов других фаз, кроме вюрцита, потенциально принадлежащих пленке, обнаружено не было.

Анализ уширения рефлексов позволил рассчитать средний размер кристаллитов пленки по уравнению Шерера [93]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} , \quad (2)$$

где K – фактор формы ($K \approx 0,9$); λ – длина волны рентгеновского излучения, м; D – размер области когерентного рассеяния (ОКР), м ; θ – угол дифракции.

Рассчитанные данные находятся в таблице 1.

Таблица 1– Результаты расчета параметров образцов

Параметры	Термообработка			Комбинированная		
	90 мин	180 мин	270 мин	90 мин	180 мин	270 мин
D , нм	10,5	9,5	9,6	-	6,7	8,0
ε , эВ	3,15	3,16	3,16	3,16	3,15	3,13

2.4 Анализ влияния времени комбинированного отжига на структуру и фазовый состав образцов

Из таблицы 1 видно, что для образцов, полученных посредством термического нагрева, средний размер кристаллита находится в диапазоне 9,5 – 10,5 нм и практически не зависит от времени обработки.

Из представлений о протекании золь-гель процессов хорошо известно, что рост ядер, являющихся базовой структурной единицей сборки материала на более высоких уровнях иерархии, происходит на ранних этапах созревания золь. Для перестройки структуры ядер необходима некоторая энергия, которой недостаточно при термическом нагреве 180 °С. В связи с этим, несмотря на эволюцию структуры поверхности в ходе нагревания образца, которую видно на результатах растровой микроскопии, сборка агрегатов на высоком иерархическом уровне происходит из одних и тех же ядер, не претерпевающих изменение с течением времени. В связи с этим возникает практически идентичные картины дифракции рентгеновских лучей при всех 3 временах термической обработки.

Иная картина возникает при комбинации термической и УФ обработок. Образцы, обработанные при 90 минутах, имеют рентгеноаморфную структуру, что указывает на размер кристаллитов, не превышающий 1 нм. С ростом времени обработки наблюдается формирование кристаллитов размером 7 – 8 нм. Рассмотрим эволюцию кристаллической структуры образцов более подробно. Хорошо известно, что на этапе созревания агрегатов золь-гель процессов ядра представляют собой катионы цинка, связанные кислородными мостиками, другими группировками, в том числе органическими. Также на поверхности частицы присут-

ствуют различные функциональные группы и фрагменты исходных веществ: -CH₃; -NH₂; -COOH и т.д.

При воздействии УФ излучения на материал с этой структурой, происходит разрыв химических связей, за счет которого возможно удаление органических групп, разделение агрегатов, сформированных на ранних этапах созревания, на более мелкие, но имеющее достаточно совершенную кристаллическую структуру. Дифрактометрически они определяются, как рентгеноаморфные, то есть их размер не превышает 1 нм. Следует также отметить, что в этих кристаллитах малого размера могут происходить фотокаталитические процессы, приводящие к очистке поверхности последних и возможности ориентированного их объединения. Увеличение времени комбинированной обработки приводит к агломерации ядер и формированию более крупных монокристаллов: при временах 180 и 270 минут средний размер кристаллитов соответствует 7 и 8 нм соответственно.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3 Исследование особенностей зонной структуры образцов

3.1 Исследование образцов методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и методом оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне

Исследование проводилось с использованием рентгеновского фотоэлектронного спектрометра *Escalab 250Xi* (*Thermo Fisher Scientific Inc.*, Уолтем, Массачусетс, США) и источника возбуждения He I (21,2 эВ). Измерения проводились в условиях сверхвысокого вакуума (1×10^{-9} мбар). Исследуемые поверхности подвергались распылению с использованием пучка ионов Ar⁺ при энергии пучка 1 кВ в течение 60 с. Такой способ очистки поверхности доказал свою способность снижать относительную концентрацию углеродсодержащих и кислородсодержащих загрязнений до 5-15% в органических материалах и материалах из оксидов металлов. Образцы хранили в воздушной атмосфере в течение 1 месяца после синтеза, пока они не соприкоснулись для проведения исследования.

Рассмотрим эволюцию величины оптической ширины запрещенной зоны ϵ в результате всех типов обработки. На рисунках 4,5 представлены спектры поглощения всех образцов, построенные в координатах Тауца. Подробнее с методикой расчета ϵ можно ознакомиться в работе [94]. Все рассчитанные результаты представлены в таблице 1.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Исследование особенностей зонной структуры образцов			
Разраб.	Сухов И.В.	Сухов	29.05.23					
Пров.	Пронин И.А.	Пронин	18.08.23					
Н.контр.	Рыжова Т.Н.	Рыжова	19.05					
Утв.								
						Лит.	Лист	Листов
							31	56
						гр. 19ПД1		

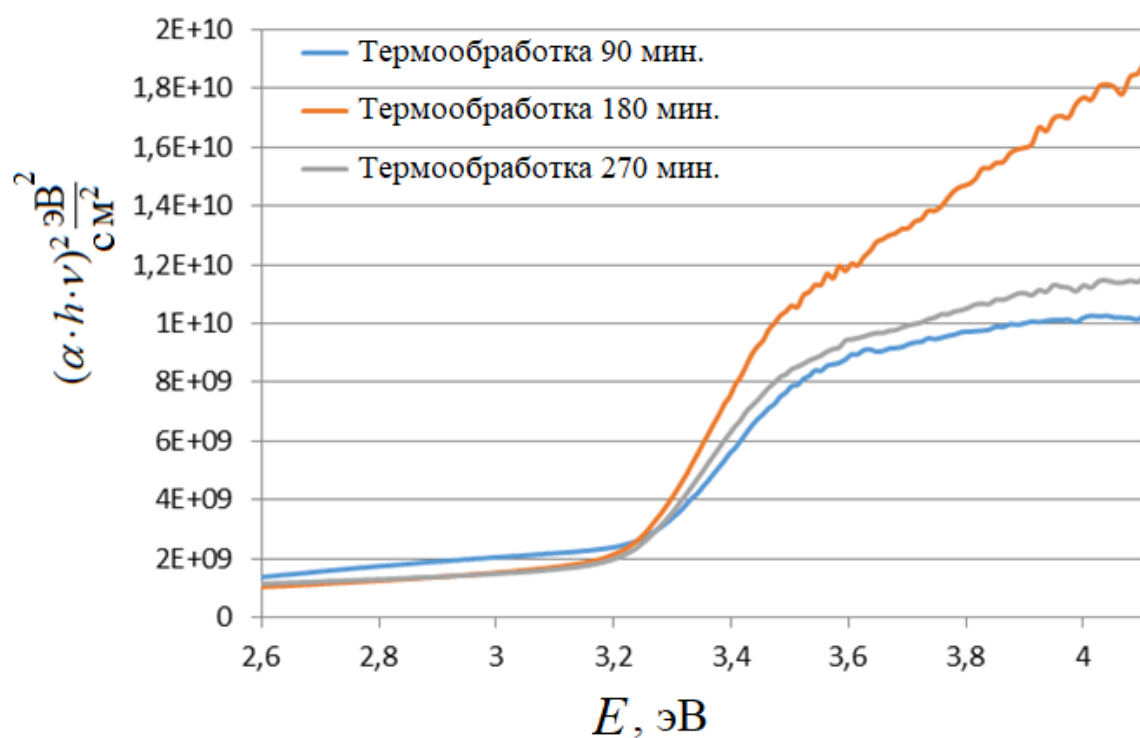


Рисунок 4 – Спектры поглощения образцов, полученных при термообработке

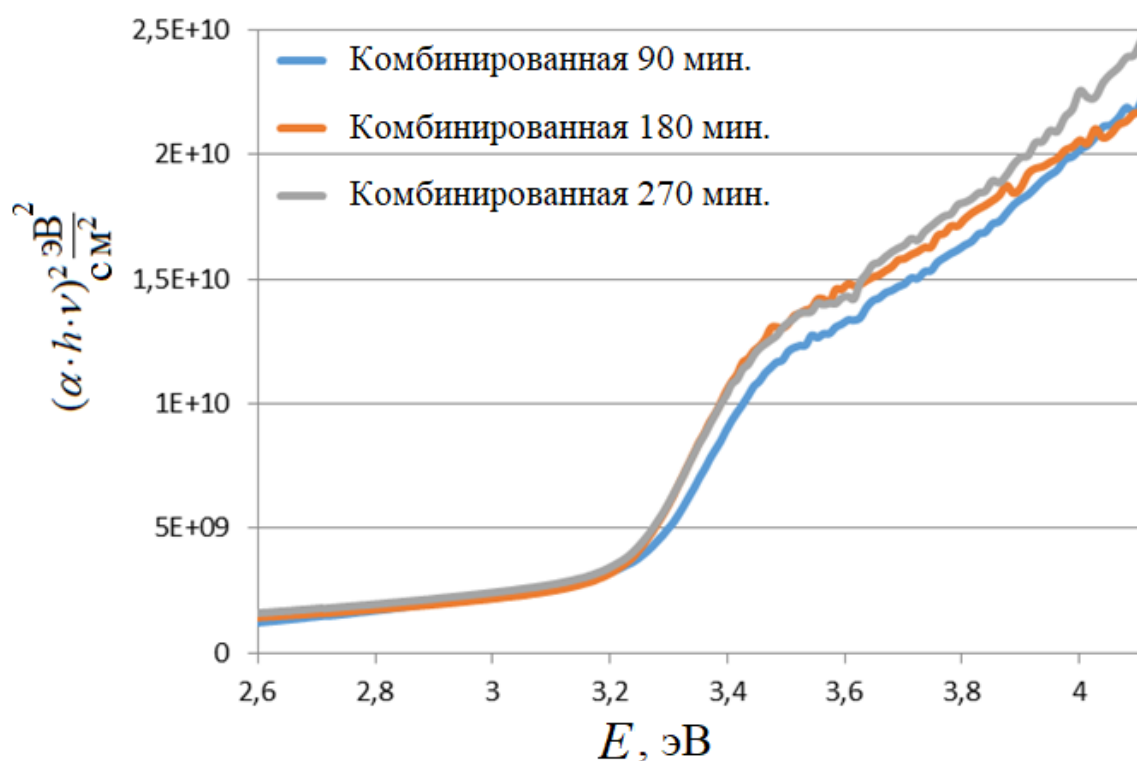


Рисунок 5 – Спектры поглощения образцов, полученных при комбинированной обработке

Анализ результатов показывает, что продолжительность термического воздействия слабо влияет на оптическую ширину запрещенной зоны, ее значение составляет 3,15-3,16 эВ. Это коррелирует с нашими представлениями о формировании ядер нанокристаллов на этапах созревания золя, предшествующих нанесению его на подложку, и слабому влиянию на них при изменении времени термической обработки.

Рост времени комбинированной обработки, напротив, приводит к монотонному уменьшению оптической ширины запрещенной зоны от 3,16 до 3,13 эВ. При условии укрупнения монокристаллов это говорит о росте его дефектности и формировании разрешенных состояний в запрещенной зоне. Это, вероятно, происходит при укрупнении наночастиц и «зашивании» в их объем примесей и дефектов, содержащихся на поверхности их предшественников.

3.2 Исследование влияния условий получения образцов на зонную структуру

На рисунке 6 показаны результаты исследования ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии для образцов, полученных при термообработке с использованием рентгеновского фотоэлектронного спектрометра *Escalab 250Xi*

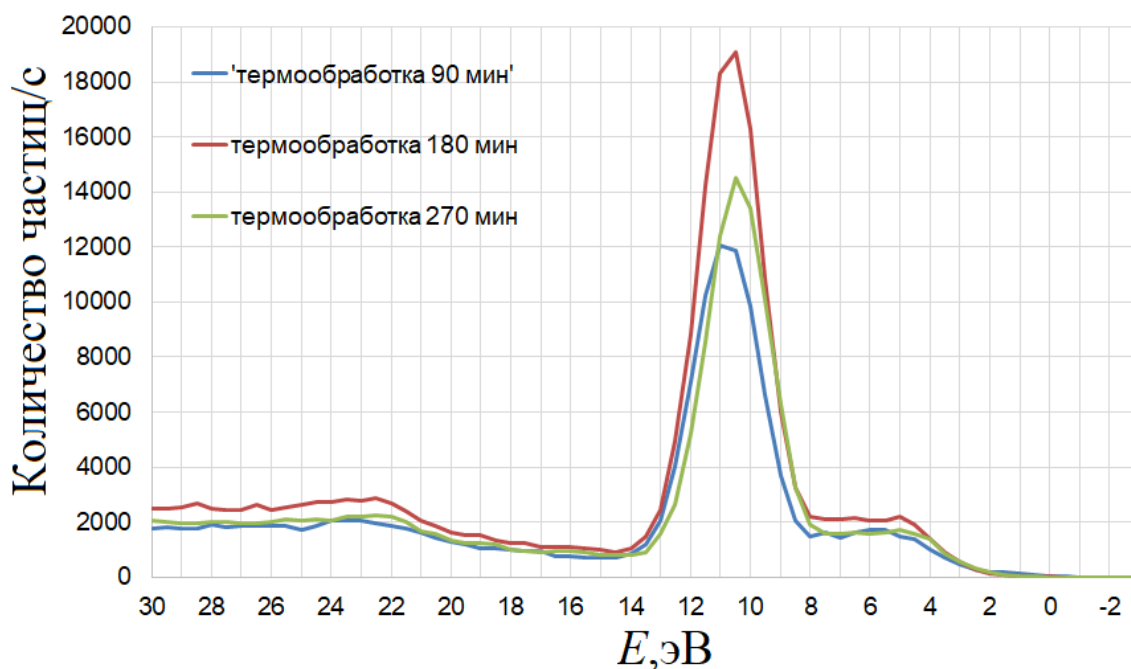


Рисунок 6 – Результаты UPS образцов, при термообработке

На рисунке 7 показаны результаты исследования ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии для образцов, полученных при комбинированной обработке с использованием рентгеновского фотоэлектронного спектрометра *Escalab 250Xi*

