

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 11.04.04 «Электроника и микроэлектроника»
Уровень образования: магистр
Отделение материаловедения
Период выполнения: 2018/2019 учебный год

МАГИСТЕРСКАЯ РАБОТА

Тема работы				
Разработка координатно-чувствительного приемника оптического излучения на основе пленок с аномальным фотонапряжением				

УДК 621.319.4.027.3-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рахимов Неъматжон Рахимович	доктор технических наук, профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Жаворонок Анастасия Валерьевна	Отделение социально-гуманитарных наук, Ассистент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна	Отделение общетехнических дисциплин, Старший преподаватель		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроника и микроэлектроника	Яковлев В.Ю.	доктор физико-математических наук, профессор		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Способность <i>совершенствовать</i> и развивать свой <i>интеллектуальный и общекультурный уровень</i> , добиваться <i>нравственного и физического совершенствования</i> своей личности, обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности.
P2	Способность <i>использовать иностранный язык в профессиональной сфере</i> .
P3	Способность применять на практике <i>навыки и умения в организации</i> научно-исследовательских и производственных работ, в <i>управлении</i> коллективом, использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности
P4	Способность использовать методологические основы <i>научного познания и творчества</i> , научную информацию в развитии отрасли, навыки проведения работ с использованием <i>современных информационных технологий</i> ; синтезировать и критически резюмировать информацию.
Профессиональные компетенции	
P5	Способность применять <i>углубленные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания</i> в междисциплинарном контексте в инновационной инженерной деятельности в области электроэнергетики и электротехники.
P6	Способность <i>ставить и решать инновационные задачи</i> инженерного анализа в области электроэнергетики и электротехники с использованием глубоких фундаментальных и специальных знаний, аналитических методов и сложных моделей в условиях неопределенности
P7	Способность выполнять <i>инженерные проекты</i> с применением оригинальных методов проектирования для достижения новых результатов, обеспечивающих конкурентные преимущества электроэнергетического и электротехнического производства в условиях жестких экономических и экологических ограничений.
P8	Способность выполнять инновационные <i>инженерные исследования</i> в области электроэнергетики и электротехники, включая критический анализ данных из мировых информационных ресурсов.
P9	Способность проводить <i>техничко-экономическое обоснование</i> проектных решений; выполнять организационно-плановые расчеты по созданию или реорганизации производственных участков, планировать работу персонала и фондов оплаты труда; определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса.
P10	Способность проводить <i>монтажные, регулировочные, испытательные, наладочные работы</i> электроэнергетического и электротехнического оборудования.
P11	Способность осваивать <i>новое</i> электроэнергетическое и электротехническое <i>оборудование</i> ; проверять техническое состояние и остаточный ресурс оборудования и организовывать профилактический осмотр и текущий ремонт.
P12	Способность разрабатывать <i>рабочую проектную и научно-техническую документацию</i> в соответствии со стандартами, техническими условиями и другими нормативными документами; организовывать метрологическое обеспечение электроэнергетического и электротехнического оборудования; <i>составлять оперативную документацию</i> , предусмотренную правилами технической эксплуатации оборудования и организации работы

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа новых производственных технологий
Направление подготовки: 11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»
Уровень образования: магистр
Отделение материаловедения
Период выполнения: 2018/2019 учебный год

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____ Яковлев В.Ю.
(Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли

Тема работы:

Разработка координатно-чувствительного приемника оптического излучения на основе пленок с аномальным фотонапряжением

Утверждена приказом директора (дата, номер)

№3265/с от 24.04.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<i>Объект исследования – АФН-эффект, получение координатно-чувствительного автономного приемника оптического излучения на основе АФН-пленок.</i>
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор литературы по теме диссертации; 2. Методика технологии получения одномерных и двумерных ПОИ на основе CdTe, CdTe:Ag; 3. Методика получения координатно-

	чувствительного автономного приемника оптического излучения на основе АФН-пленок.; 4. Изготовление координатно-чувствительного автономного приемника оптического излучения в пленках типа CdTe; 5. Перспективы создания координатно-чувствительного автономного приемника оптического излучения на основе АФН-приемника
Перечень графического материала	Презентация, выполненная в MS Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Романова Светлана Владимировна
Финансовый менеджмент	Жаворонок Анастасия Валерьевна
Раздел на английском языке	Аксёнова Наталия Валерьевна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Обзор литературы	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Рахимов Неъматжон Рахимович	доктор технических наук, профессор		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли		

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

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли

Школа	ИШИТР	Отделение	Отделение материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

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

1.Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; анкетирование; опрос.
2.Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3.Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1.Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта
2.Определение возможных альтернатив проведения научных исследований	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3.Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
4.Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности определения отношений между пользователями социальной сети Twitter на основе анализа текста сообщений.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1.Оценка конкурентоспособности технических решений
2.Матрица SWOT
3.График проведения и бюджет НИ
4.Расчёт денежного потока
5.Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Жаворонок Анастасия Валерьевна	Отделение социально-гуманитарных наук, Ассистент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	материаловеден ия
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Электроника и наноэлектроника

