

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 03.03.02 Физика
 ООП/ОПОП Физика
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Разработка высокоэффективных фотоэлектрических устройств на основе гетр структур, содержащих хлорофилл

УДК 669.788.081:535.033-3

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Ван Сын		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кашкаров Е.Б.	к.ф.м.н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Кроткевич Д.Г.	-		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Верховская М.В.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Томск – 2023 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений.
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовать свою роль в команде.
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном и иностранном (-ых) языке.
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах.
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни.
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций.
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи.
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен применять естественно-научные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в инженерной деятельности, связанной с проектированием и конструированием, технологиями производства оптоэлектроники, оптических и оптико-электронных приборов и комплексов
ОПК(У)-2	Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, интеллектуально правовых, социальных и других ограничений на всех этапах жизненного цикла технических объектов и процессов
ОПК(У)-3	Способен использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач.
ОПК(У)-4	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, осознавать опасность и угрозу, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности.
ОПК(У)-5	Способен использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией.

ОПК(У)-6	Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности на основе информационной и библиографической культуры с применением информационно-коммуникационных технологий и с учетом основных требований информационной безопасности.
ОПК(У)-7	Способен использовать в своей профессиональной деятельности знание иностранного языка.
ОПК(У)-8	Способен критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости направление своей деятельности.
ОПК(У)-9	Способен получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах и других малых коллективах исполнителей.
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способностью использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК(У)-2	Способностью проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК(У)-3	Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований
ПК(У)-4	Способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК(У)-5	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК(У)-6	Способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований
ПК(У)-7	Способность участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме
ПК(У)-8	Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования



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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП
Лидер А.М.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
150Б91	Ван Сьи

Тема работы: **Разработка высокоэффективных фотоэлектрических устройств на основе гетр структур, содержащих хлорофилл**

<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	22.05.2023, 142-41/с
--	----------------------

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</p>	<p>Объект исследования гетероструктуры Ag/ZnChl/m-TiO₂-H₂Chl/c-TiO₂/FTO с производными хлорофилла</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке (аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</p>	<p>Аналитический обзор литературных источников Материал и методы исследований Результаты исследований Социальная ответственность Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение Заключение по работе</p>
<p>Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	-
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)</p>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Сечин А.И.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
---	-----------------

Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:

-

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кашкаров Е.Б.	к.ф.м.н.		
ассистент	Кроткевич Д.Г.	-		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150БМ91	Ван Сьи		

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 03.03.02 Физика
 Уровень образования бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики
 Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся: **Разработка высокоэффективных фотоэлектрических устройств на основе гетр структур, содержащих хлорофилл**

Группа	ФИО
150Б91	Ван Сьи

Тема работы:

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	06.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.11.2022	Литературный обзор по теме ВКР	15
30.04.2023	Методы исследования	5
01.06.2023	Результаты экспериментальных исследований. Обработка результатов.	50
01.06.2023	Финансовый менеджмент, ресурс эффективность и ресурсосбережение	15
01.06.2023	Социальная ответственность	15

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Кашкаров Е.Б.	к.ф.м.н.		

Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кроткевич Д.Г.	-		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель отделения на правах кафедры	Лидер А.М.	д.т.н., профессор		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Ван Сьи		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 109 с., 23 рис., 2 табл., 55 источников, 0 прил.

Ключевые слова: производные хлорофилла, органические детекторы, органические фотоумножители, сенсбилизация красителем, чувствительность, внешний квантовый дефект

Объектом исследования являются фотоумножители на основе гетероструктур ZnChl/m-TiO₂-H₂Chl/c-TiO₂ с производными хлорофилла

Цель работы – Получение органического фотоумножителя на основе производных хлорофилла с повышенными фотоэлектрическими характеристиками.

В ходе работы были синтезированы производные хлорофилла ZnChl и H₂Chl, подготовлены гетероструктурные органические фотоумножители вертикального исполнения на основе производных хлорофилла, исследованы микроструктура фотоумножителей, проанализирована эффективность фотоумножителя в УФ, видимом и ближнем инфракрасном спектре поглощения.

В результате исследований было установлено, что синтезированное производное хлорофилла H₂Chl эффективно адсорбируется на мезопористом TiO₂ в качестве пленки активного слоя. ZnChl и H₂Chl демонстрируют высокую поглощательную способность при длине волны ~700 нм. Обладают высокой удельной обнаружительной способностью и чувствительностью. Было установлено, что при отрицательном напряжении смещения внешний квантовый эффект увеличивается экспоненциально, ввиду более легкого переноса заряда в слой m-TiO₂-H₂Chl и к аноду. Внешний квантовый эффект составил $1,67 \times 10^{40}\%$ при напряжении смещения –6,56 В. Полученная структура Ag/ZnChl/m-TiO₂-H₂Chl/c-TiO₂/FTO показывает высокую чувствительность (~84 А/Вт) и обнаружительную способность (~ $1,9 \times 10^{12}$ Джонса). Таким

образом, полученный фотоумножитель на основе гетероструктур ZnChl/m-TiO₂-H₂Chl/c-TiO₂ демонстрирует улучшенные фотоэлектрические характеристики за счет применения производных хлорофилла.

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	7
ОГЛАВЛЕНИЕ	9
ВВЕДЕНИЕ	13
ГЛАВА 1. Обзор литературных источников по теме исследования	16
1.2 Органические фотодетекторы.....	16
1.2.1 Классификация органических фотодетекторов.....	16
1.2.2. Эксплуатационные параметры фотоприемников	23
1.3 Органические фотоэлектронные умножители	27
1.3.1 Структура и принцип работы	27
1.3.2 Оптимизация производительности органических фотоэлектронных умножителей.....	33
1.4 Материалы на основе хлорофилла	34
ГЛАВА 2. Материалы и методы исследования	36
2.1 Экспериментальные материалы	36
2.2 Экспериментальное оборудование.....	38
2.2.1 УФ-видимый – ближний инфракрасный спектр поглощения.....	39
2.2.2 Атомно-силовая микроскопия	40
2.3 Синтез материалов и подготовка устройств.....	41
2.3.1 Подготовка материалов	41
2.4.2 Подготовка устройств.....	41
ГЛАВА 3. Результаты и обсуждение	46
3.1 Структура устройства и тестирование	46
3.1.1 Структура энергетических уровней.....	46

3.1.2	Микроструктура полученных материалов	48
3.1.3	Получение вольт-амперной характеристики	49
3.1.4	Проверка внешнего квантового эффекта.....	50
3.1.5	Время отклика	51
3.2.	Оптические свойства материалов.....	51
3.2.1	Поглощение	51
3.2.2	Морфология поверхности	54
3.3	Оптоэлектронные свойства прибора.....	55
3.3.1	Вольт-амперная характеристика	55
3.3.2	Отношение фототока к темновому току.....	57
3.4	Характеристики отклика устройства	58
ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент		66
4.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	66
4.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования	66
4.1.2	Анализ конкурентных технических решений.....	67
4.1.3	SWOT-анализ	68
4.2	Планирование научно-исследовательских работ.....	70
4.2.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	70
4.2.2	Разработка графика проведения научного исследования.....	71
4.2.3	Бюджет научно-технического исследования	75
4.2.3.1	Расчет материальных затрат научно-технического	75
	исследования	75
4.2.3.2	Расчет амортизации специального оборудования.....	76

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	77
4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	80
4.2.3.5 Накладные расходы	80
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	81
4.4. Интегральный показатель ресурсоэффективности.....	81
Выводы по разделу.....	83
ГЛАВА 5. Социальная ответственность.....	87
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	87
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	87
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя	88
5.2 Производственная безопасность.....	88
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	90
5.2.1.1 Анализ показателей шума.....	90
5.2.1.2 Анализ показателей микроклимата.....	91
5.2.1.3 Анализ электробезопасности.....	94
5.2.1.4 Анализ показателей освещенности рабочей зоны.....	96
5.3 Экологическая безопасность.....	97
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	98
Выводы по разделу.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	103

ВВЕДЕНИЕ

Фотодетекторы представляют собой оптоэлектронные устройства, способные обнаруживать падающий свет или оптическую мощность и трансформировать их в электрический сигнал. Реагируя на мощность или интенсивность светового сигнала, фотодетекторы измеряют не амплитуду электрического поля, а именно силу светового сигнала. В результате воздействия оптического сигнала генерируется электрический сигнал, выражающийся в фототоке или напряжении, пропорциональном мощности оптического сигнала. Существуют два основных типа фотодетекторов, которые основываются на различных механизмах преобразования: фотонные детекторы и тепловые детекторы. Фотонные детекторы являются квантовыми детекторами, которые основываются на фотоэлектрическом эффекте, преобразующем фотоны в испускаемые электроны или электронно-дырочные пары. Фотонные детекторы реагируют на количество поглощенных детектором фотонов. В свою очередь, тепловые детекторы основываются на фототермическом эффекте, который преобразует световую энергию в тепловую энергию. Тепловые детекторы реагируют на световую энергию, а не на количество поглощенных фотонов. Будучи экологически чистым органическим полупроводниковым материалом, хлорофилл привлек к себе большое внимание благодаря своим полезным оптическим свойствам. Хотя такие пигменты, как хлорофилл а (Chl-*a*) и хлорофилл b (Chl-*b*), могут быть получены в естественных условиях и широко изучены. Хлорофилл, полученный синтезом, практически не использовался в фотоэлектронных детекторах. Существует два типа фотодетекторов, основанных на различных механизмах преобразования: фотонные детекторы и тепловые детекторы. Фотонные детекторы - это квантовые детекторы, основанные на фотоэлектрическом эффекте, который преобразует фотоны в испускаемые электроны или электронно-дырочные пары, и фотонные детекторы реагируют

на количество фотонов, поглощенных детектором; тепловые детекторы основаны на фототермическом эффекте, который преобразует световую энергию в тепловую энергию, и тепловые детекторы реагируют на световую энергию, а не на количество фотонов, поглощенных детектором. Из-за этого фундаментального различия общие характеристики этих двух типов фотодетекторов имеют ряд важных отличий. Отклик фотонного детектора является функцией длины волны света с большой длиной волны отсечки, в то время как отклик теплового детектора не зависит от длины волны. Фотонные детекторы могут иметь гораздо более высокую скорость отклика, чем тепловые детекторы, в определенной спектральной области, которая обычно находится в диапазоне от ближнего ультрафиолетового до ближнего инфракрасного. В отличие от них, тепловые детекторы обычно охватывают широкий спектральный диапазон от дальнего ультрафиолета до дальнего инфракрасного, с почти постоянным откликом. Фотонные детекторы могут обладать очень высокой чувствительностью. Некоторые из них имеют возможность подсчета фотонов, что невозможно для тепловых детекторов. Фотонные детекторы могут быть спроектированы таким образом, чтобы иметь высокую скорость отклика и быть способными отслеживать очень быстрые световые сигналы.

Таким образом, целью данной работы является получение органического фотоумножителя на основе производных хлорофилла с повышенными фотоэлектрическими характеристиками. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Синтезировать производные хлорофилла $ZnChl$ и H_2Chl
2. Покрытие оксида олова, легированного фтором плотной пленкой TiO_2 методом центрифугирования
3. Нанесение мезопористого покрытия TiO_2 методом центрифугирования и его пропитка H_2Chl
4. Нанесение покрытия $ZnChl$

5. Осаждения Ag электрода из паровой фазы
6. Анализ фотоэлектрических характеристик

ГЛАВА 1. Обзор литературных источников по теме исследования

1.2 Органические фотодетекторы

1.2.1 Классификация органических фотодетекторов

Фотоприемники — это датчики, преобразующие оптические сигналы в электрические, и широко используются в передовых технологиях, таких как защита энергии, военное наблюдение, биомедицинская визуализация и аэрокосмические спутники [1-3]. Существующие на рынке оптические датчики не подходят для общего использования; они часто дороги и трудоемки, имеют сложные синтетические процессы и свойства наноматериалов и не могут производиться в промышленных масштабах. Существует множество статей о традиционных неорганических фотодетекторах (IPD), которые показали отличные характеристики в плане светочувствительности, чувствительности и скорости обнаружения благодаря неорганическим полупроводникам (например, Si и Ge) и составным III-V полупроводникам (включая InGaAs, GaN и т.д.) с высокой подвижностью носителей и малой энергией связи экситонов [4-6]. Однако они имеют громоздкий процесс приготовления и высокое рабочее напряжение, поэтому коммерческие IPD с дорогими производственными процессами не подходят для создания гибких и дешевых устройств большой площади. Кроме того, характеристики IPD могут быть улучшены путем разработки подходящих материалов и внедрения различных физических механизмов, таких как пьезоэлектрические фотоэлектронные эффекты, лавинные эффекты и коллизионная ионизация [7,8]. Однако, учитывая присущие им недостатки, такие как высокая хрупкость и сложные процессы изготовления, IPD ограничены с точки зрения гибкости применения и экономии средств [9]. Кроме того, из-за широкополосного поглощения неорганических

полупроводников спектрально селективное обнаружение IPD невозможно без дополнительных фильтров.