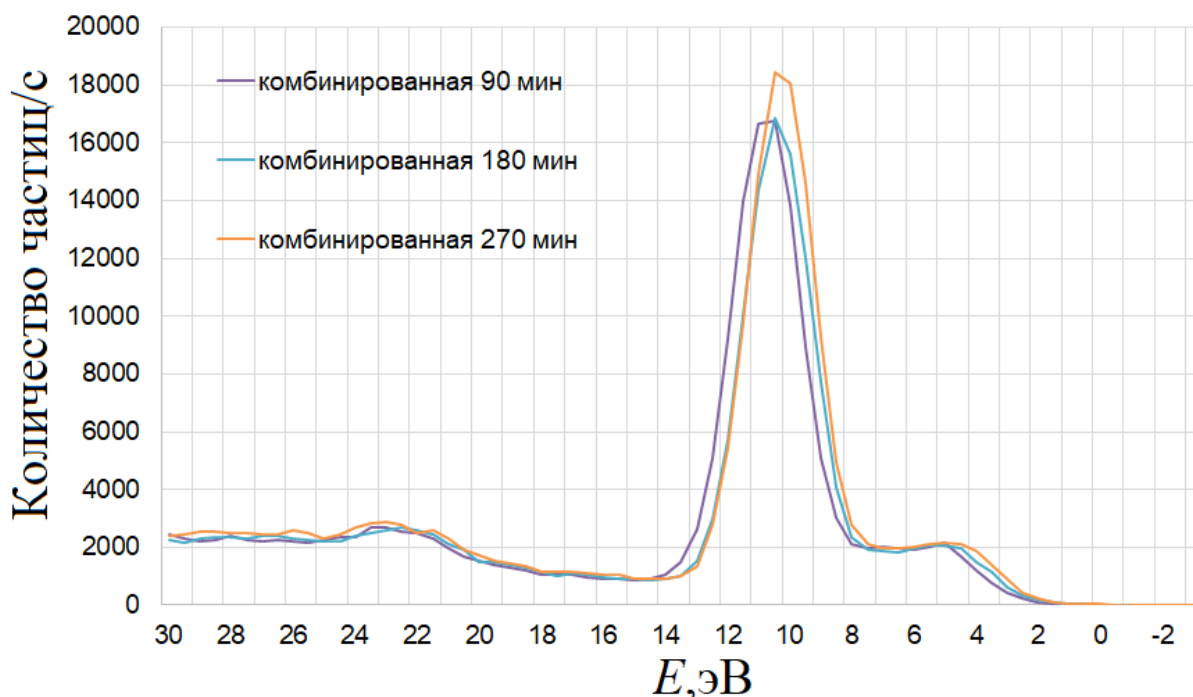


Рисунок 7 – Результаты UPS образцов, при комбинированной обработке

Используя данные УФЭС можно получить данные о зонной структуре (рисунок 8).

Чтобы получить данные о структуре, необходимо, аппроксимировать прямой линией часть второго пика, уходящего в ноль, до пересечения с осью абсцисс. Необходимо провести перпендикуляр, который пересекается с этой линией. Полученное значение является энергией соответствующей потолку валентной зоны E_V . Уровень Ферми соответствует нулю энергии. Для получения энергии соответствующей дну зоны проводимости E_C , необходимо, на координатной прямой, от значения потолка валентной зоны E_V , отложить значение запрещенной зоны, взятое из таблицы 1. Для определения энергии, соответствующей уровню вакуума E_0 , необходимо аппроксимировать левую часть первого пика, до пересечения с осью абсцисс, опущенный перпендикуляр будет соответствовать данному уровню.

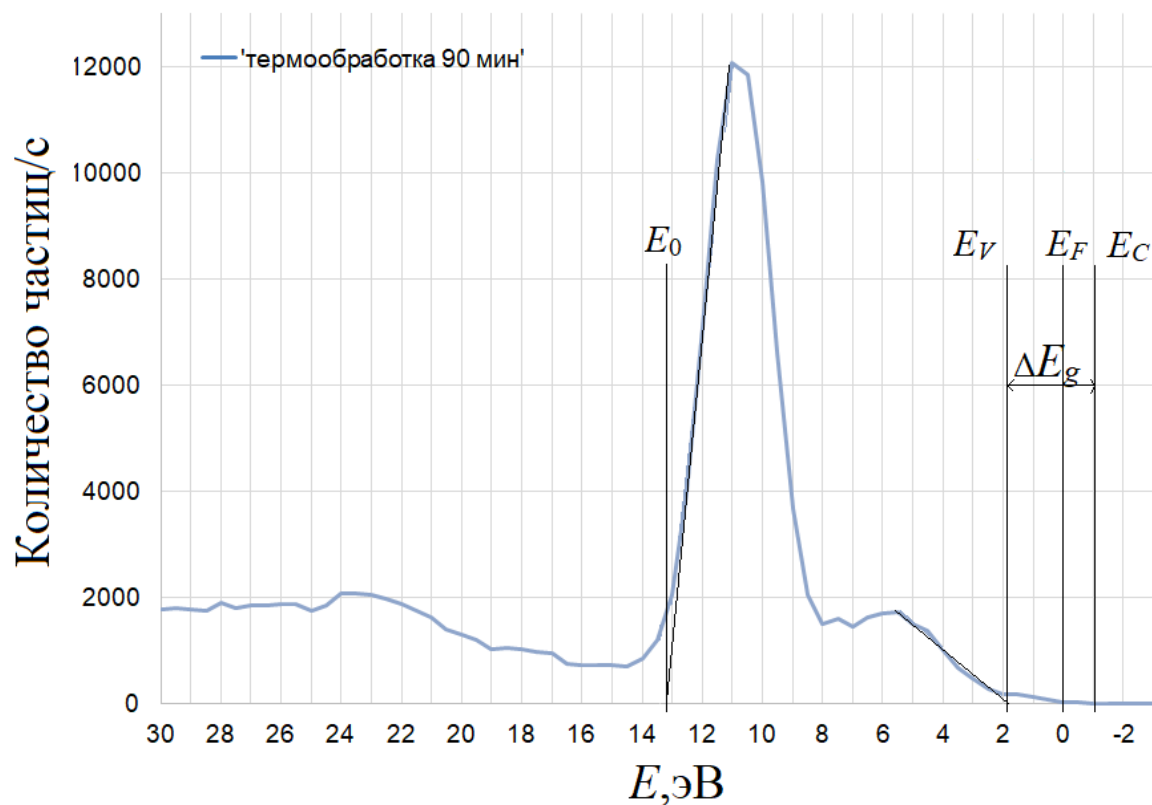


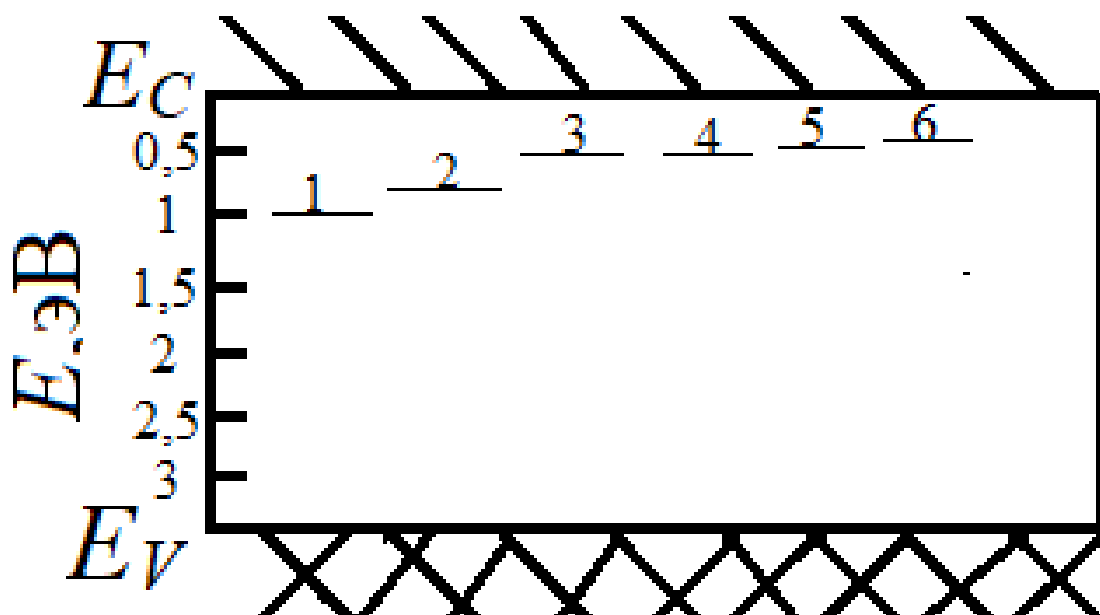
Рисунок 8 – Результаты UPS образца, при термообработке 90 мин.
с указанием параметров E_V , E_C , E_0 , ΔE_g , E_F

Используя ранее описанный алгоритм, были вычислены и занесены в таблицу 2 данные по уровням энергий зонной структуры образцов.

Таблица 2 – Данные по параметрам зонной структуры образцов

Образец	E_V , эВ	ΔE_g , эВ	E_C , эВ	E_0 , эВ
Термообработка 90 мин.	2.15	3.15	1	13.2
Термообработка 180 мин.	2.4	3.16	0,76	13.0
Термообработка 270 мин.	2.6	3.16	0,56	13.4
Комбинированная 90 мин.	2.6	3.16	0,56	13.05
Комбинированная 180 мин.	2.65	3.15	0,5	13.3
Комбинированная 270 мин.	2.55	3.13	0,48	13.0

Для большей наглядности изменения энергии Ферми, необходимо, произвести сдвиг, за 0 энергии отсчета взята E_C (рисунок 9).



- 1– Термообработка 90 мин.; 2–Термообработка 180 мин.;
 3 – Термообработка 270 мин.; 4 – Комбинированная 90 мин.;
 5 – Комбинированная 180 мин.; 6 – Комбинированная 270 мин.

Рисунок 9 – Влияние термообработки и комбинированной обработки на положения энергии Ферми относительно дна зоны проводимости

Время комбинированной обработки практически не влияет на положение уровня Ферми образцов относительно дна зоны проводимости, его величина составляет 0,56 – 0,48 эВ. Увеличение времени термической обработки способствует монотонному приближению уровня Ферми к дну зоны проводимости в диапазоне энергий 1,0 – 0,56 эВ.

Это позволяет сделать вывод, что концентрация электронов (все образцы *n*-типа) практически не меняется с течением комбинированной обработки, а увеличение продолжительности термического отжига приводит к её росту, причём через 270 мин. её величина сравнивается с величиной для образцов, обработанных комбинированно в течение 90 мин. Это предоставляет возможность трёхкратного сокращения времени низкотемпературного отжига при его комбинации с дополнительным воздействием ультрафиолетового облучения для достижения тех же электрофизических и физико-химических параметров плёнок ZnO.

4 Техника безопасности и охрана труда работника лаборатории

4.1 Анализ опасных и вредных факторов, воздействующих на работника лаборатории

Опасные и вредные производственные факторы по природе возникновения делятся на следующие группы:

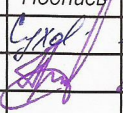
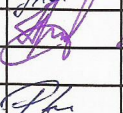
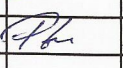
- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические.

В помещении лаборатории на работника могут негативно действовать следующие физические факторы:

- повышенная или пониженная температура воздуха;
- чрезмерная запыленность и загазованность воздуха;
- повышенная или пониженная влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочего места;
- превышающий допустимые нормы шум;
- повышенный уровень ионизирующего излучения;
- повышенный уровень электромагнитных полей;
- повышенный уровень статического электричества;
- опасность поражения электрическим током;
- блеклость экрана дисплея.

К химически опасным факторам, постоянно действующим на человека относятся следующие:

- пары вредных веществ;
- возникновение, в результате ионизации воздуха при работе компьютера, активных частиц.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ					
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Техника безопасности и охрана труда работника лаборатории			Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Сухов И.В.		29.05.23						37	56
Пров.	Пронин И.А.		29.05.23							
Н.контр.	Рыжова Т.Н.		29.05							
Утв.										
								гр. 19ПД1		

Биологические вредные производственные факторы в данном помещении отсутствуют.

К психологически вредным факторам, воздействующим на работника лаборатории в течение его рабочей смены можно отнести следующие:

- нервно - эмоциональные перегрузки;
- умственное напряжение;
- перенапряжение зрительного анализатора.

Рассмотрим эти факторы более подробно.

4.2 Микроклимат рабочей зоны работника лаборатории

Рабочее место работника лаборатории должно удовлетворять следующим нормам:

1. Общие требования безопасности.
2. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562–96.
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03, поскольку используется ПЭВМ.
4. Освещению СНиП 23–05–95. ГОСТ Р МЭК 61140–2000.
5. “Защита от поражения электрическим током. ГОСТ Р МЭК 60536–2–2001.
6. “Классификация электротехнического и электронного оборудования по способу защиты от поражения электрическим током”. ГОСТ 14254-96.
7. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками. СНиП 23–05–95.
8. Строительные нормы и правила Российской Федерации.

Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Лаборатория является помещением I категории (выполняются легкие физические работы), поэтому должны соблюдаться следующие требования:

- оптимальная температура воздуха – 22° С (допустимая - 20-24° С);
- оптимальная относительная влажность – 40 - 60% (допустимая - не более 75%);

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

– скорость движения воздуха не более 0.1м/с.

Для создания и автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

4.3 Освещение рабочего места. Воздействие шума на работника лаборатории. Защита от шума

Оборудование рабочего места должно удовлетворять нормам по освещенности рабочего места (СНиП 23–05–95 Естественное и искусственное освещение.)

Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники и лабораторных приборов, использующие экран для отображения информации, имеют следующие недостатки:

- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;
- отражение экрана.

В связи с тем, что естественное освещение слабое, на рабочем месте должно применяться также искусственное освещение.

В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является лаборатория, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры, различные механические приводы или периферийное оборудование для ЭВМ (плоттеры, принтеры и др). Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказывается на эмоциональном состоянии персонала.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБ. Для того, чтобы добиться этого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дБ);
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- рациональная планировка помещения.

Защиту от шума следует выполнять в соответствии с ГОСТ 12.1.003-03, а звукоизоляция ограждающих конструкций должна отвечать требованиям Санитарных норм СН 2.2.4/2.1.8.562–96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий".

4.4 Опасность повышенного уровня напряженности электромагнитного поля

Электромагнитные поля, характеризующиеся напряженностями электрических и магнитных полей, наиболее вредны для организма человека. Основным источником этих проблем, связанных с охраной здоровья людей, использующих в своей работе автоматизированные информационные системы на основе персональных компьютеров, являются дисплеи (мониторы), особенно дисплеи с электронно-лучевыми трубками. Они представляют собой источники наиболее вредных излучений, неблагоприятно влияющих на здоровье работника.

ПЭВМ являются источниками таких излучений как:

- мягкого рентгеновского;
- ультрафиолетового 200-400 нм;
- видимого 400-700 нм;
- ближнего инфракрасного 700-1050 нм;

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

- радиочастотного 3 кГц-30 МГц;
- электростатических полей.

Ультрафиолетовое излучение полезно в небольших количествах, но в больших дозах приводит к дерматиту кожи, головной боли, рези в глазах. Инфракрасное излучение приводит к перегреву тканей человека (особенно хрусталика глаза), повышению температуры тела. Уровни напряженности электростатических полей должны составлять не более 20 кВ/м. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В. При повышенном уровне напряженности полей следует сократить время работы за компьютером, делать пятнадцатиминутные перерывы после каждых полутора часов работы и применять защитные экраны. Защитный экран, изготавливаемый из мелкой сетки или стекла, собирает на себе электростатический заряд. Для снятия заряда экран монитора заземляют. Проблему повышенного электромагнитного поля можно решить кардинально – использовать жидкокристаллические мониторы, но из-за их дороговизны их внедрение происходит медленно.

Может возникнуть опасность по уровням напряженности электромагнитного поля. На расстоянии 5-10 см от экрана и корпуса монитора уровни напряженности могут достигать 140 В/м по электрической составляющей, что значительно превышает допустимые значения СанПиН 2.2.4.1191-03 "Электромагнитные поля в производственных условиях"

Для предупреждения внедрения опасной техники все дисплеи должны проходить испытания на соответствие требованиям безопасности (например, международные стандарты *MRP 2*, *TCO 99*).

4.5 Электробезопасность

Питание лабораторных измерительных комплексов и ПЭВМ осуществляется от трехфазной сети напряжением 220 В и частотой 50 Гц с заземленной нейтралью. Помещение лаборатории, согласно ПУЭ 1.1.13, относится к помещениям без повышенной опасности: влажность воздуха менее 75%, нормальная

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						41
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

температура воздуха, отсутствие технологической токопроводящей пыли, отсутствие токопроводящих полов, и отсутствие возможности одновременного прикосновения к корпусу измерительных комплексов или ПЭВМ и металлическим конструкциям, имеющим соединение с землей.

Электробезопасность в помещении лаборатории обеспечивается техническими способами и средствами защиты, а также организационными и техническими мероприятиями.

Основные причины поражения человека электрическим током на рабочем месте:

1. Прикосновение к металлическим нетоковедущим частям (корпусу, периферии компьютера), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

2. Нерегламентированное использование электрических приборов.

3. Отсутствие инструктажа сотрудников по правилам электробезопасности.

Для защиты от поражения электрическим током все токоведущие части защищены от случайных прикосновений кожухами.

Электробезопасность обеспечивается в соответствии с ГОСТ Р МЭК 61140–2000 “Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи”. Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Так как все токоведущие части установок изолированы, то случайное прикосновение к токоведущим частям исключено.

В лаборатории используется трехфазная сеть с заземленной нейтралью. Зануление корпусов установок, источников питания, корпуса ЭВМ обеспечено подведением зануляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно ПУЭ для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Основным организационным мероприятием является инструктаж и обучение безопасным методам труда, а так же проверка знаний правил

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

безопасности и инструкций в соответствии с занимаемой должностью применительно к выполняемой работе.

При проведении незапланированного и планового ремонта лабораторной техники выполняются следующие действия:

- отключение установки от сети;
- отключение установки от сторонних источников тока;
- проверка отсутствия напряжения.

После выполнения этих действий проводится ремонт неисправного оборудования. Если ремонт проводится на токоведущих частях, находящихся под напряжением, то выполнение работы проводится не менее чем двумя лицами с применением электрозащитных средств.

4.6 Пожаробезопасность

Степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека. Пожаро- и взрывобезопасность должны обеспечиваться ГОСТ 12.1.004–91 "Пожарная безопасность. Общие требования". Здание, в котором находится лаборатория, по пожарной опасности строительных конструкций относится к категории К1 (малопожароопасное), поскольку здесь присутствуют горючие (книги, документы, мебель, оргтехника и т.д.) и трудносгораемые вещества (сейфы, различное оборудование и т.д.), которые при взаимодействии с огнем могут гореть без взрыва. (НПБ 105–95 Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности).

По конструктивным характеристикам здание можно отнести к зданиям с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, где для перекрытий допускается использование деревянных конструкций, защищенных штукатуркой или трудногорючими листовыми, а также плитными материалами. Следовательно, степень огнестойкости здания можно определить, как третью (III).

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Помещение лаборатории по функциональной пожарной опасности относится к классу Ф 4.2 – высшие учебные заведения, учреждения повышения квалификации.

Пожар в лаборатории, может привести к очень неблагоприятным последствиям (потеря ценной информации, порча имущества, гибель людей и т.д.), поэтому необходимо: выявить и устранить все причины возникновения пожара; разработать план мер по ликвидации пожара в здании; план эвакуации людей из здания.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробоем изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожаропредупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности – ликвидация возможных источников воспламенения.

В лаборатории источниками воспламенения могут быть:

- неисправное электрооборудование, неисправности в электропроводке, электрических розетках и выключателях. Для исключения возникновения пожара

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

по этим причинам необходимо вовремя выявлять неисправности, проводить плановый осмотр и своевременно устранять все неисправности;

– неисправные электроприборы. Необходимые меры для исключения пожара включают в себя своевременный ремонт электроприборов, качественное исправление поломок, не использование неисправных электроприборов;

– обогревание помещения электронагревательными приборами с открытыми нагревательными элементами. Открытые нагревательные поверхности могут привести к пожару, так как в помещении находятся бумажные документы и справочная литература в виде книг, пособий, а бумага – легковоспламеняющийся предмет. В целях профилактики пожара нельзя использовать открытые обогревательные приборы в помещении лаборатории;

– короткое замыкание в электропроводке. В целях уменьшения вероятности возникновения пожара вследствие короткого замыкания необходимо, чтобы электропроводка была скрытой;

– попадание в здание молнии. В летний период во время грозы возможно попадание молнии, вследствие чего возможен пожар. Во избежание этого рекомендуется установить на крыше здания молниеотвод;

– несоблюдение мер пожарной безопасности и курение в помещениях, для этого не предназначенных, также может привести к пожару. Для устранения возгорания в результате курения в помещении лаборатории нужно категорически запретить курение, а разрешить только в строго отведенном для этого месте.

В целях предотвращения пожара необходимо проводить с инженерами, работающими в лаборатории, противопожарный инструктаж, на котором ознакомить работников с правилами противопожарной безопасности, а также обучить использованию первичных средств пожаротушения.

В случае возникновения пожара необходимо отключить электропитание, вызвать по телефону пожарную команду, эвакуировать людей из помещения согласно плану эвакуации, и приступить к ликвидации пожара огнетушителями. При наличии небольшого очага пламени можно воспользоваться подручными средствами с целью прекращения доступа воздуха к объекту возгорания.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были достигнуты следующие результаты:

1. Разработана модифицированная методика получения тонких наноструктурированных покрытий для устройств гибкой электроники.

2. Обеспечена возможность получения кристаллических пленок при температурах, не превышающих 180 °С с дополнительным УФ воздействием в процессе синтеза.

3. Исследованы образцы методами растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового анализа, оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии.

4. Обеспечена возможность осаждения пленок на гибкие подложки.

В работе исследована эволюция структурных электрофизических параметров наноструктурированных пленок оксида цинка, полученных золь-гель методом при термической обработке и комбинированной обработке, включающей термическое и УФ воздействия. Установлено, что использование термической обработки пленок приводит к формированию крупных агрегатов (20-30 мкм), имеющих тенденцию к укрупнению с увеличением продолжительности обработки, при этом структура материала на низком уровне иерархии, определяемая рентгеновским фазовым анализом, а также оптическая ширина запрещенной зоны практически не зависит от времени обработки. Вероятно, это связано с формированием наночастиц материала, ответственных за эти свойства на этапах созревания золя, предшествующих его нанесению на подложки. Введение в систему дополнительного УФ облучения приводит к разрушению агрегатов, сформированных на ранних этапах, и формированию рентгеноаморфных частиц ZnO при обработке в течение 90 минут. Увеличение времени обработки приводит к «сшиванию» частиц, увеличению размеров монокристаллов и одновременному росту концентрации точечных дефектов, приводящих к уменьшению оптической ширины запрещенной зоны. Таким образом, комбинированная УФ и термическая

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						46
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

обработки пленок позволяет, с одной стороны, формировать материал с нанокристаллической структурой, а с другой стороны – управлять его дефектностью.

Также установлено, что применение низкотемпературного отжига при его комбинации с дополнительным воздействием ультрафиолетового облучения трёхкратно сокращает время для достижения тех же электрофизических и физико-химических параметров плёнок ZnO, что и при 270 мин. термообработки. Эти результаты имеют перспективу применения при изготовлении термоэлектрических батарей, газовых сенсоров, катализаторов и фотокатализаторов.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Singh H. P., Kumar P. *Developments in the human machine interface technologies and their applications: a review* // *Journal of Medical Engineering & Technology*. – 2021. – Vol. 45. – №. 7. – P. 552-573.
2. Афанасьев П., Бохов О., Лучинин В. Научно-технологический комплекс экспресс прототипирования изделий гибкой электроники и фотоники // *Нано индустрия*. – 2013. – №. 6. – С. 94-104.
3. 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.
4. Moezzi A., McDonagh A. M., Cortie M. B. *Zinc oxide particles: Synthesis, properties and applications* // *Chemical engineering journal*. – 2012. – Vol. 185. – P. 1-22.
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. Zhang X. Q. et al. *Room temperature ultraviolet lasing action in high-quality ZnO thin films* // *Journal of luminescence*. – 2007. – Vol. 122. – P. 828-830.
8. Chu S. et al. *Electrically pumped ultraviolet ZnO diode lasers on Si* // *Applied Physics Letters*. – 2008. – Vol. 93. – №. 18. – P. 181106.
9. Krishnamoorthy S., Iliadis A. A. *Properties of high sensitivity ZnO surface acoustic wave sensors on SiO₂/(100) Si substrates* // *Solid-State Electronics*. – 2008. – Vol. 52. – №. 11. – P. 1710-1716.
10. 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.
11. Dietl T. et al. *Zener model description of ferromagnetism in zinc-blende magnetic semiconductors* // *science*. – 2000. – Vol. 287. – №. 5455. – P. 1019-1022.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

12. Wang H. T. et al. Hydrogen-selective sensing at room temperature with ZnO nanorods // *Applied Physics Letters*. – 2005. – Vol. 86. – №. 24. – P. 243503.
13. Phan D. T., Chung G. S. Surface acoustic wave hydrogen sensors based on ZnO nanoparticles incorporated with a Pt catalyst // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2012. – Vol. 161. – №. 1. – P. 341-348.
14. Özgür Ü. et al. an, V. Avrutin, S.-J. Cho, and H. Morkoç // *J. Appl. Phys.* – 2005. – Vol. 98. – P. 041301
15. Pimentel A. et al. Polycrystalline intrinsic zinc oxide to be used in transparent electronic devices // *Thin Solid Films*. – 2005. – Vol. 487. – № 1-2. – P. 212-215
16. 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.
17. Tsukazaki A. et al. Quantum Hall effect in polar oxide heterostructures // *Science*. – 2007. – Vol. 315. – №. 5817. – P. 1388-1391.
18. Tampo H. et al. Polarization-induced two-dimensional electron gases in ZnMgO/ZnO heterostructures // *Applied Physics Letters*. – 2008. – Vol. 93. – №. 20. – P. 202104.
19. Hwang H. Y. et al. Emergent phenomena at oxide interfaces // *Nature materials*. – 2012. – Vol. 11. – №. 2. – P. 103-113.
20. Borysiewicz M. A. ZnO as a functional material, a review // *Crystals*. – 2019. – Vol. 9. – №. 10. – P. 505.
21. Look D. C., Hemsky J. W., Sizelove J. R. Residual native shallow donor in ZnO // *Physical review letters*. – 1999. – Vol. 82. – №. 12. – P. 2552.
22. Look D. C. Recent advances in ZnO materials and devices // *Materials science and engineering: B*. – 2001. – Vol. 80. – №. 1-3. – P. 383-387.
23. Lany S., Zunger A. Anion vacancies as a source of persistent photoconductivity in II-VI and chalcopyrite semiconductors // *Physical Review B*. – 2005. – Vol. 72. – №. 3. – P. 035215.