Тема ВКР: Разработка координатно-чувствительного приемника оптического излучения на основе пленок с аномальным фотонапряжением

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: АФН-пленок Область исследования физические процессы происходящие в разработки автономного приемника оптического излучения Область применения оптоэлектронные и волоконно оптические датчики.
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; — организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Нормативные документы, устанавливающие правовые и организационные требования обеспечения безопасности: - ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»; - ГОСТ 12.2.061-81 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам».Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. - Трудовой Кодекс РФ от 30.12.2001 № 197-ФЗ
2. Производственная безопасность: - Анализ выявленных вредных и опасных факторов - Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Выявленные вредные и опасные производственные факторы: 1)Отклонение показателей микроклимата в помещении 2)Утечки токсичных-вредных веществ в атмосферу 3)Повышенный уровень шума и вибрации 4)Недостаток освещённости рабочей зоны 5) Повышенный уровень электромагнитных излучений 6) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	-Продукты распада плазмы выдуваемые азотом из вакуумной камеры в атмосферу -Масло которое попадает из масляного насоса в камеру при откачки воздуха, а оттуда выдувается в атмосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	– Возникновение пожара – Наиболее распространенный вид ЧС при работе с электрическим оборудованием в лаборатории это пожар по причине скачка

	напряжения, поврежденных частей проводки или не исправного оборудования
--	---

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова Светлана Владимировна	Отделение общетехнических дисциплин, Старший преподаватель		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 135 страницы, 26 рисунков, 32 таблицы, 36 источников.

Ключевые слова: АФН-эффект, АФН-пленка, координатно чувствительный приемник оптического излучения (ПОИ), полупроводниковые элементы CdTe, CdTe:Ag, оптрон открытого канала.

Объектом исследования являются АФН-пленки на основе CdTe, CdTe:Ag.

Цель работы – исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок на основе CdTe:Ag, разработка координатно-чувствительного автономного ПОИ и создание оптоэлектронного преобразователя для роботостроения.

В процессе работы проводились:

- анализ существующих ПОИ и механизмов возникновения АФН-эффекта в пленочных полупроводниковых соединениях: CdTe, CdTe:Ag;
- исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок CdTe:Ag;
- разработка методики получения координатно-чувствительных ПОИ на пленочных структурах;
- изготовление координатно-чувствительного автономного ПОИ на основе АФН-пленок;
- обоснование перспективы создания оптоэлектронных приборов для контроля технологических параметров веществ и материалов на основе АФН-приемника.

Степень внедрения: частичная.

Область применения: оптоэлектронные и волоконно оптические датчики.

Оглавление

Введение.....	12
1 Физические основы применения приемников оптического излучения в оптоэлектронных информационно-измерительных системах	14
1.1 Классификация приемников оптического излучения для разработки оптоэлектронных информационно-измерительных систем	14
1.2 Фотоэлектронные и фотоемкостные ПОИ	16
1.2.1 Вакуумные передающие ТВ-трубки с фотокатодами	16
1.2.2 Диссекторы	17
1.2.3 Электронно-оптические преобразователи.....	18
1.2.4 Усилители яркости.....	20
1.2.5 Фотоэлектронные умножители (ФЭУ)	21
1.2.6 Квантометры.....	23
1.3 Тепловые (неселективные) ПОИ	23
1.3.1 Радиационные ПОИ	24
1.3.2 Оптико-акустические ПОИ.....	26
1.3.3 Диэлектрические ПОИ	26
1.3.4 Металлические и криогенные болометры.....	27
1.4 Полупроводниковые ПОИ	27
1.4.1 Фоторезисторы на основе PbS, PbSe, PbTe, InSb, в области видимого света и ближнего ультрафиолета – CdS	28
1.4.2 Фотодиоды	28
1.4.3 Фототранзисторы	30
1.4.4 Фототиристоры.....	30
1.4.5 Приборы с зарядовой связью (ПЗС).....	31
1.4.6 Фотоэлементы	33
1.4.7 Полупроводниковые болометры	34
1.4.8 Применение АФН-пленок как ПОИ.....	35
1.5 Выводы по первой главе.....	36