Для решения этих проблем были широко исследованы фотоприемники на основе органических полупроводников. Предлагаемые органические фотодетекторы (OPD) обладают такими преимуществами, как возможность перестройки длины волны обнаружения, низкая стоимость производства и совместимость с легкими и гибкими устройствами. Ультрафиолетовые (UV), видимые и ближние инфракрасные (NIR) фотоприемники могут быть получены путем оптимизации оптического зазора органического полупроводника и архитектуры устройства фотоприемника, а не путем присоединения фильтров. Эта выдающаяся особенность помогает упростить процесс изготовления спектрально селективных фотоприемников, тем самым снижая производственные затраты [10]. Механическая гибкость органических полупроводников облегчает реализацию носимых фотоприемников, которые имеют большой потенциал для применения в датчиках обнаружения состояния здоровья. Однако низкая подвижность носителей и неупорядоченное расположение молекул в OPD приводят к относительно низкой скорости отклика и меньшей генерации заряда в OPD по сравнению с IPD [11,12]. В результате было предпринято множество усилий по улучшению характеристик OPD. В частности, подключение схем предусилителя к OPD является эффективным способом улучшения фоточувствительности и обнаружения. [13,14] Были исследованы различные конкретные стратегии для улучшения работы OPD с различными конфигурациями. Как показано на рисунке 1, OPD можно разделить на OPD на основе фототранзисторов (PT-OPD), OPD на основе фотопроводников (PD-OPD) и OPD на основе фотодиодов (PD-OPD), которые имеют различные рабочие механизмы и архитектуры для удовлетворения различных требований для разнообразных приложений. С точки зрения структуры устройства, большинство PT-OPD имеют три электрода: затвор, исток и сток. Примечательно, что недавние

исследования позволили создать халькогенидные фотодиоды типа фототранзистора с использованием двухсторонней архитектуры, что может вдохновить на разработку архитектуры устройств OPD [15]. В отличие от них, PC-OPD и PD-OPD основаны на двух электродах (т.е. аноде и катоде). Каждый OPD имеет свои ограничения и особенности с точки зрения оптического детектирования. Для PT-OPD дополнительное фотопроводящее усиление может быть достигнуто за счет использования трехконтактной структуры и приложения дополнительного электрического смещения. Дальнейшее внедрение гибридной структуры слоев может облегчить разделение и перенос заряда, тем самым улучшая характеристики устройства.

За последнее десятилетие исследователи предложили множество подходов, таких как синтез материалов, модификация интерфейса и структурная инженерия, чтобы еще больше усилить преимущества и компенсировать недостатки различных OPD. Органические фотоприемники (OPD) привлекают постоянное внимание благодаря своим выдающимся преимуществам, таким как перестраиваемая длина волны обнаружения, низкая стоимость производства, совместимость с легкими и гибкими устройствами и простота обработки. За последние десятилетия были предприняты значительные усилия для улучшения характеристик и применения OPD.

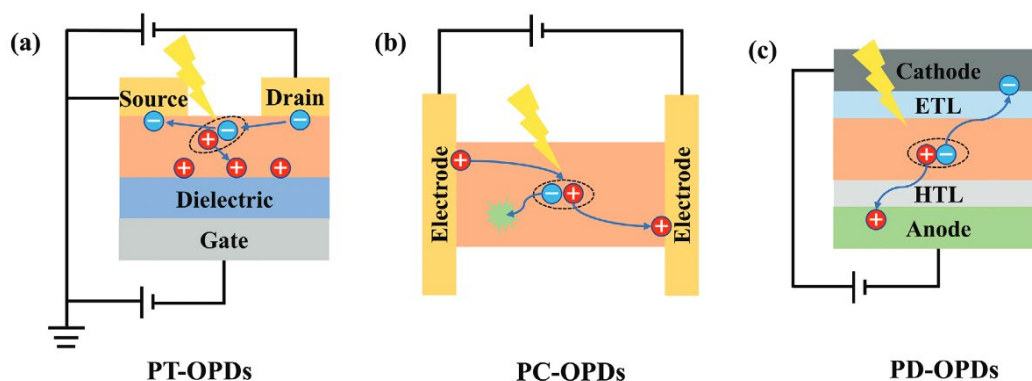


Рисунок 1.1 – а) PT-OPD, б) PC-OPD и в) PD-OPD принципиальные схемы рабочих механизмов.

Фотодетекторы (PD) - это оптоэлектронные устройства, используемые для обнаружения падающего света или оптической мощности и преобразования их в электрический сигнал. Они реагируют на мощность или интенсивность светового сигнала, а не на амплитуду поля. Электрический сигнал, генерируемый оптическим сигналом, представляет собой фототок или фотонапряжение, пропорциональное мощности оптического сигнала. Исходя из различных механизмов преобразования, существует два типа фотодетекторов: фотонные детекторы и тепловые детекторы. Фотонные детекторы можно разделить на две категории: основанные на внешнем фотоэлектрическом эффекте и на внутреннем фотоэлектрическом эффекте. Фотодетекторы на основе внешнего фотоэлектрического эффекта - это фотоизлучающие устройства, такие как вакуумные фотодиоды и фотоумножители, в которых фотоэлектроны испускаются с поверхности фотокатода. Фотодетекторы на основе внутреннего фотоэлектрического эффекта - это полупроводниковые приборы, в которых электронно-дырочные пары генерируются при поглощении падающих фотонов. Фотонные детекторы реагируют на количество фотонов, поглощенных детектором; тепловые детекторы основаны на фототермическом эффекте, который преобразует световую энергию в тепло, и тепловые детекторы реагируют на световую энергию, а не на количество фотонов, поглощенных детектором. Из-за этого фундаментального различия общие характеристики этих двух типов фотодетекторов имеют ряд важных отличий. Отклик фотонного детектора является функцией длины волны света с большой длиной волны отсечки, в то время как отклик теплового детектора не зависит от длины волны. Фотонные детекторы могут иметь гораздо более высокую скорость отклика, чем тепловые детекторы, в определенной спектральной области, которая обычно находится в диапазоне от ближнего ультрафиолетового до ближнего инфракрасного. В отличие от них, тепловые детекторы обычно охватывают широкий спектральный диапазон от дальнего ультрафиолета до дальнего

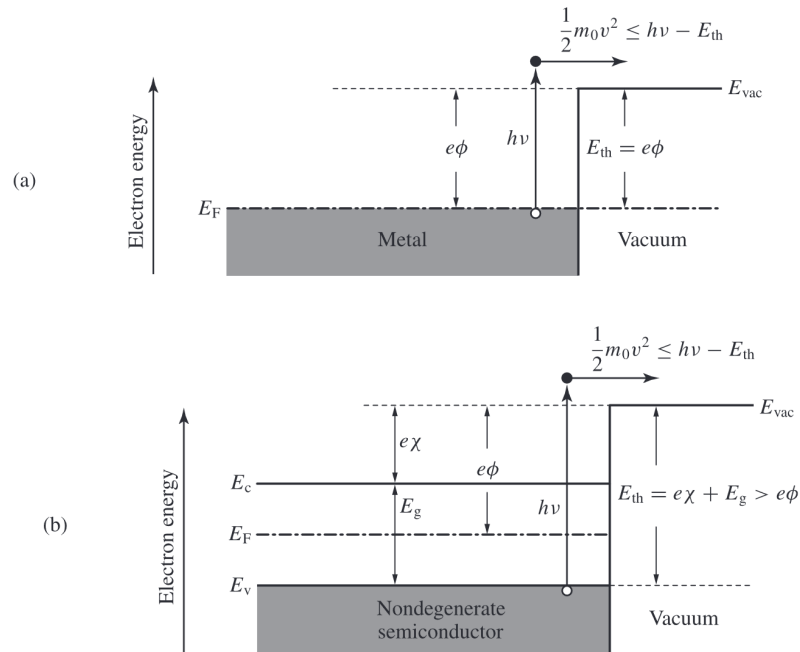
инфракрасного, с почти постоянным откликом. Фотонные детекторы могут быть сделаны очень чувствительными. Некоторые из них имеют возможность подсчета фотонов, что невозможно для тепловых детекторов. Фотонные детекторы могут быть спроектированы таким образом, чтобы иметь высокую скорость отклика и быть способными отслеживать очень быстрые световые сигналы. Большинство тепловых детекторов имеют относительно медленный отклик, поскольку скорость теплового детектора ограничена термодиффузионной термализацией и тепловым рассеиванием при изменении мощности оптического сигнала. По этим причинам фотонные детекторы подходят для обнаружения оптических сигналов в фотонных системах, в то время как тепловые детекторы чаще всего используются для измерения оптической мощности или инфракрасной визуализации. В этом разделе обсуждаются только основные принципы работы фотонных детекторов, поскольку мы в первую очередь рассматриваем фотодетекцию в приложениях фотоники.

Фотодетекторы основаны на внешнем фотоэлектрическом эффекте. Когда поверхность металла или полупроводника (в данном случае называемого фотокатодом) облучается светом с достаточной энергией фотонов, испускаются фотоэлектроны. Для электрона, не связанного с материалом, самый низкий вакуумный уровень энергии E_{vac} выше, чем уровень энергии Ферми E_F в материале. Для металлов и полупроводников энергетический барьер между самым низким вакуумным уровнем энергии и уровнем энергии Ферми определяется как рабочая функция материала, а именно $e\Phi = E_{vac} - E_F$. Для полупроводников разница между самым низким уровнем энергии вакуума и краем полосы проводимости известна как потенциал сродства к электрону полупроводника, $e\chi = E_{vac} - E_c$. Параметры Φ и χ обладают физическими свойствами электрического потенциала, измеряемого в вольтах. Силовая функция и потенциал сродства к электрону обычно измеряются в электронвольтах. Фотоэмиссия из данного материала

происходит только тогда, когда энергия падающего фотона выше определенной пороговой энергии фотона E_{th} , соответствующей длине волны света меньше определенного порога λ_{th} , только после этого происходит излучение света из данного материала:

$$h\nu \geq E_{th}, \text{ for } \lambda \leq \lambda_{th} = \frac{hc}{E_{th}} = \frac{1.2398}{E_{th}} \mu m \text{ eV} \quad (1)$$

Значения E_{th} и λ_{th} даны как материальные величины.



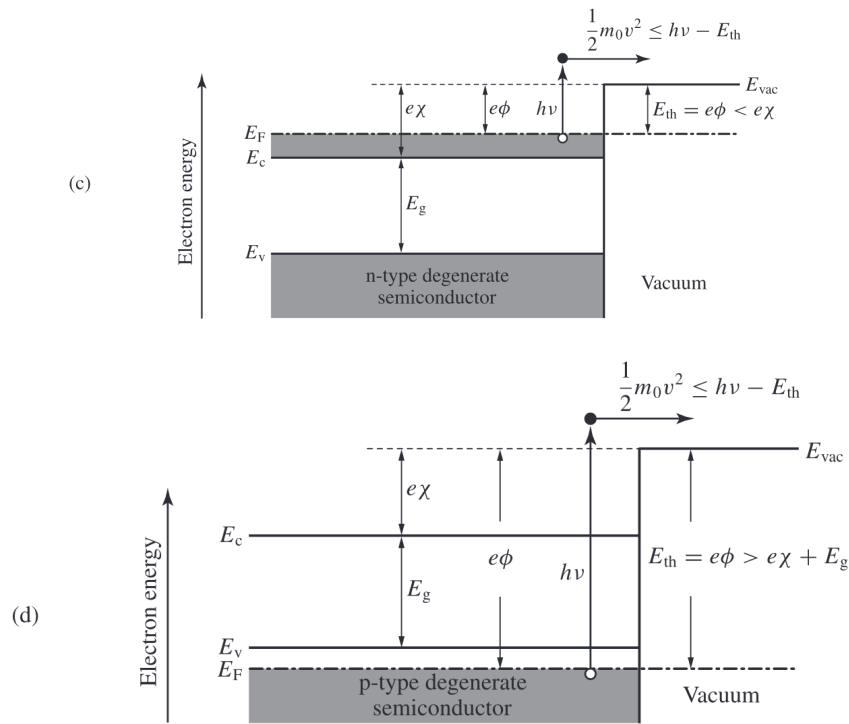


Рисунок 1.2. – Требования к энергии фотонов для фотоэлектрической эмиссии с поверхности (а) металла, (б) несимплексного полупроводника, (с) симплексного полупроводника n-типа, (д) симплексного полупроводника р-типа.

1. Металлы: В металлах, показанных на рисунке 2 (а), электроны занимают все энергетические уровни ниже уровня Ферми. Пороговая энергия фотонов для испускания фотоэлектронов из металлов равна

$$E_{th} = e\phi \quad (2)$$

2. Невырожденные полупроводники: В невырожденных полупроводниках, показанных на рисунке 2 (б), не все энергетические уровни ниже уровня Ферми заняты электронами, а только ниже края валентной зоны, потому что уровень Ферми расположен в пределах запрещенной зоны. Пороговая энергия фотонов, излучаемая недегенеративным полупроводником с шириной запрещенной зоны E_g , равна

$$E_{th} = e\chi + E_g > e\phi, \quad \chi > 0 \quad (3)$$

3. Вырожденные полупроводники: В вырожденных полупроводниках самый высокий уровень энергии, занимаемый электронами - это уровень

Ферми. Таким образом, пороговая энергия фотонов, излучаемая вырожденным светом, является функцией работы, точно так же, как функция работы, приведенная в (2) для металлов. Для вырожденных полупроводников n-типа $E_{th} = e\varphi < e\chi$, как показано на рисунке 2(c), поскольку каскад Ферми расположен в зоне проводимости. Для дегенеративных полупроводников p-типа, $E_{th} = e\varphi > e\chi + E_g$, как показано на рисунке 2(d), поскольку класс Ферми находится в валентной зоне.

1.2.2. Эксплуатационные параметры фотоприемников

Фотоэлектрическая система, как правило, спроектирована с учетом производительности фотодетектора, а производительность детектора характеризуется некоторыми параметрами при определенных условиях работы, нам необходимо неоднократно сравнивать основные характеристики различных детекторов в соответствии с требованиями к измерениям, а затем выбирать лучшее устройство. Фотоэлектрическое детектирование в основном имеет следующие параметры производительности.

Условия эксплуатации фотоприемников

Эксплуатационные параметры фотоприемников тесно связаны с условиями их эксплуатации. Поэтому при указании параметров производительности следует указывать соответствующие условия работы.

(1) Спектральное распределение источников излучения: отклик фотоприемника зависит от длины волны падающего излучения, и на выходе сигнала имеется только сигнал излучения в определенном диапазоне длин волн. Этот сигнал, называемый спектральным откликом, зависит от длины волны падающего света и определяет, насколько эффективно детектор может обнаружить конкретную цель. Следовательно, при определении характеристик детектора, как правило, следует указывать спектральное

распределение источника излучения, используемого для определения производительности. Например, монохроматический свет дает длину волны, черное тело дает температуру черного тела и т. д.