24. Lany S., Zunger A. Dopability, intrinsic conductivity, and nonstoichiometry of transparent conducting oxides //Physical Review Letters. – 2007. – Vol. 98. – №. 4. – P. 045501.

25. Janotti A., Van de Walle C. G. New insights into the role of native point defects in ZnO //Journal of Crystal Growth. – 2006. – Vol. 287. – №. 1. – P. 58-65.

26. Janotti A., Van de Walle C. G. Native point defects in ZnO //Physical Review B. – 2007. – Vol. 76. – №. 16. – P. 165202.

27. Cuscó R. et al. Temperature dependence of Raman scattering in ZnO //Physical Review B. – 2007. – Vol. 75. – №. 16. – P. 165202.

28. Hu J., Gordon R. G. Textured aluminum-doped zinc oxide thin films from atmospheric pressure chemical-vapor deposition //Journal of Applied Physics. – 1992. – Vol. 71. – №. 2. – P. 880-890.

29. Ko H. J. et al. Ga-doped ZnO films grown on GaN templates by plasma-assisted molecular-beam epitaxy //Applied Physics Letters. – 2000. – Vol. 77. – №. 23. – P. 3761-3763.

30. Hu J., Gordon R. G. Electrical and optical properties of indium doped zinc oxide films prepared by atmospheric pressure chemical vapor deposition //MRS Online Proceedings Library (OPL). – 1992. – Vol. 283. – P. 891.

31. Wenas W. W. et al. Electrical and optical properties of boron-doped ZnO thin films for solar cells grown by metalorganic chemical vapor deposition //Journal of applied physics. – 1991. – Vol. 70. – №. 11. –P. 7119-7123.

32. Zhang S. B., Wei S. H., Zunger A. Intrinsic n-type versus p-type doping asymmetry and the defect physics of ZnO //Physical Review B. – 2001. – Vol. 63. – №. 7. – P. 075205.

33. Hofmann D. M. et al. Hydrogen: a relevant shallow donor in zinc oxide //Physical Review Letters. – 2002. – Vol. 88. – №. 4. – P. 045504.

34. Van de Walle C. G. Hydrogen as a cause of doping in zinc oxide //Physical review letters. – 2000. – Vol. 85. – №. 5. – P. 1012.

35. Nemanič V., Bogataj T. Outgassing of thin wall stainless steel chamber //Vacuum. – 1998. – Vol. 50. – №. 3-4. – P. 431-437.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

36. Ishikawa Y., Nemanič V. An overview of methods to suppress hydrogen outgassing rate from austenitic stainless steel with reference to UHV and EXV //Vacuum. – 2003. – Vol. 69. – №. 4. – P. 501-512.
37. Čížek J. et al. Origin of green luminescence in hydrothermally grown ZnO single crystals //Applied Physics Letters. – 2015. – Vol. 106. – №. 25. – P. 251902.
38. Doherty R. P. et al. Growth of nanostructured ZnO thin films on sapphire //Applied Physics A. – 2007. – Vol. 89. – P. 49-55.
39. Vayssieres L. Growth of arrayed nanorods and nanowires of ZnO from aqueous solutions //Advanced Materials. – 2003. – Vol. 15. – №. 5. – P. 464-466.
40. Kuo C. L., Kuo T. J., Huang M. H. Hydrothermal synthesis of ZnO microspheres and hexagonal microrods with sheetlike and platelike nanostructures //The Journal of Physical Chemistry B. – 2005. – Vol. 109. – №. 43. – P. 20115-20121.
41. Zhang W. et al. Facile construction of nanofibrous ZnO photoelectrode for dye-sensitized solar cell applications //Applied Physics Letters. – 2009. – Vol. 95. – №. 4. – P. 203.
42. Brayner R. et al. ZnO nanoparticles: synthesis, characterization, and ecotoxicological studies //Langmuir. – 2010. – Vol. 26. – №. 9. – P. 6522-6528.
43. 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.
44. Zhang H. et al. Self-assembly fabrication of 3D flower-like ZnO hierarchical nanostructures and their gas sensing properties //CrystEngComm. – 2012. – Vol. 14. – №. 5. – P. 1775-1782.
45. Chen C. et al. One-step synthesis of flower-like Au-ZnO microstructures at room temperature and their photocatalytic properties //Applied Physics A. – 2013. – Vol. 110. – P. 47-53.
46. Yano M. et al. Zinc oxide-based biosensors //physica status solidi c. – 2012. – Vol. 9. – №. 7. – P. 1570-1573.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

47. Borysiewicz M. A. et al. From porous to dense thin ZnO films through reactive DC sputter deposition onto Si (100) substrates // *physica status solidi (a)*. – 2012. – Vol. 209. – №. 12. – P. 2463-2469.

48. Gates B. D. Flexible electronics // *Science*. – 2009. – Vol. 323. – №. 5921. – P. 1566-1567.

49. Самарин А. Электроника, встроенная в одежду—технологии и перспективы // *Компоненты и технологии*. – 2007. – №. 69. – С. 221-228.

50. Das J., Khushalani D. Nonhydrolytic route for synthesis of ZnO and its use as a recyclable photocatalyst // *The Journal of Physical Chemistry C*. – 2010. – Vol. 114. – №. 6. – P. 2544-2550.

51. Zeng H. et al. ZnO-based hollow nanoparticles by selective etching: elimination and reconstruction of metal – semiconductor interface, improvement of blue emission and photocatalysis // *ACS nano*. – 2008. – Vol. 2. – №. 8. – P. 1661-1670.

52. Yuan J. et al. Synthesis of ZnO – Pt nanoflowers and their photocatalytic applications // *Nanotechnology*. – 2010. – Vol. 21. – №. 18. – P. 185606.

53. Zhang Y. et al. Decoration of ZnO nanowires with Pt nanoparticles and their improved gas sensing and photocatalytic performance // *Nanotechnology*. – 2010. – Vol. 21. – №. 28. – P. 285501.

54. Li P. et al. Au – ZnO hybrid nanopyramids and their photocatalytic properties // *Journal of the American Chemical Society*. – 2011. – Vol. 133. – №. 15. – P. 5660-5663.

55. Wang Q., Geng B., Wang S. ZnO/Au hybrid nanoarchitectures: wet-chemical synthesis and structurally enhanced photocatalytic performance // *Environmental science & technology*. – 2009. – Vol. 43. – №. 23. – P. 8968-8973.

56. 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.

57. Deng Q. et al. Ag nanoparticle decorated nanoporous ZnO microrods and their enhanced photocatalytic activities // *ACS Applied Materials & Interfaces*. – 2012. – Vol. 4. – №. 11. – P. 6030-6037.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						52
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

58. Komarneni S., Bruno M., Mariani E. Synthesis of ZnO with and without microwaves //Materials Research Bulletin. – 2000. – Vol. 35. – №. 11. – P. 1843-1847.

59. Zhang X. H. et al. Rational design and fabrication of ZnO nanotubes from nanowire templates in a microwave plasma system //The Journal of Physical Chemistry B. – 2003. – Vol. 107. – №. 37. – P. 10114-10118.

60. Shao Z. B. et al. Fabrication of nanometer-sized zinc oxide at low decomposing temperature //Journal of materials processing technology. – 2006. – Vol. 178. – №. 1-3. – P. 247-250.

61. Perez-Lopez O. W. et al. The catalytic behavior of zinc oxide prepared from various precursors and by different methods //Materials Research Bulletin. – 2005. – Vol. 40. – №. 12. – P. 2089-2099.

62. Zhang H. et al. Low temperature synthesis of flowerlike ZnO nanostructures by cetyltrimethylammonium bromide-assisted hydrothermal process //The Journal of Physical Chemistry B. – 2004. – Vol. 108. – №. 13. – P. 3955-3958.

63. Wang D., Song C. Controllable synthesis of ZnO nanorod and prism arrays in a large area //The Journal of Physical Chemistry B. – 2005. – Vol. 109. – №. 26. – P. 12697-12700.

64. Udawatte N. et al. Well-defined Au/ZnO nanoparticle composites exhibiting enhanced photocatalytic activities //ACS Applied Materials & Interfaces. – 2011. – Vol. 3. – №. 11. –P. 4531-4538.

65. 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.

66. 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.

67. Yong-Hoon Kim, Jae-Sang Heo, Tae-HyeongKim ,Sungjun Park, Myung-Han Yoon, Jiwan Kim , Min Suk Oh , Gi-Ra Yi, Yong-Young Noh& Sung Kyu Park. Macmillan Publishers Limited,133, (2012)DOI:10.1038/nature11434

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

68. Greczynski G., Hultman L. *A step-by-step guide to perform x-ray photoelectron spectroscopy* // *Journal of Applied Physics*. – 2022. – Vol. 132. – №. 1. – P. 011101.
69. Yeh J. J., Lindau I. *Atomic subshell photoionization cross sections and asymmetry parameters: $1 \leq Z \leq 103$* // *Atomic data and nuclear data tables*. – 1985. – Vol. 32. – №. 1. – P. 1-155.
70. Reed S. J. B. *Electron probe microanalysis* // *Microprobe techniques in the earth sciences*. – 1995. – P. 49-89.
71. Michette A. G., Buckley C. J. *X-ray Science and Technology*. – 1993.
72. 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. – C. 245-252.
73. Yates K., Barrie A., Street F. J. *A double-anode X-ray source for photoelectron spectroscopy* // *Journal of Physics E: Scientific Instruments*. – 1973. – Vol. 6. – №. 2. – P. 130.
74. 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.
75. Drummond I. W. *XPS: instrumentation and performance* // *Surface Analysis by Auger and X-Ray Photoelectron Spectroscopy*. – 2003. – Vol. 117-144.
76. Egelhoff Jr W. F. *Core-level binding-energy shifts at surfaces and in solids* // *Surface Science Reports*. – 1987. – Vol. 6. – №. 6-8. – P. 253-415.
77. Siegbahn K. *Atomic, molecular and solid state structure studied by means of electron spectroscopy* // *ESCA*. – 1967.
78. Hagström S., Nordling C., Siegbahn K. *Electron spectroscopy for chemical analyses* // *Physics Letters*. – 1964. – Vol. 9. – №. 3. – P. 235-236.
79. Fahlman A. et al. *Electron spectroscopy and chemical binding* // *Nature*. – 1966. – Vol. 210. – P. 4-8.
80. Ashcroft N. W., Mermin N. D. *Solid state physics*. – Cengage Learning, 2022.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

81. Ishii H. et al. Energy level alignment and interfacial electronic structures at organic/metal and organic/organic interfaces //Advanced materials. – 1999. – Vol. 11. – №. 8. – P. 605-625.

82. 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.

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

84. Lee D. H., Joannopoulos J. D. Surface states at unrelaxed ZnO (1010) //Journal of Vacuum Science and Technology. – 1980. – Vol. 17. – №. 5. – P. 987-988.

85. Rössler U. Energy bands of hexagonal II-VI semiconductors //Physical Review. – 1969. – Vol. 184. – №. 3. – P. 733.

86. Rössler U. Energy bands of hexagonal II-VI semiconductors //Physical Review. – 1969. – Vol. 184. – №. 3. – P. 733.

87. Zwicker G., Jacobi K. // Sol. St. Com. – 1985. – Vol. 15. – №. 54. – P. 701–704.

88. Yang C. K., Dy K. S. Band structure of ZnO using the LMTO method //Solid state communications. – 1993. – Vol. 88. – №. 6. – P. 491-494.

89. Leontiev S. A. et al . Detailed studies of the zonal structure of zinc oxide using XPS and UPS // Journal of Structural Chemistry. - 1997. – Vol. 38. – P. 725-731.

90. Pronin I. A. et al. Theoretical and experimental investigations of ethanol vapour sensitive properties of junctions composed from produced by sol–gel technology pure and Fe modified nanostructured ZnO thin films //Sensors and Actuators A: Physical. – 2014. – Vol. 206. – P. 88-96.

91. Pronin I. A., Goryacheva M. V. Principles of structure formation and synthesis models produced by the sol–gel method SiO₂–MexOy nanocomposites //Surface and Coatings Technology. – 2013. – Vol. 235. – P. 835-840.

92. Singh P. et al. In situ high temperature XRD studies of ZnO nanopowder prepared via cost effective ultrasonic mist chemical vapour deposition //Bulletin of Materials Science. – 2008. – Vol. 31. – P. 573-577.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						55
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

93. Holzwarth U., Gibson N. The Scherrer equation versus the 'Debye-Scherrer equation' //Nature nanotechnology. – 2011. – Vol. 6. – № 9. – P. 534-534.

94. Natsume Y., Sakata H. Zinc oxide films prepared by sol-gel spin-coating //Thin solid films. – 2000. – Vol. 372. – №. 1-2. – P. 30-36.

95. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

96. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. М., 1979.

97. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования, М., 1992.

98. СНиП 23–05–95 - Строительные нормы и правила Российской Федерации

99. ГОСТ 12.1.003–03. Шум. Общие требования безопасности

100.СН 2.2.4/2.1.8.562–96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий".

101.СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. М. 1997.

102.Правила устройства электроустановок (ПУЭ) (шестое издание, переработанное и дополненное, с изменениями.

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Задание на выпускную квалификационную работу

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						57
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

«Утверждаю»
Зав. кафедрой НИМЭ
Пронин И.А.
(фамилия, инициалы)
«9» июня 2023 г.

З А Д А Н И Е
на бакалаврскую работу

1. Студента гр. 19ПД1 факультета информационных технологий и электроники

Направление подготовки 11.03.04. «Электроника и нанoeлектроника»

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Сухов Иван Викторович

(фамилия, имя, отчество)

2. Руководитель Пронин Игорь Александрович

(фамилия, имя, отчество)

3. Тема бакалаврской работы: Исследование проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники

Тема утверждена приказом ПГУ № 359 а/о от «04» апреля 2023 г.

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

1.Разработать модифицированную методику получения тонких наноструктурированных покрытий для устройств гибкой электроники.

2.Обеспечить возможность получения кристаллических пленок при температурах не превышающих 180 °С с дополнительным УФ воздействием в процессе синтеза.

3.Исследовать образцы методами растровой электронной микроскопии, рентгеновского фазового анализа, оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне, ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии.

4.Обеспечить возможность осаждения пленок на гибкие подложки.

Основные характеристики:

– метод получения: золь-гель технологии

– материал пленки: оксид цинка

–диапазон размера кристаллитов: (6.7-10.5) нм

–оптическая ширина запрещенной зоны: (3.13-3.16)эВ

5. Объем и содержание основной части бакалаврской работы

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

1. Обзор современной литературы по использованию наноструктурированных материалов в гибкой электронике

1.1 Гибкая электроника

1.2 Особенность получения пленок оксида цинка комбинированным ультрафиолетовым и термическим отжигом

1.3 Особенности исследования структуры валентной зоны пленок оксида цинка методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии.

2.Получение пленок оксида цинка низкотемпературным термическим ультрафиолетовым отжигом для гибкой электроники. Исследование особенностей структуры и фазового состава полученных образцов

2.1 Разработка методики получения образцов. Изготовление лабораторных образцов

2.2 Исследование образцов методом растровой электронной микроскопии

2.3 Исследование образцов методом рентгеновского фазового анализа

2.4 Анализ влияния времени комбинированного отжига на структуру и фазовый состав образцов

3.Исследование особенностей зонной структуры образцов

3.1 Исследование образцов методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии и методом оптической спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазоне

3.2 Исследование влияния условий получения образцов на зонную структуру

4.Техника безопасности и охрана труда работника лаборатории

4.1 Анализ опасных и вредных факторов, воздействующих на работника лаборатории

4.2 Микроклимат рабочей зоны работника лаборатории

4.3 Освещение рабочего места. Воздействие шума на работника лаборатории. Защита от шума

4.4 Опасность повышенного уровня напряженности электромагнитного поля

4.5 Электробезопасность

4.6 Пожаробезопасность

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

Титульный лист. Слайд 1

Цель работы. Слайд 2

Методика синтеза. Слайд 3

Исследование образцов методом растровой электронной микроскопии. Слайд 4

Исследование образцов методом рентгеновского фазового анализа. Слайд 5

Исследование образцов методом оптической спектроскопии. Слайд 6

Результаты оптической спектроскопии и рентгеновского фазового анализа. Слайд 7

Исследование образцов методом ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии. Слайд 8

Расчет параметров зонной структуры используя результаты метода ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии . Слайд 9

Результаты расчета параметров зонной структуры используя результаты метода ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии. Слайд 10

Структура валентной зоны. Слайд 11

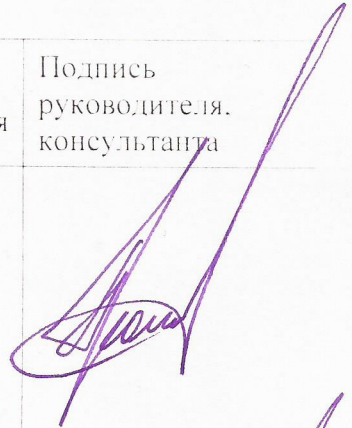
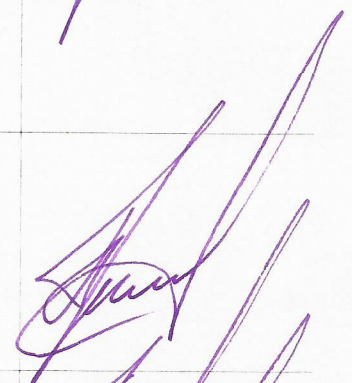
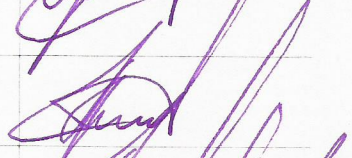
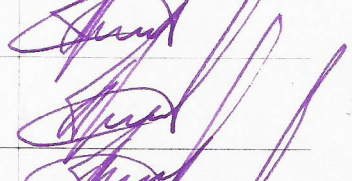
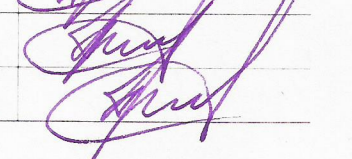
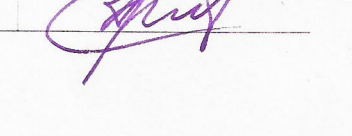
Сведения о публикациях. Слайд 12.

Спасибо за внимание! Слайд 13

6. Консультанты и содержание дополнительных разделов

6.1

7. Календарный график по выполнению бакалаврской работы

Наименование этапов работы	Объем работы	Срок выполнения	Подпись руководителя, консультанта
Анализ современной литературы включающая в себя обзор: гибкой электроники, особенностей получения пленок оксида цинка комбинированным ультрафиолетовым и термическим отжигом, особенностей исследования структуры валентной зоны пленок оксида цинка метод ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопии	30%	10.06.2023	
Получение пленок оксида цинка низкотемпературным термическим ультрафиолетовым отжигом для гибкой электроники. Исследование особенностей структуры и фазового состава полученных образцов	25%	11.06.2023	
Исследование особенностей зонной структуры образцов	20%	12.06.2023	
Техника безопасности и охрана труда работника лаборатории	15%	13.06.2023	
Графическая часть	5%	14.06.2023	
Оформление пояснительной записки	5%	14.06.2023	

Руководитель бакалаврской работы

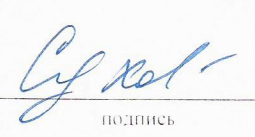

подпись

Пронин И.А.
фамилия, инициалы

Дата выдачи задания

« 9 » июня 2023 г.

Задание к исполнению принял

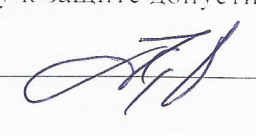

подпись

Сухов И.В.
фамилия, инициалы

« 9 » июня 2023 г.

Бакалаврскую работу к защите допустить

Декан факультета


подпись

Кревчик В.Д.
фамилия, инициалы

« 15 » июня 2023 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

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

					ПГУ 2. 11.03.04. 018 ПЗ	Лист
						61
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

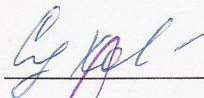
Ректору Пензенского государственного
университета Гулякову А.Д.
студента 4 курса ФИТЭ очной формы
обучения
Сухова Ивана Викторовича

ЗАЯВЛЕНИЕ

Я, Сухов Иван Викторович, студента 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 проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники», 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.

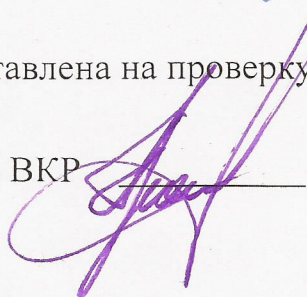
Я ознакомлен с действующим Стандартом университета «Выпускная квалификационная работа обучающихся по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета и программам магистратуры», согласно которому обнаружение плагиата является основанием для недопуска ВКР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



« 15.06.2023 »

ВКР представлена на проверку « 15.06.2023 »

Руководитель ВКР



Пронин И.А.

проверки на оригинальность в системе «Антиплагиат.ВУЗ» выпускной бакалаврской работы на тему *«Исследование проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники»*

студента 4 курса Сухова И.В.

направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника,

профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника»

Руководитель ВКР Пронин И.А.

[illegible]

Руководитель ВКР

« 13 » 06 2023 год

попысь

Пронин И.А.
фамилия, инициалы

СПРАВКА

Пензенский государственный университет

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНА В СИСТЕМЕ АНТИПЛАГИАТ.ВУЗ

Автор работы: Сухов Иван Викторович
Самоцитирование
рассчитано для: Сухов Иван Викторович
Название работы: Исследование проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники
Тип работы: Выпускная квалификационная работа
Подразделение: Кафедра "Нано- и микроэлектроника"

РЕЗУЛЬТАТЫ

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

СОВПАДЕНИЯ	43.32%	СОВПАДЕНИЯ	43.32%
ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	53.23%	ОРИГИНАЛЬНОСТЬ	53.23%
ЦИТИРОВАНИЯ	3.45%	ЦИТИРОВАНИЯ	3.45%
САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%	САМОЦИТИРОВАНИЯ	0%

ДАТА ПОСЛЕДНЕЙ ПРОВЕРКИ: 15.06.2023

ДАТА И ВРЕМЯ КОРРЕКТИРОВКИ: 15.06.2023 08:40

Структура документа: Проверенные разделы: основная часть с.1-2, 4-47, содержание с.3
Модули поиска: ИПС Адилет; Библиография; Сводная коллекция ЭБС; Интернет Плюс*; Сводная коллекция РГБ; Цитирование; Переводные заимствования (RuEn); Переводные заимствования по eLIBRARY.RU (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Гарант: аналитика; Переводные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Переводные заимствования по Интернету (EnRu); Переводные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Переводные заимствования издательства Wiley; eLIBRARY.RU; СПС ГАРАНТ: аналитика; СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация; IEEE; Медицина; Диссертации НББ; Коллекция НБУ; Перефразирования по eLIBRARY.RU; Перефразирования по СПС ГАРАНТ: аналитика; Перефразирования по Интернету; Перефразирования по Интернету (EN); Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в английском сегменте; Перефразированные заимствования по коллекции Интернет в русском сегменте; Перефразирования по коллекции

Работу проверил: Головяшкин Алексей Николаевич

ФИО проверяющего

Дата подписи: 15.06.2023



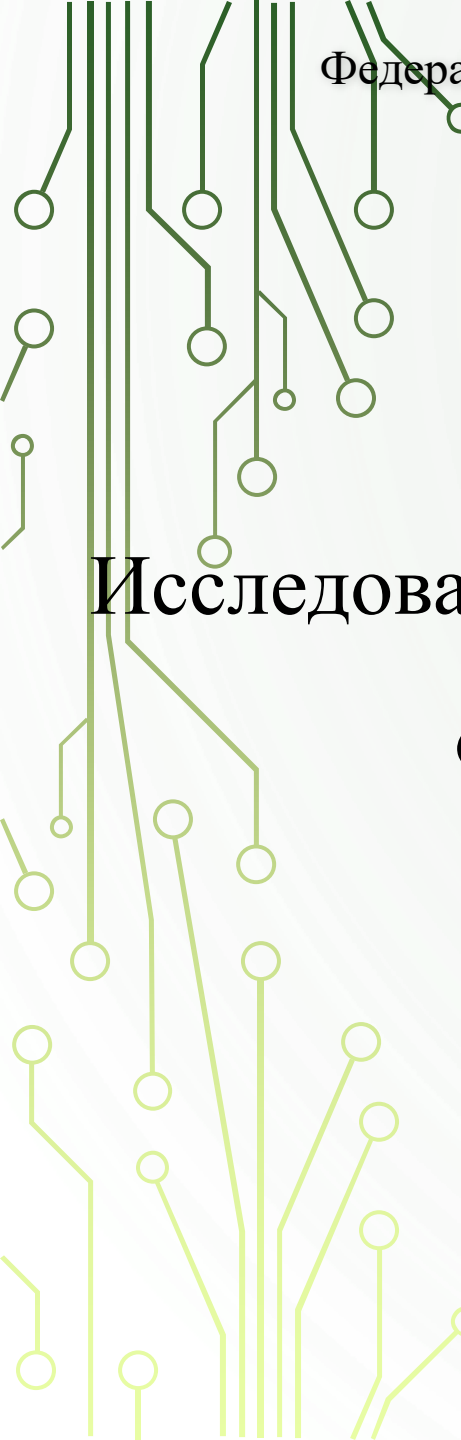
Подпись проверяющего



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



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Пензенский государственный университет»