(2) Рабочая температура: производительность многих детекторов тесно связана с рабочей температурой, поэтому рабочую температуру необходимо уточнять. Например, комнатная температура (295K); Температура на льду (195K); температура жидкого азота (77K); Температура жидкого аммиака (4,2K) и температура жидкого аммиака (20,4K).

(3) Светочувствительный размер поверхности: сигнал и шум детектора связаны с площадью детектирующего элемента. Шум большинства детекторов пропорционален квадратному корню из светочувствительной площади поверхности, которая обычно составляет 1 см^2 .

(4) Ширина прохода цепи: поскольку шум ограничивает предельную производительность детектора, шумовое напряжение или ток пропорциональны квадратному корню из полосы пропускания, а некоторый шум является функцией частоты, поэтому ширина полосы пропускания и рабочая частота должны быть четкими при применении детектора.

(5) Случай смещения: большинство детекторов требуют некоторой формы смещения для правильной работы, и как сигнал, так и шум связаны с смещением, поэтому следует объяснить ситуацию смещения.

Важные параметры фотоприемников

Важными показателями, имеющими значение для оценки характеристик ЧР, являются квантовая эффективность (η), спектральная чувствительность (R), детектируемость (D^*) и эквивалентная мощность шума (NEP) [17–19]. Квантовая эффективность (η) PD состоит из внешнего квантового эффекта (EQE) и внутренней квантовой эффективности (IQE), определяемой как количество электронов, производимых каждым падающим фотоном во внешней цепи. В EQE все фотоны, излучающие свет на активную поверхность, представлены в виде [43]

1. Внешние квантовые эффекты (EQE)

$$EQE(\%) = \left(\frac{I_{ph}}{P_{opt}\lambda} \right) \times 124\% \quad (4)$$

где I_{ph} (A) - фототок, генерируемый падающим светом, падающим на устройство, P_{opt} (W) - оптическая мощность падающего фотона, λ (нм) - длина волны активной области, на которую падает падающий фотон на устройство.

2. Отзывчивость (R)

Спектральная чувствительность R является важным параметром, непосредственно связанным с квантовой эффективностью PD, который описывает способность детектора выдавать полезный электрический сигнал при определенном падающем световом сигнале. Чувствительность может быть выражена как отношение фототока, генерируемого в PD, к единице падающей оптической мощности и может быть выражена в виде образца

$$R = \left(\frac{I_{ph}}{P_{sample}} \right) \quad (5)$$

Здесь

$$I_{ph} = I_{illu} - I_{dark}$$

$$I_{sample} = P \times A$$

где I_{illu} — фототок, I_{dark} темный ток, P - плотность оптической мощности света освещения, A - эффективная площадь устройства.

Взаимосвязь между чувствительностью (R) и EQE следующая:

$$R = \frac{EQE(\%) \times \lambda (nm)}{1240 \times 100} A/W \quad (6)$$

3. Параметры шума

Из-за наличия шума, когда сигнал маленький, он будет заглушен шумом и не может быть измерен.

(1) Отношение сигнал/шум (сигнал/шум)

Отношение мощности сигнала, генерируемого на сопротивлении нагрузки, к мощности шума

$$\frac{S}{N} = \frac{P_S}{P_N} = \frac{I_S^2 R_L}{I_N^2 R_L} = \frac{I_S^2}{I_N^2} \quad (7)$$

В инженерных приложениях децибелы (dB) часто используются для описания отношения сигнал/шум, которое определяется следующим образом

$$\frac{S}{N} \text{ (dB)} = 101g\frac{I_s^2}{I_n^2} = 201g\frac{I_s}{I_n} \quad (8)$$

I_s и I_n являются максимальными и минимальными фототоками, которые могут быть обнаружены в линейном диапазоне соответственно.

(2) Эквивалентная мощность шума (NEP)

Эквивалентная мощность шума равна $S/N = 1$, поток оптического излучения, падающий на детектор

$$\text{NEP} = \frac{\phi_e}{S/N} \quad (9)$$

Чем меньше NEP, тем меньше минимальный поток излучения, который может обнаружить детектор, и тем лучше производительность устройства.

4. Коэффициент обнаружения D и нормализованный коэффициент обнаружения D*

Частичные разряды с более высоким уровнем обнаружения обладают большей способностью обнаруживать слабые входные сигналы и противодействовать шуму детектора. Чтобы описать способность детектора к обнаружению, определите величину, обратную NEP, как скорость обнаружения D

$$D = \frac{1}{\text{NEP}} = \frac{S/N}{\phi_e} (W^{-1}) \quad (10)$$

На величину NEP фотоприемника влияет площадь A детектора и ширина полосы пропускания измерительной системы. Чтобы сравнить различные типы фотоприемников, необходимо устранить влияние A_d и ширины полосы, поэтому степень обнаружения (D^*) можно рассчитать с помощью уравнения (11).

$$D^* = \frac{A^{\frac{1}{2}}R}{(2qI_{dark})^{\frac{1}{2}}} \quad (11)$$

где A – эффективная площадь устройства при освещении, q — заряд электрона.

Используйте эту формулу для расчета частоты обнаружения (D^*) в зависимости от длины волны падающего. Для фотоприемников, чем выше скорость обнаружения D^* , тем сильнее их способность обнаруживать наименьший оптический сигнал.

1.3 Органические фотоэлектронные умножители

1.3.1 Структура и принцип работы

Подобно принципу работы органических фотоэлектрических элементов (OPV), органические фотоэлектронные детекторы ОРМ состоят из нескольких слоев органического материала, помещенного между двумя электродами. Вкратце это можно описать следующим образом:

Когда фотон попадает в устройство, он поглощается органической молекулой с образованием экситона, который диффундирует или перемещается через органический материал, пока не достигнет границы раздела между органическим слоем и электродом, где он может быть диссоциирован на свободный электрон и дырку. Электрон и дырка затем собираются катодом, создавая электрический сигнал, пропорциональный количеству поглощенных фотонов.

Ключевой особенностью явлений фотоумножения ОРМ является их способность усиливать электрический сигнал, генерируемый первоначальным поглощением фотонов. Это достигается за счет процесса, известного как умножение носителей или "синглетное деление", которое происходит, когда из одного экситона образуется несколько электронно-дырочных пар. В обычных фотоприемниках при поглощении одного фотона может образоваться только одна электронно-дырочная пара, что ограничивает общую эффективность устройства. ОПМ, с другой стороны, могут достичь

более высокой чувствительности за счет образования нескольких электронно-дырочных пар на каждый поглощенный фотон.

Для достижения синглетного деления ОРМ обычно используют материалы с узким зазором, которые могут поглощать высокоэнергетические фотоны и производить несколько экситонов. Затем эти экситоны могут быть перенесены на отдельный слой внутри устройства, где они диссоциируют на свободные электроны и дырки, создавая более мощный электрический сигнал. В отличие от IPD, явления РМ не могут быть реализованы с помощью лавинного эффекта и принципа коллизионной ионизации в органических материалах из-за их беспорядочной природы и высокой энергии связи экситонов [20,21]. Вместо этого наличие межфазной ловушки, способствующей туннельной инжекции заряда, может привести к эффектам РМ, которые приводят к высокой внешней квантовой эффективности (ВКЭ), превышающей 100%. Однако применение фотопроводников в высокочастотных оптических демодуляторах ограничено, например, в оптическом смешивании. Для обнаружения низких уровней на микроволновых частотах РС-OPD демонстрируют низкую скорость и отношение сигнал/шум. Как наиболее широко изученный OPD, PD-OPD демонстрирует отличные характеристики с точки зрения фоточувствительности и фоторезонанса. Тем не менее, их EQE теоретически меньше 100% из-за неизбежных потерь энергии в процессе фотоэлектрического преобразования. [11,21] Тем не менее, эффект РМ также может быть внедрен в PD-OPD для преодоления предела EQE путем рационального проектирования структуры устройства и пренебрежения снижением скорости обнаружения. Однако время отклика одновременно увеличивается из-за постоянного процесса накопления заряда.

Базовая структура

Подобно органическим солнечным элементам [22-24], структура детекторов органических фотоумножителей в основном включает два типа: элементный

переход и объемный гетеропереход, а их принципиальная схема показана на рисунке 3. Самый ранний предложенный органический детектор фотоумножителя содержит три части: анод, активный слой и катод, зажатый между двумя электродами, активный слой состоит из одного органического соединения N-типа или P-типа, этот тип устройства называется устройством элементного перехода [25-27], а его структура показана на рисунке 3 (а). Активный слой другого устройства представляет собой гибридный материал дон/акцептор (D/A), называемый объемным гетеропереходным устройством [28-30], и его структура показана на рисунке 3(b). В дополнение к этим двум классическим структурам органические солнечные элементы имеют третью типичную структуру, то есть двухслойную гетеропереходную структуру, активный слой которой укладывается полупроводниковой пленкой N-типа и полупроводниковой пленкой P-типа, в то время как двойной гетерогенный активный слой не изучался в отчете об органических детекторах фотоумножителей. На практике проводится большая работа по введению слоя модификации границы раздела между электродом и активным слоем элементарного перехода или объемного гетероперехода для реализации преобразования характеристик фоторазмножения с нуля [31-33] или дальнейшего улучшения характеристик фоторазмножения [34,35]. Кроме того, легирование других материалов в активном слое также является важным средством для улучшения характеристик фоторазмножения устройства [36-40]

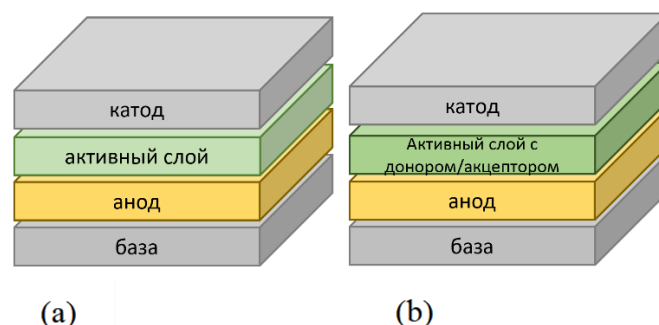


Рисунок 1.3. – (а) Элементный гетеропереход детекторов органических фотоумножителей;

(b) Объемный гетеропереход детекторов органических фотоумножителей.

Принцип работы

Неорганические лавинные фотодиоды реализуют умножение и усиление фотоэлектрических сигналов на основе эффекта ионизации столкновения. Напротив, принцип работы органических детекторов фотоумножителей заключается в использовании электронных ловушек для помощи дыркам в формировании туннельного эффекта или в использовании дырочных ловушек для помощи электронам в формировании туннельного эффекта, так что большое количество носителей во внешней цепи вводится в петлю и, наконец, достигает внешней квантовой эффективности намного более 100%. В частности, когда металлический электрод вступает в контакт с органическим полупроводниковым слоем, уровень энергии Ферми металлического электрода отличается от уровня Ферми органического полупроводникового материала, что приводит к изгибу зоны на его границе, то есть образуется переход (Schottky)[41-43]. Когда уровень Ферми металлического электрода выше, чем уровень Ферми органического полупроводникового материала, электроны будут течь из металла в органический полупроводник, образуя встроенное электрическое поле от электрода, указывающего на слой органического полупроводника, и его изгиб полосы показан на рисунке 4 (а), то есть образуя изгиб вниз на границе раздела органического материала, который предотвращает диффузию отверстий в органическом полупроводнике в электрод. Для достижения изгиба полосы, показанного на рисунке 4 (а), часто необходимо использовать маломощные функциональные электроды, такие как Ag, Al, Mg и т. д. Когда уровень Ферми металлического электрода ниже, чем уровень Ферми органического полупроводникового материала, электроны будут поступать в электрод из органического полупроводника, образуя встроенное электрическое поле от слоя органического полупроводника к электроду, и его изгиб полосы показан на рисунке 4 (е), то есть на границе раздела органического материала образуется

изгиб вверх, который предотвращает диффузию электронов в органическом полупроводнике в электрод. Изгиб ленты, показанный на рисунке 4 (e), может быть изготовлен с использованием мощных функциональных металлов, таких как Au, ITO, Pt и т. д. На практике электрод может быть модифицирован для регулировки рабочей функции электрода и далее Цель регулирования изгиба ленты [34].

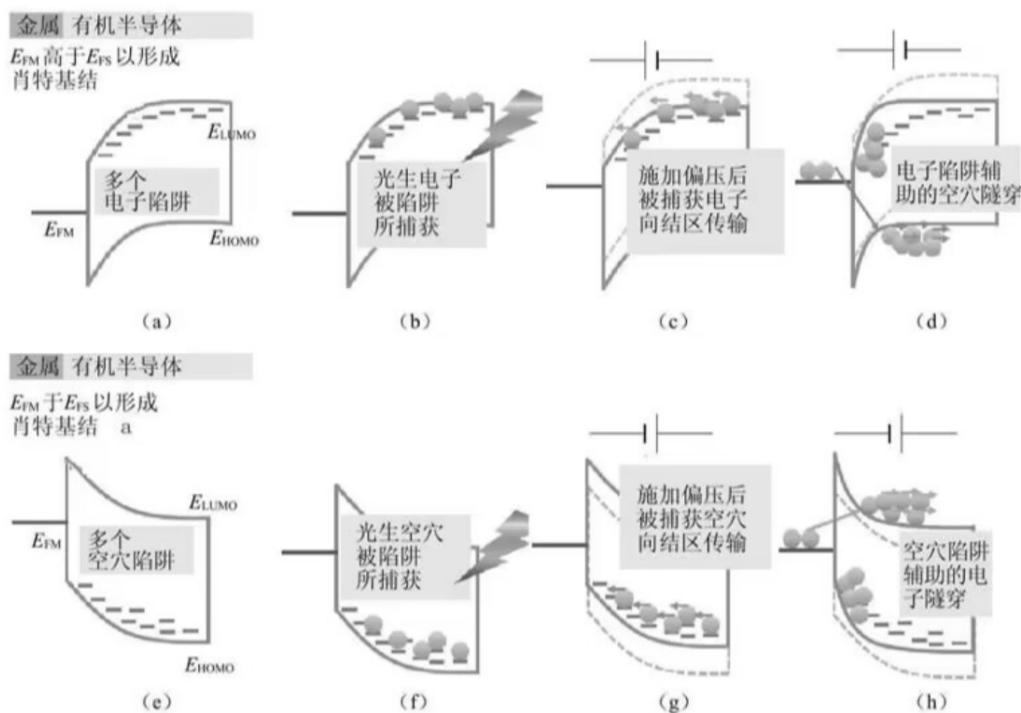


Рисунок 1.4. – (a) ~ (d) туннелирование дырок с помощью электронной ловушки и; (e) ~ (h) Принципиальная схема принципа туннелирования электронов с помощью детектора органических фотоумножителей с туннелированием электронов с помощью дырочной ловушки, E_{FM} металлического уровня Ферми, E_{LUMO} уровня LUMO для органических полупроводников, E_{LUMO} уровня НОМО для органических полупроводников; (a) (e) диаграмма изгиба полосы без смещения; (b) (f) фотогенерируемые носители захватываются ловушками; (c) (g) носители-ловушки передаются в область соединения после применения смещения; (d) (h) Прибытие носителей-ловушек в область перехода приводит к

туннелированию носителей во внешней цепи в полупроводник, что приводит к эффекту умножения тока.

Когда в органическом полупроводниковом материале имеется большое количество дырок или электронных ловушек, носители, захваченные этими ловушками, будут передаваться в область перехода между органическим полупроводником и электродом под действием приложенного напряжения, вызывая сужение барьера перехода Шоттки и осуществление умножения тока. Например, в случае большого количества электронных ловушек в органических полупроводниках, как показано на рисунке 4(а), фотогенерируемые электроны сначала захватываются электронными ловушками после освещения, как показано на рисунке 4(б). Когда прямое смещение применяется в электрической экстремации, электроны-ловушки передаются в область перехода Шоттки под действием приложенного электрического поля, как показано на рисунке 4 (с). В области перехода Шоттки прибытие этих электронов сужает переход Шоттки и увеличивает напряженность электрического поля в области перехода, тем самым заставляя отверстия во внешней цепи туннелировать большое количество отверстий от электродов в органический полупроводник и, наконец, достигать эффекта умножителя тока, как показано на рисунке 4 (d). Этот туннельный эффект использования электронных ловушек для содействия образованию дырок является принципом органических детекторов фотоумножителей для достижения квантовой эффективности более 100%. В случае большого количества дырочных ловушек в органических полупроводниках, как показано на рисунке 4(е), после освещения фотогенерируемые отверстия сначала захватываются дырочными ловушками, как показано на рисунке 4(f), когда на одном конце электрода применяется обратное смещение, фотогенерируемые отверстия захватываются ловушкой и передаются в область перехода Шоттки под действием приложенного электрического поля, как показано на рисунке 4(g). В области перехода Шоттки появление этих

дырок сужает переход Шоттки и увеличивает напряженность электрического поля в области перехода, тем самым заставляя электроны из внешней цепи туннелировать большое количество электродов в органический полупроводник, как показано на рисунке 4 (h). Выше приведен эффект туннелирования электронов, которому способствуют дырочные ловушки в органических детекторах фотоумножителей. Детекторы органических фотоумножителей можно разделить на два разных типа: низкомолекулярные и полимерные из-за различных материалов их активного слоя.

1.3.2 Оптимизация производительности органических фотоэлектронных умножителей.

Повышение квантовой эффективности – квантовая эффективность является ключевым показателем производительности фотодетекторов, а устройства с более высокой квантовой эффективностью имеют более высокую скорость отклика и, соответственно, устройства более чувствительны. Другими словами, при одинаковой интенсивности падающего света, чем выше квантовая эффективность устройства, тем больше фототок. Таким образом, повышение квантовой эффективности является важным аспектом оптимизации производительности фотоприемника.

Уменьшение темнового тока – уменьшение темнового тока фотоприемника полезно для получения более высоких показателей обнаружения. Когда скорости отклика различных устройств сопоставимы, устройство с меньшим темновым током имеет меньшую эквивалентную мощность шума, что позволяет зондирующему оптическому сигналу быть слабее.

Улучшение скорости отклика – скорость отклика фотоприемников также представляет интерес для исследователей. Одним из ключевых шагов в генерации тока фотоумножителя является то, что носитель захватывается

ловушкой и дрейфует к области перехода Шоттки под действием электрического поля, процесс, который требует времени и обычно реагирует медленно.

1.4 Материалы на основе хлорофилла

Хлорофилл - это фотосинтетический пигмент, присутствующий в зеленых листьях, который представляет собой природный органический полупроводник, который очень эффективно поглощает свет и имеет меньшее содержание в красной части электромагнитного спектра и больше в синей части; Расположение молекул на энергетическом уровне может быть спроектировано и оптимизировано в любой гибридной молекулярной системе. Хлорофилл привлек широкое внимание к оптическим датчикам [41], органической фотовольтаике [42], искусственным фотосинтетическим материалам [43-44] и другим аспектам. Биомиметические неорганические или органические фототранзисторы с хлорофиллом в качестве сенсibilизаторов демонстрируют хорошие характеристики фотоотклика, включая сверхвысокий коэффициент усиления и отзывчивость, благодаря большой поглощающей способности и удивительной стабильности [45-46]. Однако PD на основе хлорофилла встречаются редко и ограничиваются несколькими исследованиями, такими как хлорофилл / графен - [42] хлорофилл / оксиды металлов - [47] и хлорофилл / органические полупроводниковые приборы [45]. Фотодетекторы в соответствии с экспериментальными методами и измерениями (например, открытие Мауланы и т.д.). Фотоприемники имеют различную поглощающую способность в определенных нанометровых диапазонах длин волн. По мере увеличения освещенности выходное напряжение и выходной ток уменьшаются. Чем выше его концентрация, тем выше выходное напряжение и ток [46]. Хлорофилл быстро поглощает

электроны в свете, что делает его пригодным в качестве слоя для переноса электронов.

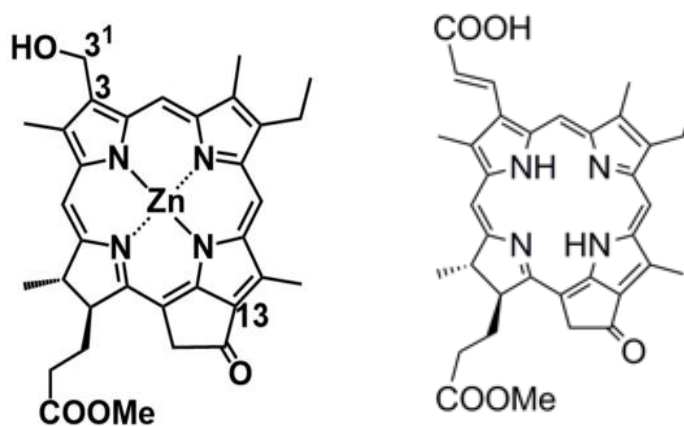


Рисунок 1.5. – Молекулярные структуры ZnChl (слева) и H₂Chl (справа), использованные в нашем исследовании

ГЛАВА 2. Материалы и методы исследования

2.1 Экспериментальные материалы

Структура устройства фотодетектора, используемого в данной работе, следующая: Ag / ZnChl / m-TiO₂-H₂Chl / c-TiO₂ / FTO. Приведенные выше названия хлорофиллов являются самоназванными сокращениями, а материалы хлорофиллов подробно описаны в подразделе 2.4.1 Подготовка материалов ниже.

В органических фотоэлектронных умножителях (ОПМ), использующих легированный фтором оксид олова (FTO) в качестве подложки, ZnChl и H₂Chl обычно используются в качестве донора и акцептора электронов, соответственно.

Прорыв в сенсibilизированных красителем клетках заключается в использовании мезопористого диоксида титана (m-TiO₂) с высокой площадью внутренней поверхности для поддержки монослоя сенсibilизатора красителя. Несмотря на то, что в сенсibilизированных красителями клетках использовался ряд других оксидов металлов, наивысшая эффективность по-прежнему достигается с m-TiO₂, который имеет три встречающиеся в природе кристаллические формы, причем фаза рутила обладает наивысшей термической стабильностью, а фаза анатаза наиболее подходит для сенсibilизированных красителями клеток. Это объясняется тем, что анатазная фаза имеет более высокий зазор и более высокий уровень энергии дна полосы проводимости при одинаковой концентрации электронов в полосе проводимости, что позволяет получить более высокое напряжение разомкнутой цепи ячейки. Благодаря постоянным усилиям, TiO₂ в сенсibilизированных красителем ячейках получил огромные улучшения в оптическом поглощении, оптическом рассеянии, переносе заряда и ингибировании комплексообразования заряда. Электродная структура TiO₂ в

современных сенсibilизированных красителями ячейках обычно состоит из следующих компонентов: барьерный слой TiO_2 толщиной около 50 нм, который предотвращает прямой контакт между электролитом/материалом для переноса заряда и проводящим стеклом FTO; мезопористый поглощающий слой диоксида титана толщиной около 10 мкм, который обеспечивает большую площадь поверхности для адсорбции красителя; и, поверх мезопористого слоя, светорассеивающий слой толщиной около 3 мкм, который состоит из частиц размером 400 нм. Наконец, всю структуру покрывает ультратонкий слой TiO_2 , который обычно получают путем химического осаждения водного раствора TiCl_4 с последующим отжигом для получения хлорофилла и диоксида титана в качестве светопоглощающего и электронно-транспортного слоев, соответственно, в детекторе ОРМ на основе FTO. Хлорофилл обычно включается в органический слой, а диоксид титана осаждается на подложку FTO.

Материалы синтезированы следующим образом:

Стеклоподложка из оксида олова, легированного фтором (FTO), была приобретена в компании OPV Tech Ltd.

Плотный TiO_2 (c- TiO_2), синтезирован путем смешивания этанола: HCl : изопропилтитаната в соотношении 100:1:100 в пробирке, следя за тем, чтобы кончик пистолета глубоко погружался в жидкость и был готов к использованию, чтобы не подвергаться окислению на воздухе.

Для мезопористого TiO_2 (m- TiO_2), шаг синтеза заключался в массовом соотношении 1:2 коллоидного мезопористого TiO_2 к этанолу, перемешивании в течение ночи (>8ч) в магните.

2.2 Экспериментальное оборудование

Спектры поглощения UV/Vis/NIR в этом исследовании регистрировали на спектрофотометре Shimadzu UV -3100. Уровни энергии ВЗМО клеток CHL и PC71BM измеряли с использованием интегрированной системы сверхвысокого вакуума, оснащенной мультитехнологической системой анализа поверхности (VG Scienta R3000) и ультрафиолетовой фотоэлектронной спектроскопией (UPS). Морфологию тонких пленок Хл, изготовленных в условиях окружающей среды, анализировали с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) в полуконтактном режиме с использованием прибора Bruker в тех же условиях, что и производственное оборудование. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDAX), инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье (FTIR) (NICOLET) на сканирующем электронном микроскопе Marlin (6700) и рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) использовались для проверки наличия функциональных групп в образцах. Характеристики химической структуры Хл определены методом рамановской спектроскопии.

Вольт-ампер (Дж - В) PD измеряли с помощью управляемой компьютером измерительной системы Keithley 2400 Source с фильтром AM1,5g и откалиброванной интенсивностью освещения 100 МВт/см^2 . Стандартные параметры кремния используют Crown- TechqTest Station1000AD для измерения внешней квантовой эффективности (EQE). и внутренняя квантовая эффективность (IQE) в воздухе в условиях короткого замыкания. Он был оснащен дуговой лампой Хе мощностью 100 Вт, колесом фильтров и блокирующим усилителем (CrowtechQTest Station1000ad, SOFN Instruments Ltd.). Эффективная площадь 0,04 контролируется металлической маской. Данные о производительности взяты в среднем из десяти независимо изготовленных солнечных батарей.

2.2.1 УФ-видимый – ближний инфракрасный спектр поглощения

В ультрафиолетовом и видимом диапазонах ближнего инфракрасного диапазона представляет собой аналитический метод, с помощью которого можно определять оптические свойства (показатель преломления, коэффициент отражения и поглощение) жидкостей и твердых тел, называемые УФ/ВИД/БИК. УФ: ультрафиолет, ультрафиолетовый свет; ВИД: видимый, видимый; БИК: ближний инфракрасный, ближний инфракрасный. Его можно использовать для характеристики полупроводниковых материалов, покрытий, стекол и многих других исследовательских и производственных материалов. Работает в оптическом диапазоне от 175нм до 3300нм. Когда полупроводниковый материал поглощает определенное количество энергии излучения, σ -электроны одинарной связи, π -электроны двойной связи и неподеленная электронная пара n -электронов в молекуле материала перескакивают на более высокий энергетический уровень, а переход валентных электронов образует спектр поглощения. Таким образом, с помощью УФ/ВИД/БИК электронных переходов внутри молекул или ионов можно использовать для анализа компонентов и содержимого тестируемых образцов.

В данной работе используется спектрометр Shimadzu UV-3100 из Японии. Соответственно для однородного слоя косенсибилизированного мезопористого диоксида титана ($m\text{-TiO}_2$) - пленка $\text{H}_2\text{Chl}+\text{ZnChl}$, пленки ZnChl и однородного слоя косенсибилизированного мезопористого диоксида титана ($m\text{-TiO}_2$) - пленка H_2Chl Структура многослойной пленки была охарактеризована, и перед испытанием образцов был проведен контрольный образец для калибровки (как показано на рис. 2.1).

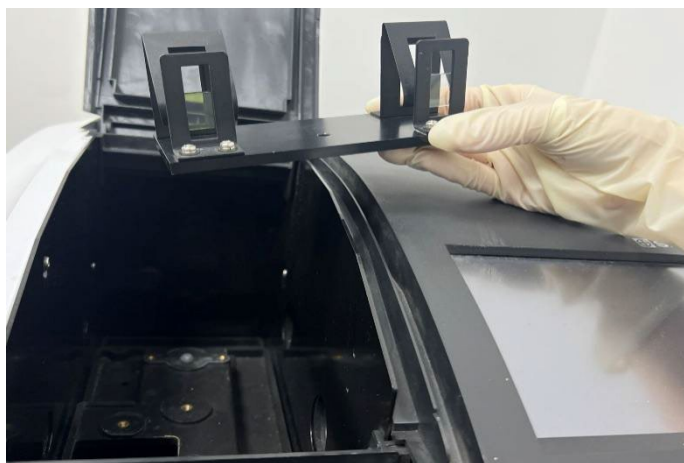


Рисунок 2.1 – Только пленка ZnChI с центрифугированием на стеклянной пластине FTO и калибровка холостого опыта на стеклянной пластине FTO .