Факультет информационных технологий и электроники

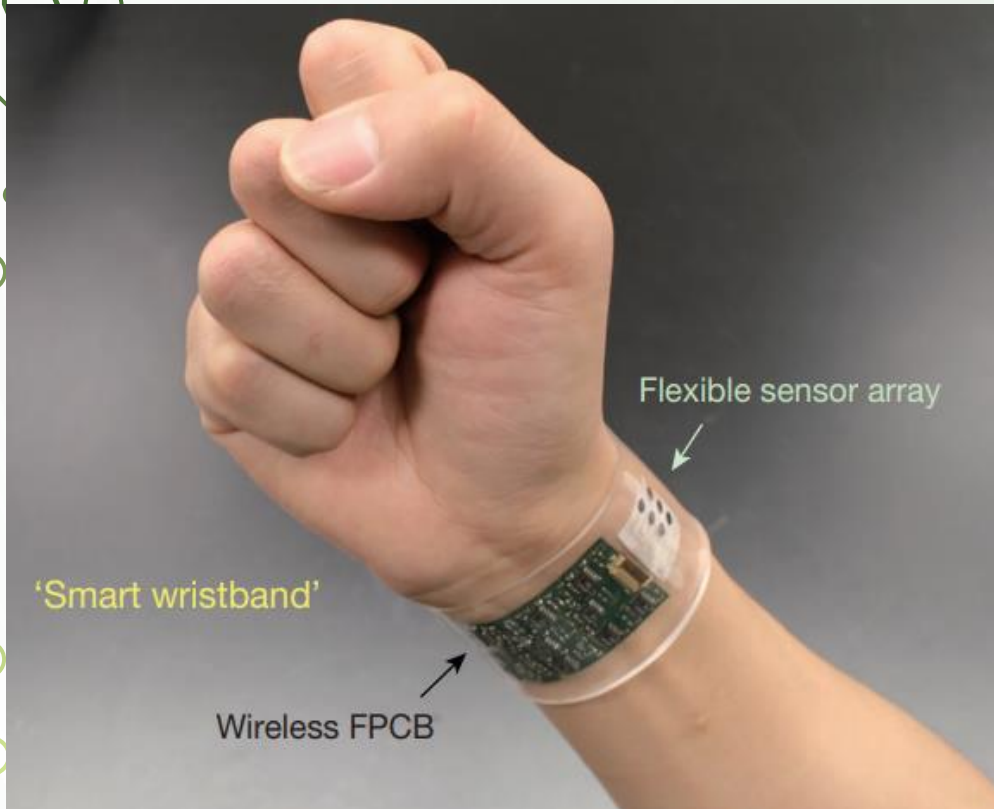
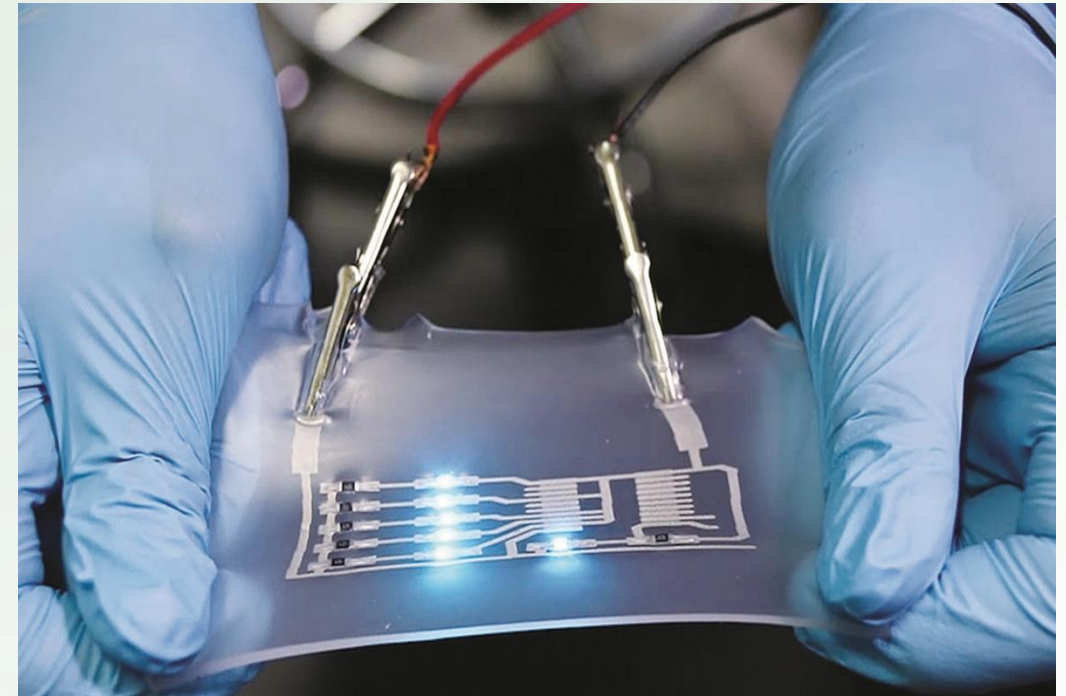
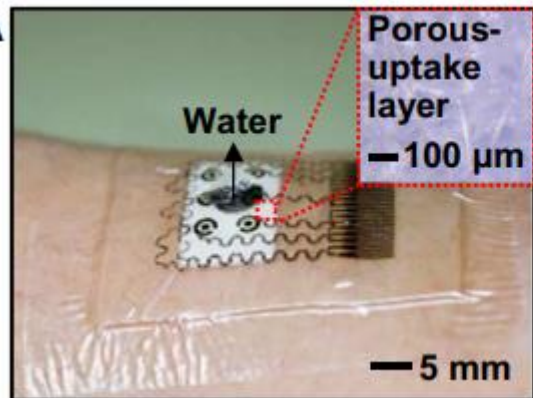
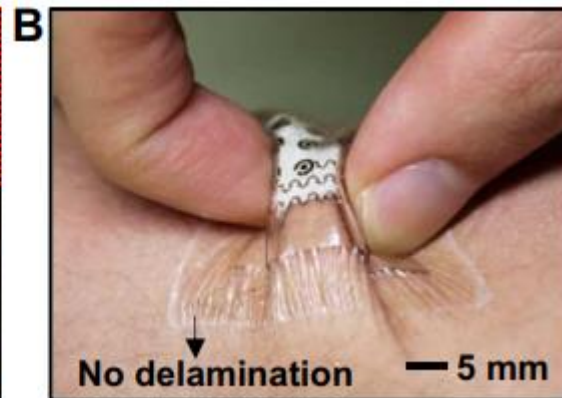
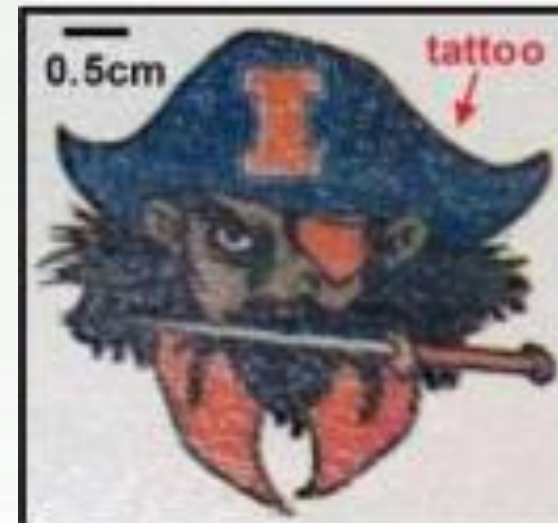
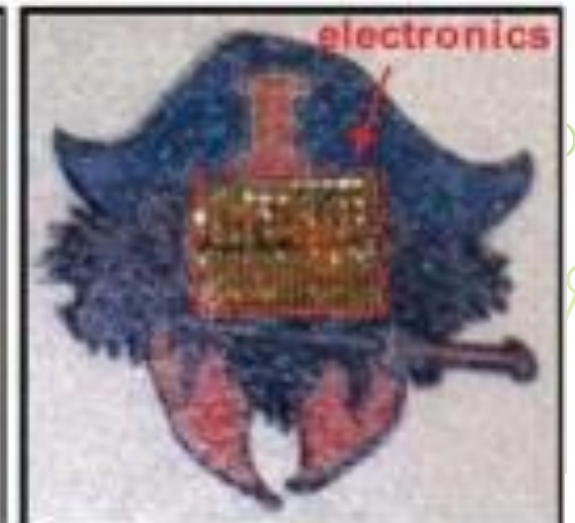
Кафедра: «нано- и микроэлектроника»

Исследование проводящих наноструктурированных покрытий на основе оксида цинка для гибкой электроники

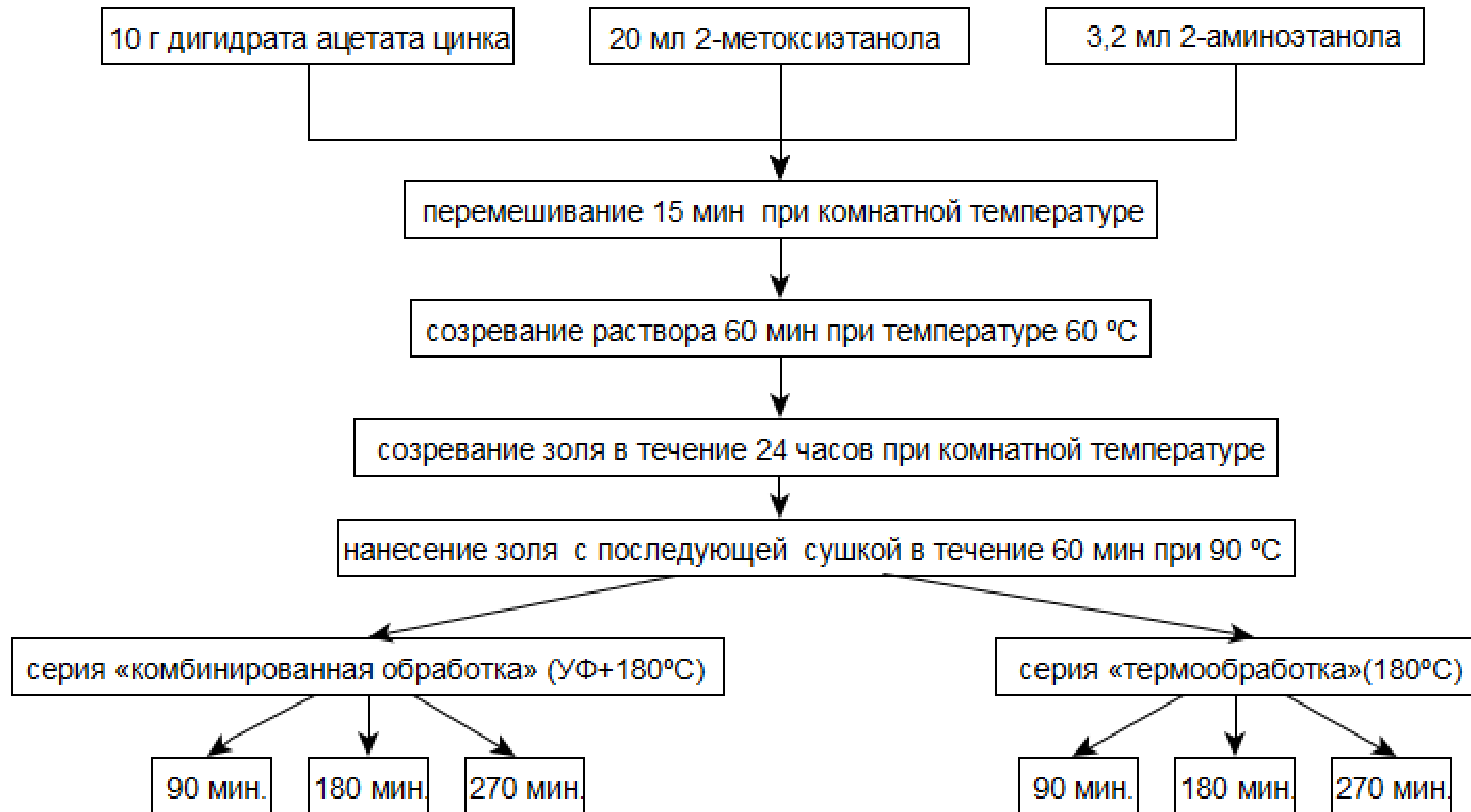
Выполнил: Сухов Иван Викторович

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой нано- и микроэлектроники Пензенского
государственного университета Пронин Игорь Александрович