2.2.2 Атомно-силовая микроскопия

Система атомно-силового микроскопа (Atomic Force Microscope , AFM) использует крошечный кантилевер для обнаружения изменений силы Ван-дер-Ваальса между атомами . Объектами исследования атомно-силовой микроскопии могут быть органические твердые тела, полимеры и биологические макромолекулы. Носители образцов могут быть выбраны в широком диапазоне, включая чешуйки слюды, стеклянные чешуйки, графит, полированные чешуйки кремния, диоксид кремния и некоторые биологические пленки. .

В данной работе использовался BioScope производства американской компании Veeco. II атомно-силовой микроскоп для характеристики фотодетектора с тонкой пленкой ZnChI и фотодетектора без тонкой пленки ZnChI морфологии поверхности и среднеквадратичного значения шероховатости поверхности.

2.3 Синтез материалов и подготовка устройств

2.3.1 Подготовка материалов

Среди них производные хлорофилла транс 3²-карбокситранс-пирофеофорбид-а (H₂Chl) [49,50], 3-винил-3-гидроксиметил-цинк-пирофеофорбид-а Агрегат (ZnChl) [51] разработан Х. Тамиаки. Синтезированные с командой С. Сасаки, вышеупомянутые названия хлорофиллов не будут упоминаться ниже, и все они представлены аббревиатурами. Процесс синтеза хлорофилла показан на рисунке 2.2.

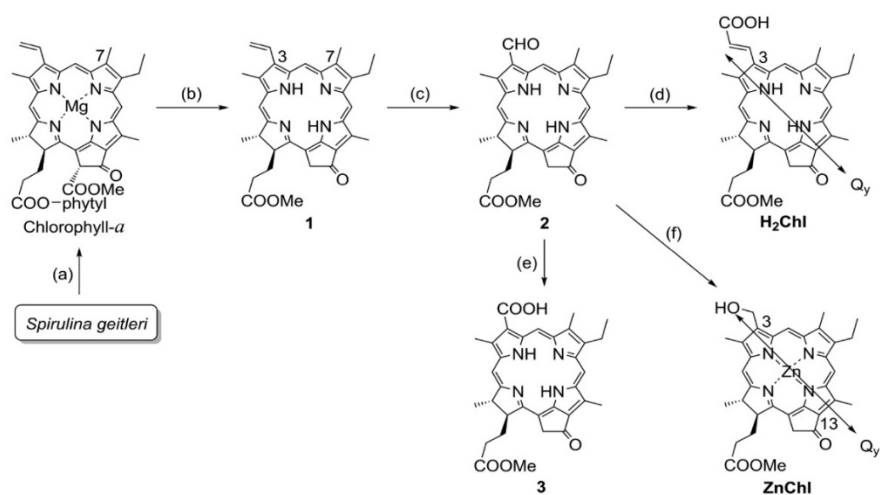


Рисунок 2.2. – Блок -схема синтеза H₂Chl и ZnChl.

2.4.2 Подготовка устройств

Устройство изготавливается в четыре этапа, первый из которых - спин-покрытие плотных пленок с-TiO₂, второй и третий - синтез пленок m-TiO₂-H₂Chl, а четвертый - капельное покрытие пленок ZnChl. Подробности следующие.

На первом этапе плотные пленки с-TiO₂ были приготовлены методом спин-коатинга из раствора. В этом эксперименте для нанесения спинового покрытия использовался настольный гомогенизатор KW-4A с установленной

скоростью 4000 об/мин в течение 30 с. После закрепления подложки FTO в гомогенизаторе, 100 мкл с-TiO₂ добавлялись вертикально и равномерно к центру с помощью наконечника пистолета, и пленка подвергалась спиновому покрытию с установленной скоростью после того, как с-TiO₂ растекался. Затем пленка отжигалась с помощью керамической магнитной нагревательной мешалки при 200°C в течение 5 минут для отрыва, помещалась в фарфоровую лодочку и спекалась в высокотемпературной муфельной печи при 500°C в течение 30 мин. После того, как температура снова снизилась до комнатной, пленка подвергалась воздействию ультрафиолетового озона в течение 20 мин.

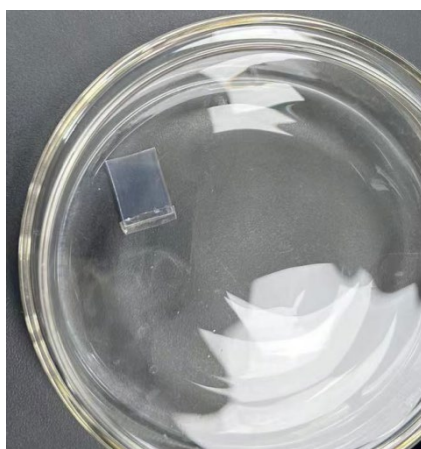


Рисунок 2.3 – Стеклопластина FTO, защищенная липкой лентой.

На втором этапе мезопористые пленки m-TiO₂ получают методом спин-коутинга. Повторите подготовку, нанеся ленту для защиты проводящего слоя FTO. Мезопористый TiO₂, приготовленный в разделе 2.1 и перемешанный в течение ночи, был нанесен методом спин-покрытия с помощью настольного гомогенизатора со скоростью 2000 об/мин в течение 30 с. Операции нанесения пленки, отжига и спекания в печи на первом этапе были повторены и здесь не повторяются. (Операция нанесения спинового покрытия показана на рисунке 2.4)

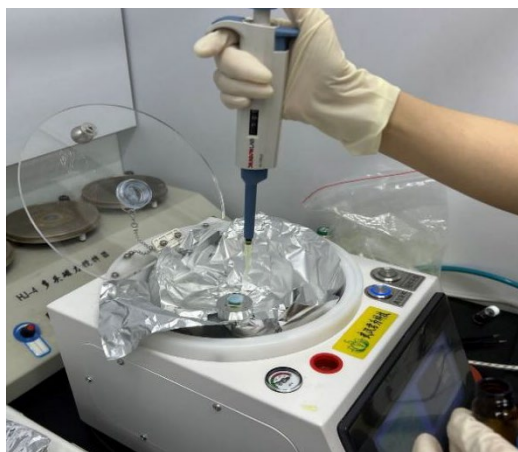


Рисунок 2.4 – Мезопористая пленка $m\text{-TiO}_2$ с центрифугированием.

На третьем этапе пропитайте раствор TiCl_4 и раствор H_2Chl . Сначала подготовьте раствор TiCl_4 : 67мкл TiCl_4 плюс 10 мл сверхчистой воды. Поместите устройство с мезопористой пленкой TiO_2 вверх дном в промытый сосуд. Опустите край и центр устройства в раствор TiCl_4 , как показано на рис. 2.5, используя пипетку с резиновым наконечником, стараясь не допустить образования пузырьков воздуха и не капать на обратную сторону (если капли попали на обратную сторону, промойте и высушите сверхчистой водой). После этого переверните другой сосуд и залейте сверхчистой водой, чтобы запечатать края, чтобы устройство не попало в воздух, затем поместите в высокотемпературный сушильный шкаф типа GFL-45 для пропитки на 1 ч, а затем снова поместите в муфельную печь для спекания при 500°C в течение 30 мин.

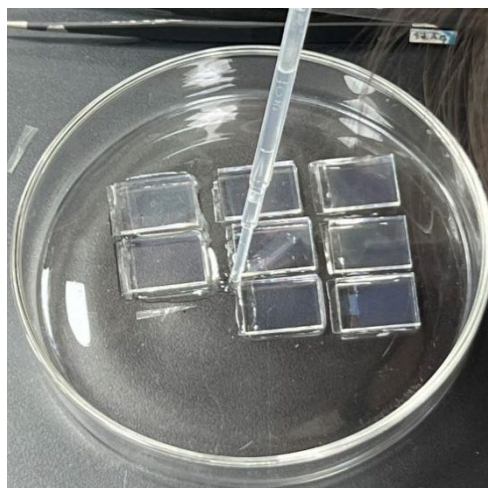


Рисунок 2.5 – Иммерсионный раствор $TiCl_4$.

После того, как таблетки опустятся до комнатной температуры, пропитайте их раствором H_2Chl (взвесьте 1 мг/мл H_2Chl плюс 10 мл безводного этанола). Планшеты помещают под прямым углом, стараясь, чтобы они были без таблеток, запечатывают герметиком (как показано на рис. 2.6) и оставляют в темноте на 6-8 ч, не слишком долго, иначе реактив, проявляющий кислотность, разрушит пленкообразование на планшетах. Выньте, промойте и высушите спиртом и перенесите в перчаточный бокс, где все показатели воды и кислорода ниже 0,1 ppm.

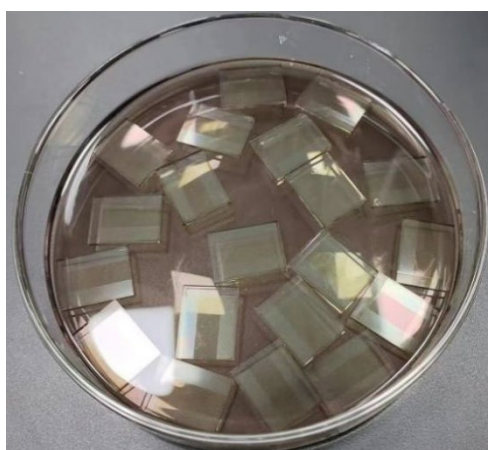


Рисунок 2.6 – Погружение в раствор H_2Chl

На четвертом этапе пленки $ZnChl$ наносили по каплям. Подготовленные 10 мг/мл порошкообразного $ZnChl$ растворяли в растворе тетрагидрофуран:

хлороформ = 3:1 в перчаточном боксе, установленном на 2000 об/мин в течение 60 с. После отжима наносили быструю вертикальную каплю 20 мкл на пистолет. В конце отжима проводили отжиг при 200°C в течение 3 мин.

Наконец, электрод Ag был осажден из пара в вакууме $4,5 \times 10^{-4}$ Па. Ag был осажден из пара со скоростью 0,1 нм/с с толщиной 45 нм и эффективной площадью 0,04 см², в результате чего было получено готовое устройство фотодетектора Ag/ZnChl/m-TiO₂-H₂Chl/c-TiO₂/FTO.

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

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 Физика

ООП/ОПОП Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б91	Ван Сьи

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

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

<p>1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i></p>	<p>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</p>
<p>2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> - 30% премии; - 20% надбавки; - 16% накладные расходы; - 30% районный коэффициент
<p>3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i></p>	<p>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов исследования Проведение анализа конкурентоспособности
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Цели и результаты проекта Организационная структура проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Структура работ в рамках научного исследования Разработка графика проведения научного исследования Бюджет научно-технического исследования
Перечень графического материала	
1. Оценка конкурентоспособности ИП 2. Матрица SWOT 3. Диаграмма Ганта 4. Бюджет НИ 5. Основные показатели эффективности НИ	

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Верховская.М.В	к.э.н, доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Ван Сый		

ГЛАВА 4. Финансовый менеджмент

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Цель данной ВКР – Путем изменения структуры фотоприемника исследуется возможность увеличения обнаружения фотоприемника в состоянии обратного смещения для усиления внешнего квантового эффекта (EQE) и уменьшения плотности темнового тока. EQE составляет более 100%.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Поэтому потенциальными потребителями могут быть заводы по производству фотодетекторов, предприятия или компании, лаборатории.

В таблице 4.1 представлены потенциально заинтересованные стороны проекта.

Таблица 4.1 – Заинтересованные стороны проекта

Организации	Ожидания организаций
Завод	Использование результатов для улучшения промышленных процессов
Предприятие или компания	Использование результатов для разработки коммерческих продуктов для фотоприемников
Лаборатории	Использование результатов для создания благоприятных условий для заводов и компаний

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, направленный на оценку сравнительной эффективности научной разработки, был проведен с помощью оценочной карты, представленной в таблице 4.2.

В качестве конкурентов рассматриваются: К1: фототранзистор хлорофилл/графен, К2: детектор фиолетового цвета монослой графен/TiO₂.

Таблица 4.2 – Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
1. время отклика	0,04	5	3	3	0,2	0,12	0,12
2. эквивалентная мощность шума	0,13	5	4	2	0,65	0,52	0,26
3. отношение светового к темному току	0,05	4	1	5	0,2	0,05	0,25
4. обнаружительная способность	0,08	5	2	3	0,4	0,16	0,24
5. Спектральная чувствительность	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. внешний квантовый эффект	0,06	5	2	2	0,3	0,12	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Реализация продукта	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Уровень охвата рынка	0,03	4	5	3	0,12	0,15	0,09
3. Предполагаемая цена	0,08	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Финансирование научной разработки конкурентных товаров и разработок	0,03	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,03	5	5	5	0,15	0,15	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,03	5	4	4	0,15	0,12	0,12
Итого	1	82	64	64	4,89	3,75	3,59

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

4.1.3 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки (таблица 3). Описание сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта, его возможностей и угроз происходило

на основе результатов анализа, проведенного в предыдущих разделах бакалаврской работы.

Таблица 4.3 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>С1. Высокая скорость исследования С2. Высокая точность исследования благодаря Многослойная структура органических ячеек С3. Руководство с теоретическими знаниями</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта</p> <p>Сл1. Эксперименты проводились в лабораторных условиях, что означает, что механические характеристики могут отличаться в реальных промышленных процессах Сл2. Эксперименты нужно проводить несколько раз, чтобы быть строгими. Сл3. Необходимость в наличии высоких вычислительных мощностей</p>
<p>Возможности</p> <p>В1. Возможность прогнозировать механические свойства В2. Дальнейшее усовершенствование разработки</p>	<p>Направления развития</p> <p>В1С1.Высокоскоростные, экономически эффективные исследования позволят увеличить количество компонентов, необходимых для большого числа приложений, таких как космические спутники. В2С2. Дальнейшее развитие не займет много ресурсов из-за схожей простоты фотоприемников сэндвич-структуры с</p>	<p>Сдерживающие факторы</p> <p>В1Сл3. Требуются компьютерные вычисления В2Сл1. Требуется несколько экспериментов для определения факторов воздействия.</p>

	традиционными ячеистыми структурами	
Угрозы У1. Результаты эксперимента нестабильны	Угрозы развития У1С2. Из - за нестабильных результатов эксперимента необходимо несколько контрольных групп для определения влияющих факторов	Уязвимости У1Сл1. Эксперимент нужно повторять несколько раз

В результате SWOT-анализа можно сделать вывод, что преимущества разработанного фотоэлектронного детектора в настоящее время явно перевешивают его недостатки. Существующие недостатки могут быть устранены путем использования описанных выше возможностей.

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
----------------	-------	------------------	-----------------------

Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	Студент-инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	Студент-инженер
	4	Выбор методов исследования	Студент-инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	Студент-инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	Студент-инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	Студент-инженер
	8	Оценка эффективности результатов	Научный руководитель
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Составление пояснительной записки	Студент-инженер
	10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Студент-инженер
	11	Социальная ответственность	Студент-инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ использована следующая формула:

$$t_{\text{ож}i} = \frac{3t_{\text{min}i} + 2t_{\text{max}i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{min}i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{\text{max}i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{\text{ож}i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожид}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1		4		2,2		2,2	3
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1	1	4	4	2,2	2,2	2,2	3
3. Обзор научной литературы		16		32		22,4	22,4	33
4. Выбор методов исследования		16		30		21,6	21,6	32
5. Планирование эксперимента		60		90		72	72	108
6. Проведение эксперимента		16		30		21,6	21,6	32
7. Анализ полученных результатов НИР		4		8		5,6	4,2	6
8. Оценка эффективности результатов		4		8		5,6	4,2	6
9. Составление пояснительной записки		6		18		10,8	10,8	16
10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		14		20		16,4	16,4	24
11. Социальная ответственность		40		50		44	44	3

Итого	2	193	8	314	4,4	233,4	238,4	275
--------------	---	-----	---	-----	-----	-------	-------	-----

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – студент-инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ													
				февр			март			апр			май				
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1	3														
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	3		■												
3	Обзор научной литературы	Исп2	33			■	■	■	■	■	■						
4	Выбор методов исследования	Исп2	32				■	■	■	■	■						
5	Планирование эксперимента	Исп2	108				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6	Проведение эксперимента	Исп2	32				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	66							■	■	■	■	■	■	■	■
8	Оценка эффективности результатов	Исп2 Исп3	13										■	■	■	■	■
9	Составление пояснительной записки	Исп2 Исп3	13														
10	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Исп1	3														■
11	Социальная ответственность	Исп1	3														■

Примечание:

|||| – Исп 1 (научный руководитель)

■ – Исп 2 (студент-инженер)

4.2.3 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

4.2.3.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты на проведение исследования представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Затраты на проведение исследования

Наименование статей	Кол-во	Цена, руб./кг	Итого затраты, руб.
Хлорофилл (ZnChl и H ₂ Chl), кг	0,00018	200000	36
Диоксид титана (TiO ₂), кг	0.004	2100	8,4
FTO (F-допированный оксид олова), кг	0.004	600	2,4
Серебро (Ag), кг	0,006	7900	47,4
Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72, л	1	14	14
Рукавицы специальные, термостойкие – 6 мес.	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546-2002 ГОСТ 790-89	1	35	35
Очки защитные ГОСТ Р 12.4.013-97, шт.	1	58	58
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			228.2

4.2.3.2 Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов.

Таблица 4.8 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Центрифуга	1	7	32	32
2	Вытяжной шкаф	1	10	75	75
3	Вакуумная сушилка	1	10	25	25
Итого:					132 тыс. руб.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m,$$

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

Рассчитаем вытяжной шкаф, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Центрифуга:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = 0,143 \cdot 32 \cdot 4 / 12 = 1524 \text{ руб.}$$

Вытяжной шкаф:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = 0,1 \cdot 75 \cdot 4 / 12 = 2500 \text{ руб.}$$

Вакуумная сушилка:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m = 0,1 \cdot 25 \cdot 4 / 12 = 833 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 1524 + 2500 + 833 = 4857 \text{ руб.}$$

4.2.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 4.9).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_д} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.},$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; $F_д$ – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

– при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_д} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}.$$

Должностной оклад работника за месяц:

– для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_д) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{np} + k_д) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.},$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.9 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52/14	104/14
- выходные дни		
- праздничные дни		
Потери рабочего времени	48/5	24/10
- отпуск		
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	Z_{mc} , руб	k_{np}	k_d	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	12	25767,6
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	45	78439,5
Итого:								104207,1

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 25767,6 = 3865,1 \text{ руб.}$$

– для инженера:

$$Z_{дон} = k_{дон} \cdot Z_{осн} = 0,15 \cdot 78439,5 = 11765,9 \text{ руб.},$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

4.2.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяются по формуле:

Для руководителя:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (25767,6 + 3865,1) = 29632,7 \text{ руб.}$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = k_{внеб} (З_{осн} + З_{доп}) = 0,3 \cdot (78439,2 + 11765,9) = 27061,5 \text{ руб.}$$

$k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

4.2.3.5 Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

Накладные расходы в целом:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 \div 7) * k_{нр}$$

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

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ «Разработка и исследование органических фотоэлектронных детекторов на основе

хлорофилла, сенсibilизированных красителем (PMT-PDs)» по форме, приведенной в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
4857	228,2	104207,1	15630,6	56694,2	187031,9	37406,4	221723,5

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегральных показателей финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

4.4. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.12).

Таблица 4.12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Физико-механические свойства	0,1	3/0,3	5/0,5	3/0,3
2. Простота создания	0,15	3/0,45	5/0,75	4/0,6
3. Энергосбережение	0,15	3/0,45	5/0,75	4/0,6
4. Материалоемкость	0,20	5/1	5/1	5/1

ИТОГО	1	22/3,9	28/4,6	23/3,75
-------	---	--------	--------	---------

$$I_{p-вар1} = 3,9;$$

$$I_{p-вар2} = 4,6;$$

$$I_{p-вар3} = 3,75.$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{вари}$) по формуле:

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I_{финр}}.$$

(4)

$$I_{вар1} = \frac{3,9}{1} = 3,9, \quad I_{вар2} = \frac{3,75}{0,99} = 3,8, \quad I_{вар3} = \frac{4,6}{0,98} = 4,7.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	0,99	0,98
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,9	3,75	4,6
3	Интегральный показатель эффективности	3,9	3,8	4,7

4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Вар.1/Вар.2 = 0,8	Вар. 2/Вар. 1 = 0,9	Вар. 3/Вар. 1 = 1,2
		Вар. 1/Вар. 3= 1	Вар. 2/Вар. 3 = 0,8	Вар. 3/Вар. 2 = 1,2

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы.

1. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 81 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 70; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 17.

2. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 221723.5 руб;

3. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального финансового показателя ИР составляет 1, что является показателем того, что ИР является финансово выгодной по сравнению с аналогами;

2) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4.6, по сравнению с 3.9;

3) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 4.6, по сравнению с 3.9, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

Выводы: сравнительный анализ общих показателей эффективности показывает, что третий вариант больше подходит для лабораторных работ, так как является наиболее экономичным и ресурсосберегающим по сравнению с первым и вторым вариантами.

В этой части дипломной работы оценивается конкурентоспособность фотоэлектронных детекторов по сравнению с заводскими, коммерческими и лабораторными; рассчитан показатель, оценивающий перспективность данной технологии, который определяет уровень перспективности как «выше среднего». Был составлен перечень этапов работ и определена их трудоемкость, построен календарный план-график выполнения работ. Рассчитан ориентировочный бюджет на создание научной разработки, а также проведена оценка эффективности научного исследования с позиции ресурсосбережения и сравнительная эффективность разработки.

Инженерная школа ядерных технологий

Направление подготовки 03.03.02 Физика

ООП/ОПОП Физика

Отделение школы (НОЦ) Отделение экспериментальной физики

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
150Б91	Ван Сьи

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЭФ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	03.03.02 Физика

Тема ВКР:

Разработка высокоэффективных фотоэлектрических устройств на основе гетр структур, содержащих хлорофилл	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>Введение</p> <p>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</p> <p>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p><i>Объект исследования:</i> гетроструктуры Ag/ZnChl/m-TiO₂-H₂Chl/c-TiO₂/FTO с производными хлорофилла.</p> <p><i>Область применения:</i> фотоэлементы.</p> <p><i>Рабочая зона:</i> лаборатория для исследования высокотвердых материалов (Цилинский университет, КНР).</p> <p><i>Размеры помещения:</i> 8 м x 5 м x 3 м.</p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> центрифуга, вытяжной шкаф.</p> <p><i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> синтез ZnChl и H₂Chl, получение гетроструктур на их основе.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Специальные: должностная инструкция работника.</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 02.12.2019).</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).</p> <p>ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования (дата введения: 01.01.1979).</p>
<p>2. Производственная безопасность при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов 	<p><i>Вредные производственные факторы:</i> шум на рабочем месте, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность рабочей зоны.</p> <p><i>Опасные производственные факторы:</i> электрический ток.</p> <p><i>Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов:</i> противозумные наушники, вентиляция, кондиционирование воздуха, перчатки, респираторы.</p>
<p>3. Экологическая безопасность при эксплуатации</p>	<p><i>Воздействие на селитебную зону:</i> отсутствует.</p> <p><i>Воздействие на литосферу:</i> твердые отходы, использованный материал универсального индикатора pH.</p> <p><i>Воздействие на гидросферу:</i> смываемые с оборудования остатки МХене, растворенного в сульфите натрия.</p> <p><i>Воздействие на атмосферу:</i> испарение соляной кислоты.</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации</p>	<p><i>Возможные ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения:</i> авария, взрыв, загрязнение атмосферы отравляющими веществами.</p> <p><i>Наиболее типичная ЧС:</i> пожар в помещении.</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.И.	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б91	Ван Сьи		

ГЛАВА 5. Социальная ответственность

Исследование посвящено сенсibilизированным красителем органическим фотоумножителям хлорофилла для фотодетекции. Исследование проводилось в области полупроводниковых материалов. Размеры помещения: высота 8 м ширина 5 м длина 3 м площадь 120 м². Рабочее оборудование - центрифуга и вытяжной шкаф.

В ходе исследования были проведены следующие работы: синтез Ag / ZnChl / m-TiO₂-H₂Chl / c-TiO₂ / FTO гетерогенных структур, анализ их чувствительности и детектируемости и EQE.

Для оценки безопасности исследований характеристик фотодетекторных устройств в этой части ВКР необходимо рассмотреть правовые и организационные аспекты безопасности; потенциально вредные и опасные факторы и способы снижения их воздействия; экологическую безопасность научных проектов и безопасность в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Организации должны соблюдать требования трудового кодекса Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ.

Согласно данному документу, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, в данном случае продолжительность рабочей недели составляет шесть дней. Как следствие, применяется следующий режим работы: с понедельника по пятницу 7 часов в день, в субботу 5 часов в день. Оплата труда производится в размере не ниже уровня МРОТ, и нормы труда установлены в соответствии с уровнем техники, технологии, организации производства и труда.

Некоторые виды деятельности в лабораториях являются работами в тяжёлых и вредных условиях. Гарантии и компенсации для таких работников

связаны с повышенной оплатой труда; сокращенной продолжительностью рабочего времени; дополнительным оплачиваемым отпуском; обеспечением лечебно-профилактическим питанием; досрочным назначением трудовой пенсии. Компенсации и гарантии регламентируются в трудовом кодексе Российской Федерации [18], в локальных нормативных актах, в коллективном договоре и трудовом договоре.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рабочее место располагается - работа находится в комнате В105 - строительная лаборатория Тан Аоцина (Университет Цзилинь, КНР), лаборатория представляет собой комнату размером 8 м на 5 м, высотой 3 м, в лаборатории находится 2 окна (с видимым светом), постоянно 8 человека.

При проведении лабораторных работ работник лаборатории находится в положении стоя или сидя. Следовательно, при организации рабочего места лаборанта требуется соблюдение нормативов ГОСТ 12.2.032-78 и ГОСТ 12.2.033-78. Лаборатория оснащена отоплением и вентиляцией. Для отделки помещений используют диффузно-отражающие материалы.

Поверхность пола соответствует следующим требованиям: ровность, удобство для очистки, наличие антистатических свойств, отсутствие выбоин. В помещении держат аптечку первой медицинской помощи и огнетушитель. Расположение рабочего стола обеспечивает удобство работы за ним и дает возможность осмотра, а также ремонта, находящегося на нем оборудования.

5.2 Производственная безопасность

Исследование выполнялось в лаборатории для исследования высокотвердых материалов (Цзилиньский университет, КНР) (ауд. В105 1 корпус). Для проведения исследования применяли центрифугу, вытяжной шкаф. Для идентификации потенциальных факторов использован ГОСТ

12.0.003-2015. Перечень выявленных возможных опасных и вредных факторов представлен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума		+		ГОСТ 12.1.003-2014 [5] СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [6] ГОСТ 12.1.029-80. ССБТ [7]
2. Отклонение показателей микроклимата	+	+		ГОСТ 12.1.005-88 [8] ГОСТ 12.1.007-76.ССБТ [9] СанПиН 1.2.3685-21 [10] ГОСТ 12.4.011-89 [11]
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	ГОСТ 12.1.038-82 [12] ГОСТ Р 12.1.019-2009 [13]
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+		СанПиН 1.2.3685-21 [10]

5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

5.2.1.1 Анализ показателей шума

Гигиенические нормативы по шуму устанавливаются национальным законодательством. В таблице 5.2 показаны допустимые уровни шума представленные в Санитарных нормах.