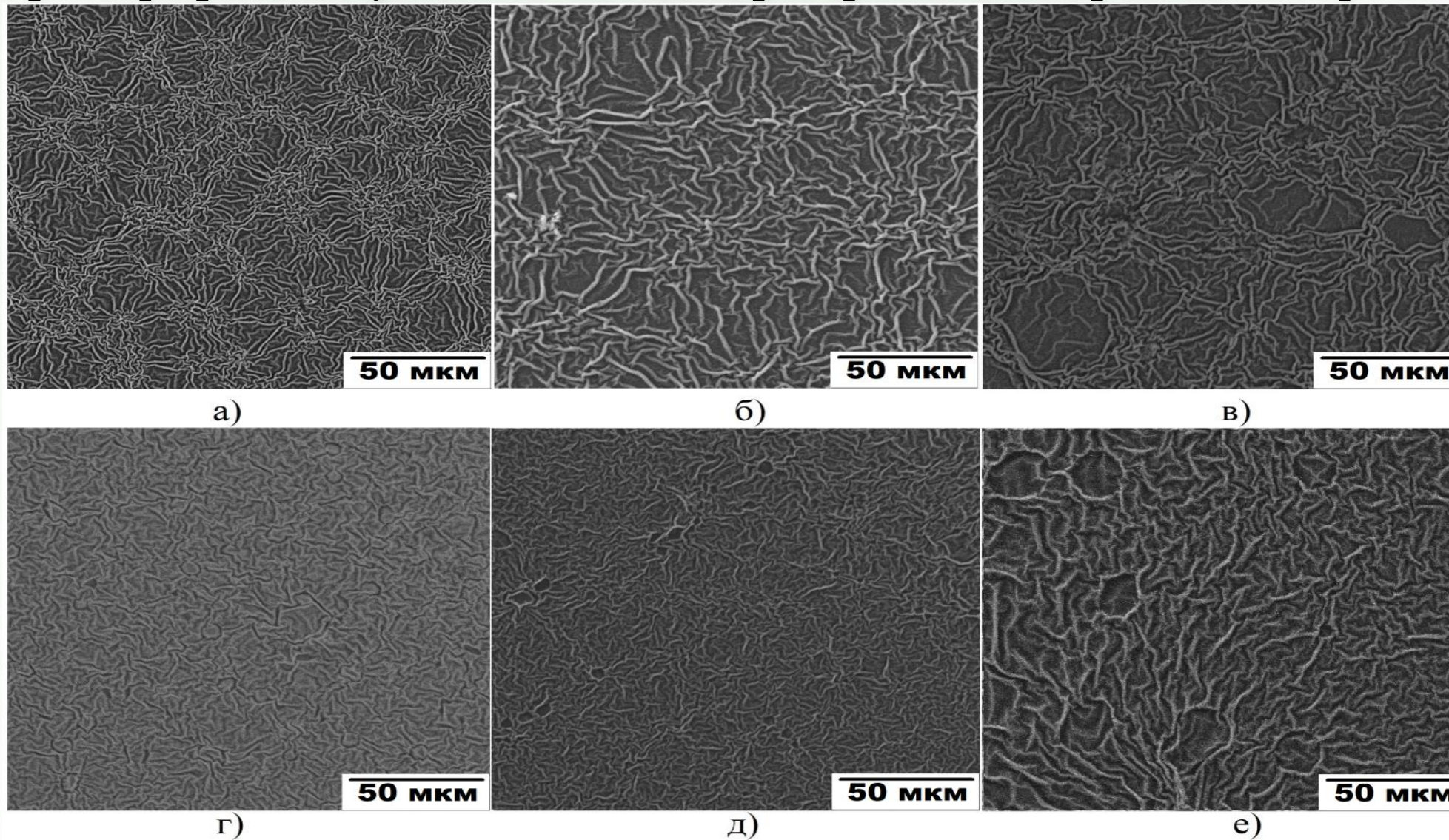
Цель: Исследовать проводящие наноструктурированные покрытия на основе оксида цинка для гибкой электроники



Методика синтеза



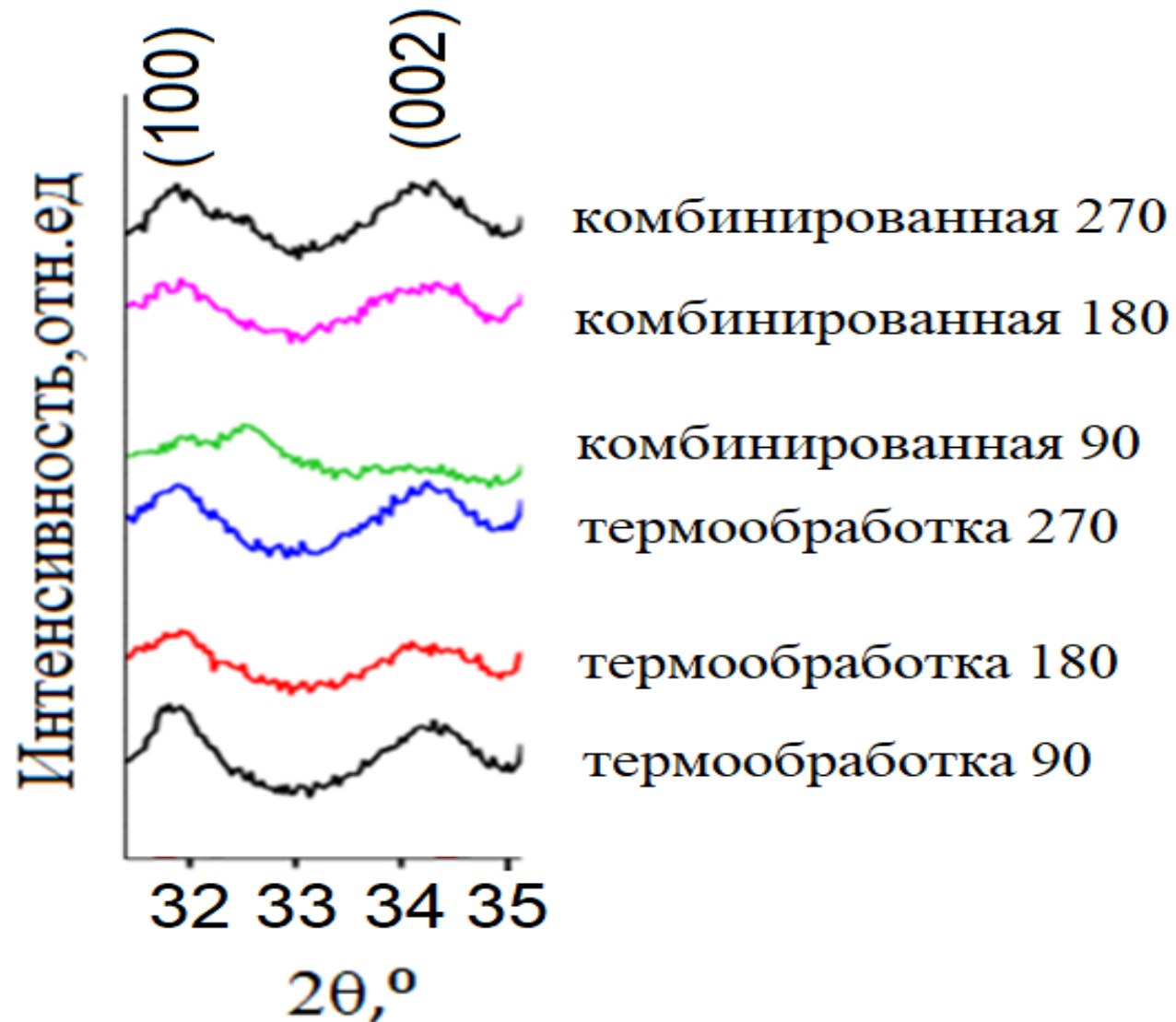
Микрофотографии, полученные методом растровой электронной микроскопии



а – термообработка 90 минут; б – термообработка 180 минут; в – термообработка 270 минут;

г – комбинированная 90 минут; д – комбинированная 180 минут; е – комбинированная 270 минут

Фрагмент дифрактограммы пленок в диапазоне углов $2\Theta = 31 - 35^\circ$



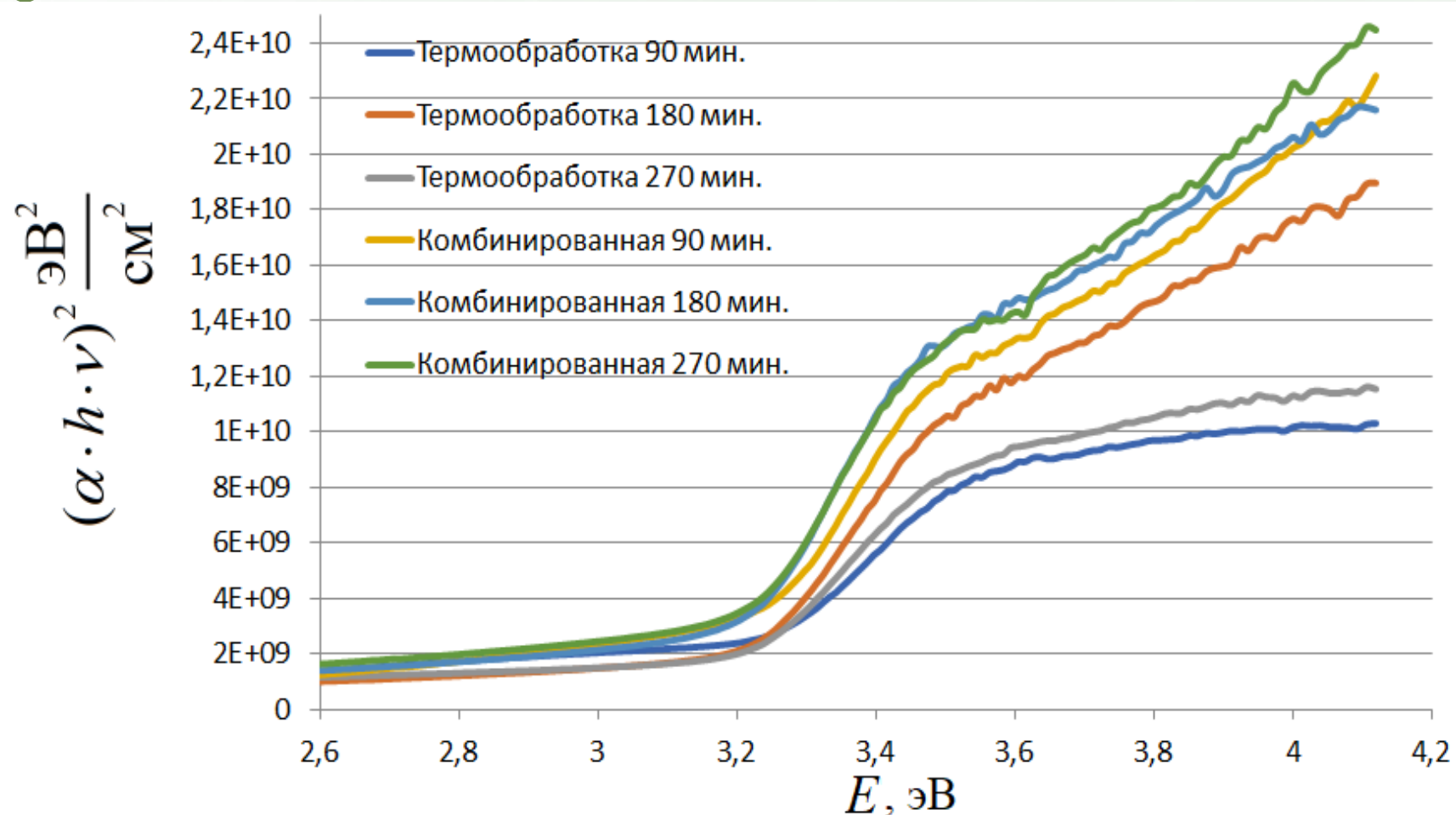
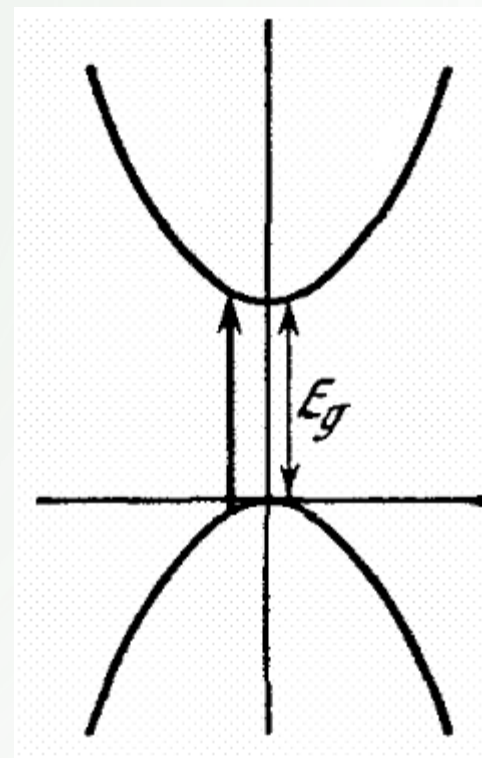
Уравнение Шерера

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

где K – фактор формы ($K \approx 0,9$);
 λ – длина волны рентгеновского излучения, м; D – размер области когерентного рассеяния (ОКР), м ;
 θ – угол дифракции.