Таблица 5.2 – Предельно допустимые уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах для трудовой деятельности разных категорий тяжести и напряженности в дБА

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая физическая нагрузка	средняя физическая нагрузка	тяжелый труд 1 степени	тяжелый труд 2 степени	тяжелый труд 3 степени
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

Работа инженера в лаборатории относится к категории работ с легкой степенью напряжённости и с легкой физической нагрузкой. Для рабочих мест таких работников предельно допустимый уровень шума составляет 80 дБА.

Длительное воздействие шума является причиной возникновения определенных заболеваний нервной системы. С воздействием шума,

превышающего норму, связано повышение артериального давления, снижение слуха, и т. п..

Показатели уровня шума в лаборатории соответствуют нормативам. При превышении норм по шуму нужно принимать меры по снижению уровня шума и защите работников от его воздействия в соответствии с, используя в том числе такие меры, как применение противошумных наушников, оборудование акустических экранов. Кроме того, необходимо рационально размещать рабочие места, а также создавать шумозащищенные зоны.

5.2.1.2 Анализ показателей микроклимата

Показателями микроклимата производственных помещений называются температура и относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха

Влажность воздуха влияет на терморегуляцию организма: с высокой влажностью связано затруднение терморегуляции, слишком низкая влажность приводит к пересыханию слизистой оболочки дыхательных путей.

Движение воздуха в значительной степени отражается на самочувствии человека: результатом движения воздуха меньше нормы является головная боль; вследствие движения воздуха больше нормы возможны переохлаждение и простудные заболевания.

Если температуры окружающего воздуха высокие, то это может приводить к перегреву, обмороку, тепловому удару, обезвоживанию. Если температура окружающего воздуха на рабочем месте слишком низкая, то это может приводить к простудным заболеваниям, снижению иммунитета, замерзанию.

В таблице 5.3 обозначены оптимальные и допустимые показатели микроклимата в рабочей зоне производственного помещения для категории

работ «Легкая Ia» по ГОСТ 12.1.005-88 [8].

Таблица 5.3 – Требования к микроклимату помещения для категории работ «Легкая Ia»

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
	оптимальная	допустимая				оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная, не более	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных
		верхняя граница	нижняя граница		на рабочих местах				
		постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	55 (при 28°С)	0,1	0,1-0,2

В лаборатории существует опасность, что скорость движения воздуха недостаточна, и исследователи не могут работать в этой среде в течение длительного периода времени.

В ходе выполнения данной ВКР в лаборатории используется концентрированная соляная кислота и концентрированная серная кислота.

В случае превышения ПДК соляной кислоты в воздухе у работников возможны удушье, ожоги слизистой. Пары соляной кислоты могут стать причиной разрушения зубов, помутнения роговицы глаз, желудочно-кишечных расстройств.

На предприятиях, производственная деятельность которых связана с вредными веществами, разработаны нормативно-технические документы по безопасности труда при производстве, применении и хранении вредных

веществ, а также выполнены комплексы организационно-технических, санитарно-гигиенических и медико-биологических мероприятий.

Необходимо аккуратно работать с кислотой. Для предотвращения попадания вредных веществ в организм работника рекомендуется использовать респираторы, противогазы, маски; очки; перчатки; защитные пасты и мази. Контролем содержания вредных примесей в воздухе и на рабочих местах занимается санитарная лаборатория.

Для обеспечения соответствия показателей микроклимата требуемым оптимальным и допустимым нормам следует проводить измерение показателей микроклимата в соответствии с требованиями, представленными в СанПиН 1.2.3685-21.

Чтобы поддерживать требуемые параметры микроклимата в рабочей зоне, используют защиту от источников теплового излучения, систему вентиляции, кондиционирование воздуха, отопление, влажную уборку, увлажнение воздуха.

В лабораториях требуется выполнение санитарно-гигиенических, медико-биологических и организационно-технических мероприятий:

- вентиляция и очистка воздуха;
- кондиционирование воздуха;
- локализация вредных факторов;
- отопление;
- автоматический контроль и сигнализация;
- дезодорация воздуха;

– использование оборудования и препаратов для дезинфекции, оградительных устройств, знаков безопасности;

– применение перчаток и респираторов в качестве средств защиты рук и органов дыхания.

5.2.1.3 Анализ электробезопасности

Электрический ток рассматривается в качестве повышенного источника опасности. В таблице 5.4 выделены предельно допустимые значения электрического тока при неаварийном режиме работы электрооборудования. Основными источниками поражения электрическим током являются поврежденная проводка, розетка, выключатель и открытые металлические участки электроприборов.

Таблица 5.4 – Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов

Род тока	U , В	I , мА
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

К основным причинам воздействия тока на человека относятся ситуации: 1) человек случайно прикасается или приближается на опасное расстояние к токоведущим частям; 2) в результате повреждения изоляции или ошибочных действий персонала на металлических частях оборудования появляется напряжение; 3) напряжение появляется на отключённых токоведущих частях, где работают люди, в связи с ошибочным включением

установки; 4) провод замыкается на землю, в результате чего появляется шаговое напряжение на поверхности земли.

Электрический ток оказывает на человека следующие виды воздействия:

1) термическое – приводит к ожогам, нагреву кровеносных сосудов и других органов, вследствие чего в них появляются функциональные расстройства;

2) электролитическое – для электролитического действия тока характерно разложение крови и других органических жидкостей, что приводит к нарушениям их физико-химического состава;

3) механическое – повреждения (разрыв, расслоение и др.) различных тканей организма в результате электродинамического эффекта;

4) биологическое – может являться причиной нарушения и полного прекращения деятельности органов дыхания и кровообращения.

Электробезопасность включает следующие технические и организационные средства и мероприятия, предназначенные для обеспечения защиты людей от воздействия тока:

– выполнение электроустановок в соответствии с требованиями электробезопасности;

– использование электрического разделения;

– применение системы защитных проводов; применение электрического разделения сети.

По электрической опасности помещение относится к категории повышенной опасности.

5.2.1.4 Анализ показателей освещенности рабочей зоны

Нормы освещения лабораторий по представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Нормируемые показатели естественного, искусственного и совмещенного освещения в лабораториях

Рабочая поверхность и плоскость	Естественное освещение		Совмещённое освещение		Искусственное освещение				
	КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность, лк			Показатель диска форта, М, не более	Коэффициент пульсации освещённости, КЕО e_n , % не более
	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при верхнем или комбинированном освещении	при боковом освещении	при комбинированном освещении	при общем освещении	при комбинированном освещении		
Горизонтальная, В – вертикальная) и высота плоскости над полом, м					все	от			
					го	общ			
						его			
Г-0,8	2.4	1.9	2.0	0,5	397	255	367	37	37

Учитывая данные, приведенные в таблице выше, нормы освещенности в лаборатории соответствуют.

В результате неблагоприятных условий освещения может утомляться зрительный анализатор, снижаться работоспособность, могут появляться профессиональные заболевания.

С неблагоприятными условиями освещения связано повышенное утомление и развитие близорукости. Неблагоприятные условия освещения вызывают повышенное утомление и апатию.

Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения способствует световому голоданию и снижению интенсивности обмена веществ в организме.

Для правильного освещения в лаборатории необходимо верно выбирать вид освещения, количество и расположение ламп, тип осветительных приборов. Лаборатория должна быть освещена верхним общим освещением.

Используемое в лаборатории освещение обеспечивает достаточную освещенность рабочей поверхности, освещенность стабильная, без блескости и без теней.

5.3 Экологическая безопасность

В ходе исследования были проанализированы физические и химические свойства фотоприемников.

Защита населенных пунктов. Для проведения исследования не требовалось специальных средств защиты жилых районов. Лаборатория соблюдала соответствующие правила.

Защита атмосферы. Одним из потенциально вредных факторов для окружающей среды при проведении исследований является испарение пленок и жидкостей, а тетрагидрофуран (ТНФ) при смешивании с хлорофиллом и нанесении по каплям работает в вытяжном шкафу. К средствам защиты атмосферного воздуха от выбросов относится очистка примесей в выбросах в специальных установках. Образующиеся пары не превышают ПДК.

Защита водного кольца. В экспериментах хлорофилл (ZnChl и H₂Chl), смешанный в тетрагидрофурановом растворе, наносили капельно и пропитывали в сосудах с диоксидом титана (TiO₂). По окончании эксперимента раствор в сосудах выливался в емкость для отходов. Для очистки сточных вод с органическими растворителями использовались экстракция, ректификация, абсорбция, обратный осмос и ультрафильтрация. Превышение ПДК может оказать пагубное влияние на людей, скот и растения, которые используют эту воду. Концентрация в воде настолько мала, что не наносит вреда окружающей среде.

Защита литосферы. Отходы должны быть утилизированы в соответствии с действующим законодательством. Утилизация одноразовых средств индивидуальной защиты должна производиться в специальных герметичных контейнерах.

Таким образом, можно сказать, что при использовании малоотходной технологии исключен выброс опасных веществ в атмосферу, гидросферу и литосферу в количествах, превышающих ПДВ.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под чрезвычайными ситуациями понимаются опасные события или явления, в результате которых нарушается безопасность жизнедеятельности.

К основным причинам возникновения чрезвычайных ситуаций относятся две категории: 1) внешние – стихийные бедствия, неожиданное прекращение подачи электроэнергии, воды, технологических продуктов и т. д.; 2) внутренние – сложность технологий, недостаточная квалификация персонала, проектно-конструкторские недоработки, физический и моральный износ оборудования, низкая трудовая и технологическая дисциплина и т. п.

В лаборатории наиболее вероятно возникновение чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного характера. ЧС техногенного характера называются ситуации, которые возникают в результате производственных

аварий и катастроф на объектах; пожаров, взрывов на объектах; загрязнения атмосферы отравляющими веществами. Следствием ЧС техногенного характера могут быть внезапное обрушение зданий и сооружений, нарушение работы энергетических сетей, коммунального жизнеобеспечения, очистных сооружений, технологических линий и т. д.

В случае возникновения ЧС на предприятии, в лаборатории необходимо выполнить следующий комплекс мероприятий: 1) эвакуация; 2) укрытие людей в защитных сооружениях; 3) обеспечение индивидуальными средствами защиты; 4) организация медицинской помощи пострадавшим.

В качестве наиболее распространенной вероятной ЧС в лаборатории выделяют пожар.

Помещение лаборатории по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В2, а по классификации пожароопасных зон относится к зоне класса П-II [38].

Причины возникновения пожара могут быть электрического и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера: халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня); самовоспламенение и самовозгорание веществ.

Для устранения причин возникновения пожаров в помещении лаборатории должны проводиться следующие мероприятия: а) сотрудникам лаборатории необходимо пройти противопожарный инструктаж; б) необходимо знание сотрудниками расположения средств пожаротушения и умение ими пользоваться; в) требуется обеспечить правильный тепловой и электрический режим работы оборудования; г) пожарный инвентарь и

первичные средства пожаротушения необходимо содержать в исправном состоянии и располагать на видном и легко доступном месте.

Если в организации возник пожар, то после его ликвидации определяется возможность дальнейшего использования оборудования и имеющихся коммуникаций. В лаборатории исследовательское оборудование, трубопроводы, электрооборудование проверяются на соответствие их состояния нормам пожарной безопасности. В случае отсутствия повреждений можно продолжать работу [39].

Выводы по разделу

В результате исследований, проведенных в разделе социальной ответственности, были изучены правовые положения трудового законодательства в контексте исследований, проводимых над фотоумножителем хлорофилла, сенсibiliзирoванным красителем.

Были проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть в ходе исследований, разработки и эксплуатации проекта: параметры микроклимата, уровень шума, освещение рабочей зоны, показатели опасности электрических цепей и потенциальная пожароопасность. Описаны меры по снижению уровней воздействия этих факторов.

Был учтен характер воздействия разработанных решений на окружающую среду. В ходе исследования было установлено, что отходы, образовавшиеся в ходе исследования, не оказывают влияния на гидросферу и литосферу. Во избежание загрязнения окружающей среды отходы были утилизированы в строгом соответствии с соответствующей документацией.

Был проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в лаборатории. Приняты меры предосторожности для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций и разработаны процедуры для их устранения. Таким образом, перечисленные в работе требования и меры могут быть использованы при проведении лабораторных

исследований, а также на рабочем месте могут быть активированы аварийные процедуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были успешно получены органические фотоэлектронные умножители в виде гетероструктур $\text{Ag/ZnChl/m-TiO}_2\text{-H}_2\text{Chl/c-TiO}_2\text{/FTO}$ вертикального исполнения с применением синтезированных производных хлорофилла. Были синтезированы производные хлорофилла ZnChl с Zn в качестве центрального металла, и H_2Chl с карбоксильными группами. По результатам исследования полученных гетероструктур было установлено увеличение производительности органического фотоэлектронного умножителя и снижение темнового тока в сравнении с аналогичными устройствами. Разработанный фотоумножитель демонстрирует высокие характеристики фотоэлектрической реакции в UV-NIR диапазоне (длина волны 300-900 нм), такие как внешняя квантовая эффективность, фоточувствительность и удельная обнаружительная способность. Вследствие высокой светоулавливающей способности ZnChl для фотоэлектронного умножителя на его основе было отмечено высокое значение внешней квантовой эффективности $\sim 1,7 \times 10^4$ % при длине волны 370 нм и при напряжении смещения 6,56 В. Полученные гетероструктурные устройства демонстрируют токовую чувствительность $8,9 \times 10^4$ мА/Вт при 690 нм и удельную обнаружительную способность до $1,44 \times 10^{12}$ Джонса во всем спектральном диапазоне (300-900 нм) с максимальным значением при 690 нм.

Использование исследуемой в данной работе гетероструктуры $\text{ZnChl/m-TiO}_2\text{-H}_2\text{Chl/c-TiO}_2$ расширяет возможности будущих исследований в области преобразования энергии и применения бионеорганических фотодетекторов и фотоэлектронных умножителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Fu. Y, Song. Q. -G, Lin. T, et al. High performance photomultiplication perovskite photodetectors with PC60BM and NPB as the interlayers[J]. *Organic Electronics*, 2017, V. 51, 200-206.
- [2] Q. Lin, A. Armin, P. L. Burn, P, et al. Electro-optics of perovskite solar cells. *Meredith, Nat. Photonics* 2015, V. 9, 687.
- [3] Q. Li, Y. Guo, Y. Liu, et al. Fabrication and Thermoelectric Properties of Single-Crystal Argyrodite Ag₈SnSe₆. *Chem. Mater.* 2019, V. 31, 6359.
- [4] C. Xie, X.-T. Lu, X.-W. Tong, Z.-X. Zhang, F.-X. Liang, L. Liang, L.-B. Luo, Y.-C. Wu. Recent Progress in Solar-Blind Deep-Ultraviolet Photodetectors Based on Inorganic Ultrawide Bandgap Semiconductors. *Adv. Funct. Mater.* 2019, V. 29, 1806006.
- [5] C. Bao, J. Yang, S. Bai, W. Xu, Z. Yan, Q. Xu, J. Liu, W. Zhang, F. Gao. High Performance and Stable All-Inorganic Metal Halide Perovskite-Based Photodetectors for Optical Communication Applications. *Adv. Mater.* 2018, V. 30, 1803422.
- [6] B. Biswas, B. Saha. Development of semiconducting ScN. *Phys. Rev. Mater.* 2019, V. 3, 020301.
- [7] Y. Dai, X. Wang, W. Peng, C. Wu, Y. Ding, K. Dong, Z. L. Wang, Enhanced performances of Si/CdS heterojunction near-infrared photodetector by the piezophototronic effect. *Nano Energy* 2018, V. 44, 311.
- [8] W. Yang, J. Chen, Y. Zhang, Y. Zhang, J. H. He, X. Fang. Silicon-Compatible Photodetectors: Trends to Monolithically Integrate Photosensors with Chip Technology. *Adv. Funct. Mater.* 2019, V. 29, 1808182.
- [9] T. Lin, J. Wang, et al. A high performance CsPbBr₃ microwire based photodetector boosted by coupling plasmonic and piezo-phototronic effects. *Adv. Mater.* 2019, V. 31, 1901473.
- [10] H. Ren, J.-D. Chen, Y.-Q. Li, J.-X. Tang, Recent Progress in Organic

- Photodetectors and their Applications. *Adv. Sci.* 2021, V. 8, 2002418.
- [11] J. Miao, F. Zhang, Recent Progress on Photomultiplication Type Organic Photodetectors. *Laser Photon. Rev.* 2018, V. 13, 1800204.
- [12] P. C. Y. Chow, T. Someya. Organic Photodetectors for Next-Generation Wearable Electronics. *Adv. Mater.* 2020, V. 32, 1902045.
- [13] H. Park, A. W. Fang, R. Jones, O. Cohen, O. Rada, M. N. Sysak, M. J. Paniccia, J. E. Bowers. A hybrid AlGaInAs-silicon evanescent waveguide photodetector. *Opt. Express* 2007, 15, 6044.
- [14] L. Shen, Y. Lin, C. Bao, Y. Bai, Y. Deng, M. Wang, T. Li, Y. Lu, A. Gruverman, W. Li, J. Huang. Integration of perovskite and polymer photoactive layers to produce ultrafast response, ultraviolet-to-near-infrared, sensitive photodetectors. *Mater. Horiz.* 2017, 4, 242.
- [15] S. Yuan, H. Zhang, P. Wang, L. Ling, L. Tu, H. Lu, J. Wang, Y. Zhan, L. Zheng. Boosting the performance of perovskite solar cells through a novel active passivation method. *Org. Electron.* 2018, 57,7.
- [16] J. Reynaert, V. I. Arkhipov, P. Heremans, J. Poortmans. Photomultiplication in Disordered Unipolar Organic Materials. *Adv. Funct. Mater.* 2006, 16, 784.
- [17] Basori, R.; Das, K.; Kumar, P.; Narayan, K. S.; Raychaudhuri, A. K. Single CuTCNQ Charge Transfer Complex NW as Ultra High Responsivity Photo-Detector. *Opt. Express* 2014, 22, 4944–4952.
- [18] Goswami, L.; Aggarwal, N.; Singh, M.; Verma, R.; Vashishtha, P.; Jain, S. K.; Tawale, J.; Pandey, R.; Gupta, G. GaN Nanotowers Grown on Si (111) and Functionalized with Au Nanoparticles and ZnO Nanorods for Highly Responsive UV Photodetectors. *ACS Appl. Nano Mater.* 2020, 3, 8104–8116.
- [19] Goswami, L.; Aggarwal, N.; Verma, R.; Bishnoi, S.; Husale, S.; Pandey, R.; Gupta, G. Graphene Quantum Dot-Sensitized ZnONanorod/GaN-Nanotower Heterostructure-Based High-Performance UV Photodetectors. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2020, 12, 47038– 47047.

- [20] R. D. Jansen-van Vuuren, A. Armin, A. K. Pandey, P. L. Burn, P. Meredith. Organic Photodiodes: The Future of Full Color Detection and Image Sensing. *Adv. Mater.* 2016, 28, 4766.
- [21] J. Miao, F. Zhang, M. Du, W. Wang, Y. Fang. Photomultiplication Type Organic Photodetectors with Broadband and Narrowband Response Ability. *Adv. Opt. Mater.* 2018, 6, 1800001.
- [22] 王海波, 闰东航, 结晶性有机半导体异质结器件[J].*中国科学*, 2009, 39:1 -21.
- [23] C B M, Scharber, Muhlbacher D, et al. Design Rules for Donorin Bulk-Heterojunction Solar Cells-Towards 10% Energy-Conversion Efficiency [J]. *Advanced Materials*, 2006, 18:789 -794.
- [24] 张天慧, 朴玲钰, 赵漫玲, 等, 有机太阳能电池材料研究新进展[J].*有机化学*, 2011, 31:260-272.
- [25] Masahiro H, Kawase S, Yokoyama M. Photoinduced hole Injection Multiplication in p-type Quinacridone Pigment Films [J]. *Japanese Journal of Applied Physics*, 1996, 35: L349 -L351.
- [26] Hiramoto M, Nakayama K-I, Katsume T, et al. Field-activated structural traps at Organic Pigment/Metal Interfaces Causing Photocurrent Multiplication Phenomena[J]. *Applied Physics Letters*, 1998, 73: 2627 -2629.
- [27] Hiramoto M, Sato I, Nakayama K -I, et al Photocurrent Multiplication at Organic/Metal Interface and Morphology of Metal Films [J]. *Japanes Journal of Applied Physics*, 1998, 37: L1184 - L1186.
- [28] 黄迪, 徐征, 赵漫玲, 等, 不同受体对PTB7 聚合物太阳能电池的性能影响的研究[J].*光谱学与光谱分析*, 2016, 36:2363 -2367.

- [29] Wang W, Zhang F, Li L, et al. Improved Performance of Photomulti - Plication Polymer Photodetectors by Adjustment of P3HT Molecular Arrangement [J]. ACS Applied Materials & Interfaces.2015.7.22660-22668.
- [30] 卓祖亮, 张福俊, 许晓伟, 等。退火处理提高 P3HT:PCBM 聚合物太阳能电池光伏性能[J], 物理化学学报, 2011, 27:875-880.
- [31] Melancon J M, Zivanovic S R, Broadband gain in poly (3-hexylthiophene): Phenyl - C61 - butyric-acid-methyl-ester Photodetectors Enabled by Semicontinuous Gold Interlayer [J]. Applied Physics Letters, 2014, 105: 163301.
- [32] Wang T, Hu Y, Deng Z, et al. High sensitivity, fast Response and low Operating Voltage Organic Photodetectors by Incorporating a Water/Alcohol Soluble Conjugated Polymer Anode Buffer Layer, Rsc Advances, 2017,7: 1743 -1748.
- [33] Zhou X, Yang D, Ma D, et al. Ultrahigh gain Polymer Photodetectors with Spectral Response from UV to Near-infrared using ZnO Nanoparticles as Anode Interfacial Layer [J]. Advanced Functional Materials, 2016, 26: 6619 - 6626.
- [34] Guo F, Xiao Z, Huang J. Fullerene Photodetectors with a Linear dynamic Range of 90 dB Enabled by a Cross-linkable Buffer Layer [J]. Advanced Optical Materials, 2013, 1:289 - 294.
- [35] Miao J, Zhang F, Lin Y, et al. Highly Sensitive Organic Photodetectors with Tunable Spectral Response Under Bi-directional bias [J]. Advanced Optical Materials, 2016, 4:1711-1717.
- [36] Guo F, Yang B, Yuan Y, et al. A Nanocomposite Ultraviolet Photodetector Based on Interfacial Trap-controlled Charge Injection J. Nature Nanotechnology, 2016, 7: 798.

- [37] Qi D, Fischbein M, DRNDIC M, et al. Efficient Polymer-nanocrystal Quantum-dot Photodetectors [J]. *Applied Physics Letters*, 2005, 86:2925.
- [38] Campbella I H, CRONE B K. Bulk Photoconductive Gain in Poly (phenylene vinylene). Based Diodes [J]. *Journal of Applied Physics*, 2007101:024502.
- [39] Chen H -Y, Lo M K F, YANG G, et al. Nanoparticle-assisted high Photoconductive gain in Composites of Polymer and Fullerene [J]. *Nat Nanotechnol*, 2008, 3: 543 -547.
- [40] Chen F - C, Chien S - C, Cious G - L. Highly sensitive, Low-volt-age, Organic Photomultiple Photodetectors Exhibiting Broadband Response [J]. *Applied Physics Letters*, 2010, 97 : 195.
- [41] Ustin, S. L.; Gitelson, A. A.; Jacquemoud, S.; Schaepman, M.; Asner, G. P.; Gamon, J. A.; Zarco-Tejada, P. Retrieval of Foliar Information about Plant Pigment Systems from High Resolution Spectroscopy. *Remote Sens. Environ* 2009, 113, S67–S77.
- [42] Duan, S.; Dall’Agnese, C.; Chen, G.; Wang, X.-F.; Tamiaki, H.; Yamamoto, Y.; Ikeuchi, T.; Sasaki, S.-i. Bilayer Chl-Based Biosolar Cells Inspired from the Z-Scheme Process of Oxygenic Photosynthesis. *ACS Energy Lett.* 2018, 3, 1708–1712.
- [43] Swapna, M. S.; Raj, V.; Saritha Devi, H. V.; Sankararaman, S. Optical Emission Diagnosis of Carbon Nanoparticle-Incorporated Chlorophyll for Sensing Applications. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2019, 18, 1382–1388.
- [44] Duan, S.; Zhou, Q.; Li, A.; Wang, X.-F.; Sasaki, S.-i.; Tamiaki, H. Semisynthetic Chlorophyll Derivatives Toward Solar Energy Applications. *Sol. RRL* 2020, 4, 2000162.
- [45] Wang, S.; Duan, S.; Wang, Y.; Sun, C.; Wang, X.-F.; Sasaki, S.-i. Chl-Based Organic Solar Cells with Improved Power Conversion Efficiency. *J. Energy Chem.* 2019, 38,88–93.
- [46] E. Maulana, D. N. Ayuningtya, and Masruroh, “Photodetector Characterization

- Based on DSSC (Dye-Sensitized Solar Cell),” IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 546, no. 3, p. 032021, Jun. 2019.
- [47] Wu, T.; Zhu, C.; Han, D.; Kang, Z.; Niu, L. Highly Selective Conversion of CO₂ to C₂H₆ on Graphene Modified Chlorophyll Cu Through Multi-Electron Process for Artificial Photosynthesis. *Nanoscale* 2019, 11, 22980–22988.
- [48] Терней А. Л. Современная органическая химия. М.: Мир, 1981. Т. 1. С. 678.
- [49] Tamiaki H, Hagio N, Tsuzuki S, et al. Synthesis of Carboxylated Chlorophyll Derivatives and their Activities in Dye-Sensitized Solar Cells [J]. *Tetrahedron*, 2018, 74(30): 4078–4085.
- [50] Wang X-F, Kitao O, Zhou H, et al. Extension of π -conjugation length along the Q_y axis of a chlorophyll *a* derivative for efficient dye-sensitized solar cells [J]. *Chemical Communications*, 2009, 12(12): 1523–1525.
- [51] Tamiaki H, Amakawa M, Shimono Y, et al. Synthetic Zinc and Magnesium Chlorin Aggregates as Models for Supramolecular Antenna Complexes in Chlorosomes of Green Photosynthetic Bacteria [J]. *J Photoch Photobio A*, 1996, 63(1): 92–99.
- [52] S.K.Ray, A. K.Katiyar, and A. K.Raychaudhuri, "One-dimensional Si/Ge nanowires and their heterostructures for multifunctional applications-a review," *Nanotechnology*, Vol.28, no.9, p092001, Mar. 2017.
- [53] X.J. Xu, J.X. Chen, S. Cai, Z.H. Long, Y. Zhang, L.X. Su, S. He, C.Q. Tang, P. Liu, H.S. Peng, X.S. Fang, A Real-Time Wearable UV-Radiation Monitor based on a High-Performance p-CuZnS/n-TiO₂ Photodetector. *Adv. Mater.* 30 (2018) 1803165.
- [54] X. Chen, X.Y. Liu, Z.Q. Li, F. Cao, X. Lu, X.S. Fang, Work-Function-Tunable MXenes Electrodes to Optimize Au/p-CsCu₂I₃/n-Ca₂Nb_{3-x}Ta_xO₁₀ Junction Photodetectors for Image Sensing and Logic Electronics. *Adv. Funct. Mater.* 32 (2022) 2201066.

[55] Hasmat Mondal, Samit K. Ray, Poulomi Chakrabarty, et al. High-Performance Chlorophyll-b/Si Nanowire Heterostructure for Self-Biasing Bioinorganic Hybrid Photodetectors. *ACS Appl. Nano Mater.* 2021, 4, 5726–5736.