Спектры поглощения образцов, полученных при термообработке и комбинированной обработке

Коэффициент пропускания: $\alpha = A(h\nu - \Delta E_g)^{1/2}$,
где A — const

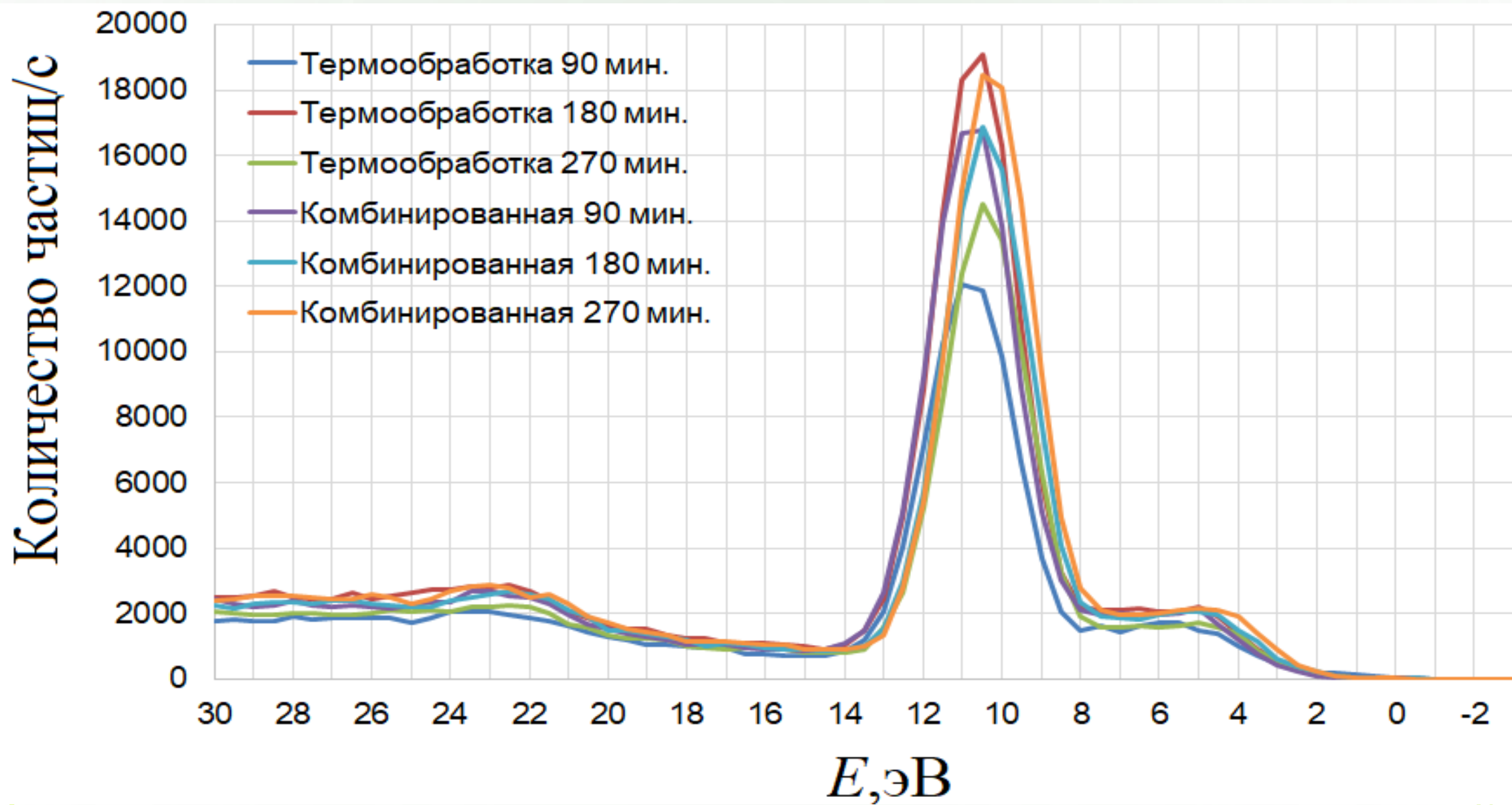


Зонная структура
прямозонного
полупроводника

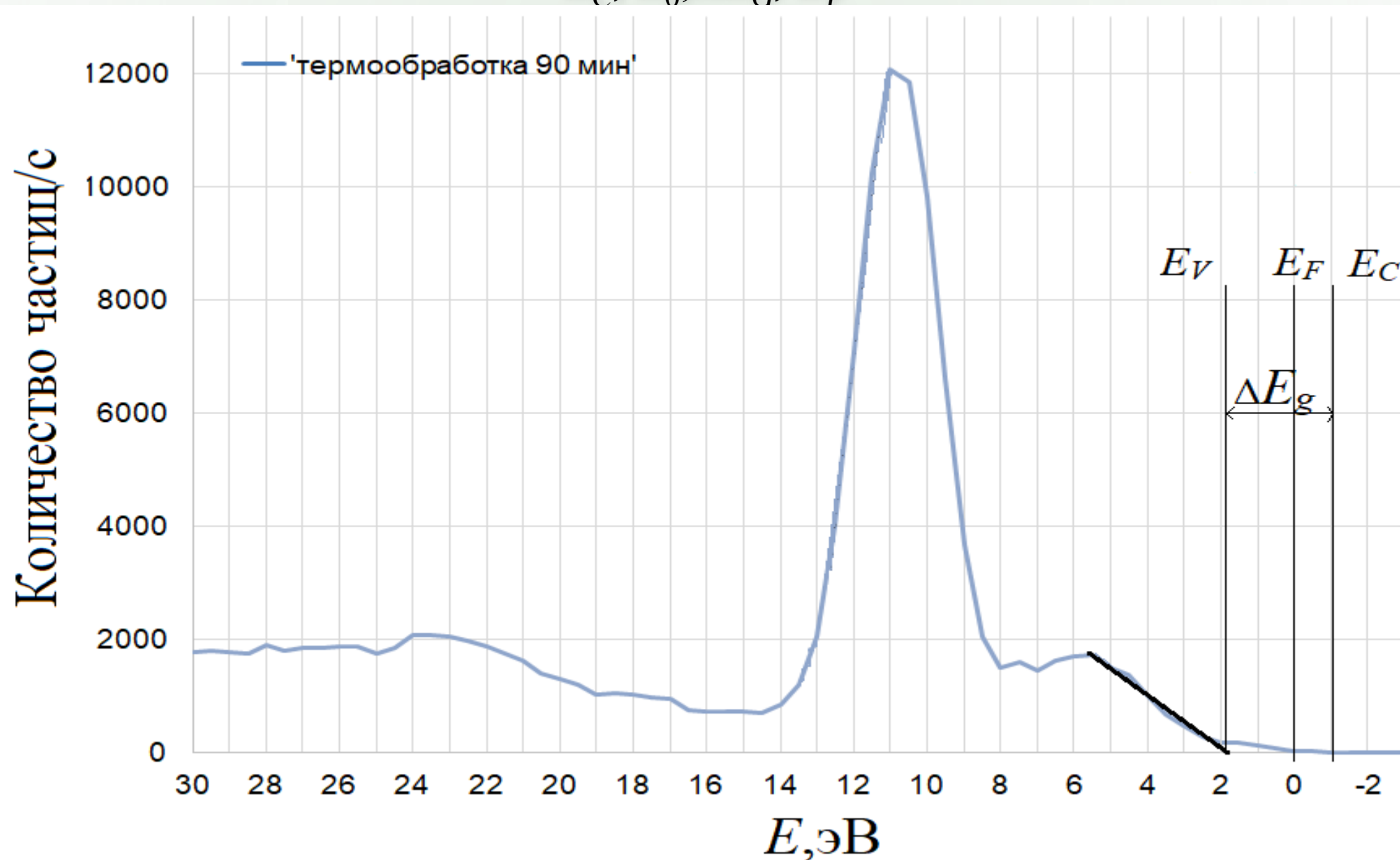
Результаты расчета параметров образцов

Параметры	Термообработка			Комбинированная		
	90 мин	180 мин	270 мин	90 мин	180 мин	270 мин
D , нм	10,5	9,5	9,6	менее 1 нм	6,7	8,0
ΔE_g , эВ	3,15	3,16	3,16	3,16	3,15	3,13

Результаты UPS образцов, при термообработке и комбинированной обработке



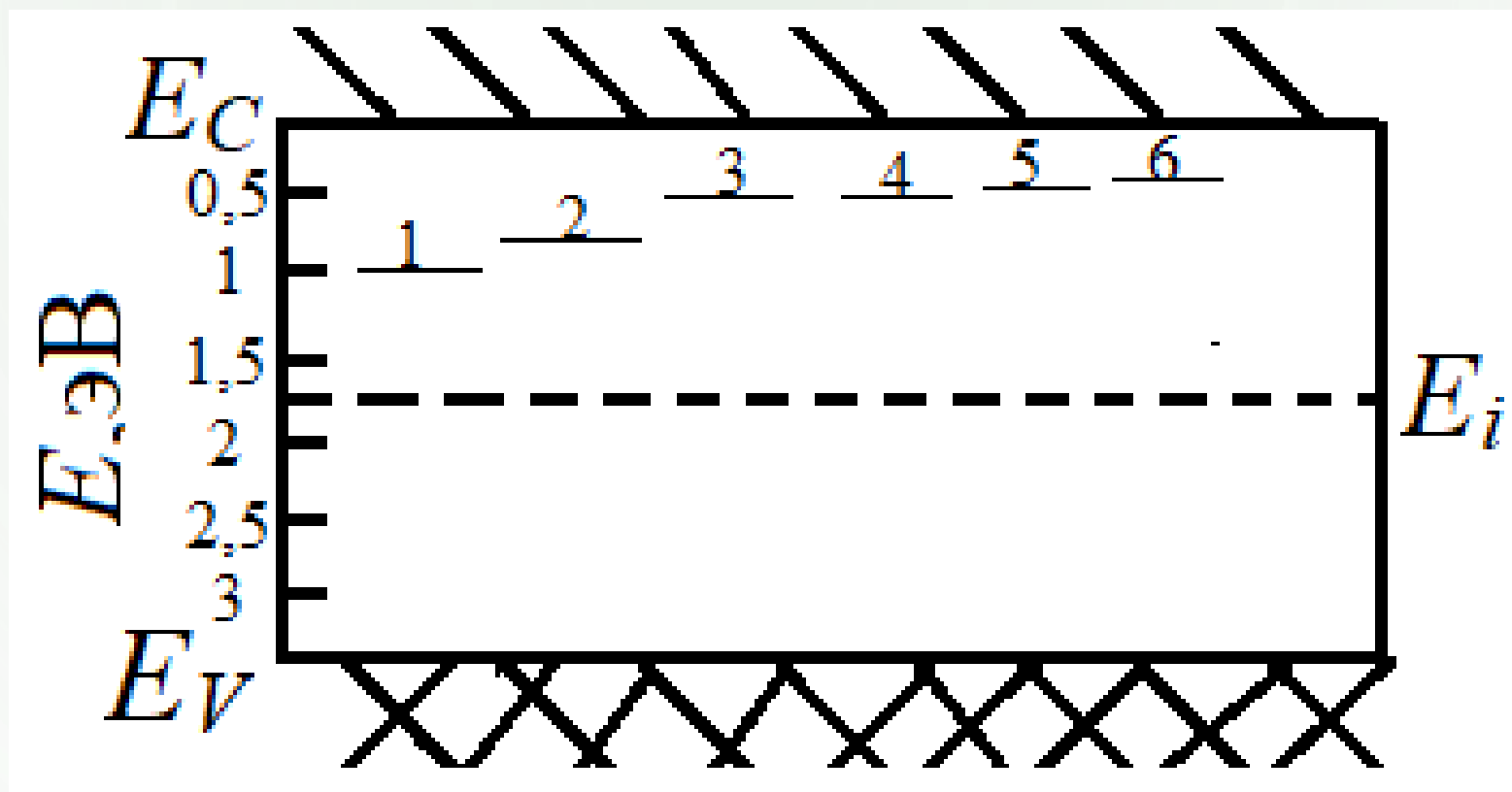
Результат UPS образца, при термообработке 90 мин. с указанием параметров E_V ,
 E_C , E_0 , ΔE_G , E_F



Данные по параметрам зонной структуры образцов

Образец	E_V , эВ	ΔE_g , эВ	E_C , эВ	E_0 , эВ
Термообработка 90 мин.	2.15	3.15	1	13.2
Термообработка 180 мин.	2.4	3.16	0,76	13.0
Термообработка 270 мин.	2.6	3.16	0,56	13.4
Комбинированная 90 мин.	2.6	3.16	0,56	13.05
Комбинированная 180 мин.	2.65	3.15	0,5	13.3
Комбинированная 270 мин.	2.55	3.13	0,48	13.0

Влияние термообработки и комбинированной обработки на положения энергии ферми относительно дна зоны проводимости



- 1– Термообработка 90 мин.; 2–Термообработка 180 мин.;
3 – Термообработка 270 мин; 4 – Комбинированная 90 мин.;
5 – Комбинированная 180 мин.; 6 – Комбинированная 270 мин.

Сведения о публикациях



НАНО- и МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

*Ежемесячный междисциплинарный теоретический
и прикладной научно-технический журнал*

Россия, 107076, Москва,
ул. Матросская Тишина,
23с2, оф. 45

Тел.: (499) 270-16-52

E-mail: nmst@novtex.ru
<http://microsystems.ru/>

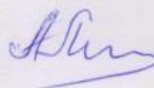
№ И-19/_____

Дата 19 мая 2023 г.

СПРАВКА

Выдана о том, что статья «ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛЕНОК $ZnO:Al$, ПОЛУЧЕННЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МЕТОДОМ» (авторы А.С. Козин, И.В. Сухов, К.А. Ильин, И.А. Пронин, А.Н. Головяшкин.) прошла рецензирование и будет опубликована в журнале «Нано- и микросистемная техника», 2023, Том 25, №6.

Ответственный секретарь журнала

 Лысенко А. В.



НАНО- и МИКРОСИСТЕМНАЯ ТЕХНИКА

*Ежемесячный междисциплинарный теоретический
и прикладной научно-технический журнал*

Россия, 107076, Москва,
ул. Матросская Тишина,
23с2, оф. 45

Тел.: (499) 270-16-52

E-mail: nmst@novtex.ru
<http://microsystems.ru/>

№ И-19/_____

Дата 19 мая 2023 г.

СПРАВКА

Выдана о том, что статья «ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ФОТО- И ТЕРМИЧЕСКОГО ОТЖИГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПЛЁНОК ОКСИДА ЦИНКА ДЛЯ ГИБКОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ» (авторы И.В. Сухов, А.С. Козин, И.А. Пронин, А.Н. Головяшкин, А.С. Комолов, А.А. Карманов, Н.Д. Якушова) прошла рецензирование и будет опубликована в журнале «Нано- и микросистемная техника», 2023, Том 25, №5.

Ответственный секретарь журнала

 Лысенко А. В.



The image features a light green background with faint, concentric circular patterns. In the four corners, there are decorative elements resembling circuit board traces or stylized lines, each ending in a small circle. These elements are colored in a slightly darker shade of green than the background.

Спасибо за внимание!