2 Технологические особенности изготовления АФН-пленок и приборных структур на их основе	37
2.1 Методика изготовления эффективных АФН-пленок	37
2.2 Технология изготовления пленок CdTe:Ag.....	39
2.3 Методика увеличения АФН в пленочных структурах типа CdTe	40
2.4 Исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок теллурида кадмия с серебром	47
3 Технологические особенности изготовления координатно-чувствительного и двумерно координатно-чувствительного приемника оптического излучения	53
3.1 Кинетические явления в АФН-пленках типа CdTe	53
3.2 Особенности получения высокочувствительных пленок с аномальным фотонапряжением.....	59
3.3 Разработка координатно-чувствительного ПОИ на базе АФН-пленок.....	66
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	78
4.1 Предпроектный анализ	78
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	78
4.1.2 SWOT-анализ.....	79
4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	81
4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	82
4.2 Инициация проекта	83
4.2.1 Цели и результаты проекта	83
4.2.2 Ограничения и допущения проекта	84
4.3 Планирование управления научно-техническим проектом	84
4.3.1 Иерархическая структура работ проекта.....	84
4.3.2 План проекта.....	85
4.3.3 Бюджет научного исследования	87
4.4 Организационная структура проекта	90
4.4.1 План управления коммуникациями проекта.....	91

4.4.2 Реестр рисков проекта	91
4.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	92
4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования.....	92
4.5.2 Чистая текущая стоимость (NPV)	93
4.5.3 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	97
5 Социальная ответственность	100
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
5.2 Производственная безопасность	102
5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	102
5.2.2 Отклонение показателей микроклимата.....	103
5.2.3 Утечки токсичных веществ в атмосферу.....	104
5.2.4 Превышение уровня шума и вибрации.....	106
5.2.5 Недостаток освещенности рабочей зоны	108
5.2.6 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	109
5.2.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.....	110
5.3 Экологическая безопасность.....	111
Заключение	115
Список использованных источников	116
Приложение А	120

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время вопросы исследования фотоэлектрических свойств полупроводниковых пленок привлекают все больше внимания специалистов. Пленки, обладающие эффектом аномального фотонапряжения (АФН), представляют теоретический и практический интерес при создании первичных преобразователей – приемников оптического излучения (ПОИ).

Существующие ПОИ и устройства на их основе требуют обязательного применения источников питания. В них выходное напряжение, создаваемое р-п-переходом в вентильном режиме заведомо ограничено шириной запрещенной зоны полупроводника. Одним из перспективных оптических методов является оптоэлектронный контроль на основе излучателя и АФН-приемника, который позволяет исключить внешний источник питания для ПОИ, снизить вес и габариты прибора, обеспечивает полную электрическую развязку между цепями светоизлучающий диод и ПОИ. Исследование и изучение влияния внешних воздействий на свойства пленок играют немалую роль.

Целью диссертационной работы является исследование АФН-приемника для разработки оптоэлектронной измерительной системы, разработка автономного ПОИ и создание оптоэлектронных приборов для контроля толщины рулонных материалов на основе АФН-приемника. В связи с чем в работе решаются следующие задачи:

- анализ принципов работы существующих ПОИ;
- выбор оптимального технологического режима изготовления эффективных АФН-пленок из соединений CdTe, CdTe:Ag и изучение механизма возникновения АФН-эффекта;
- изготовление автономного ПОИ на основе АФН-пленок для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения;
- обоснование перспективы создания оптоэлектронных приборов для контроля толщины рулонных материалов на основе АФН-приемника.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней впервые предложено применение АФН-приемника для оптоэлектронной

информационно – измерительной системы. Изложена методика и приведены результаты экспериментальных исследований возможности применения оптрона открытого канала для контроля физических и химических веществ. Данная идея проверена, результаты ее применения продемонстрированы, эффективность этого предложения подтверждена экспериментально.

Работа имеет практическую ценность. Разработанные в диссертационной работе методы изготовления автономных АФН-приемников открывают новый шаг для развития оптоэлектронного приборостроения. Предложена классификация вариантов включения АФН-приемников в оптоэлектронных устройствах контроля. Получено аналитическое выражение распределения излучения светоизлучающего диода после взаимодействия с контролируемым объектом, позволяющее определить оптимальную площадь светочувствительной поверхности АФН-приемника.

1 ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИЕМНИКОВ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

1.1 Классификация приемников оптического излучения для разработки оптоэлектронных информационно-измерительных систем

Приемники оптического излучения (ПОИ) – это устройства, изменение состояния которых под действием потока оптического излучения служит для обнаружения этого излучения. ПОИ преобразуют энергию оптического излучения в электрическую, более удобную для непосредственного измерения.

Важными параметрами, характеризующими свойства и возможности различных типов ПОИ, являются: шаговая электрон-пороговая чувствительность – минимальный поток излучения отнесенный к единице полосы рабочих частот (измеряется в Вт/Гц); коэффициент преобразования (интегральная чувствительность, относительная чувствительность) – связывает падающий поток излучения с величиной сигнала на выходе ПОИ; постоянная времени – время, за которое сигнал на выходе ПОИ нарастает до определенного уровня; спектральная характеристика – зависимость чувствительности ПОИ от длины волны падающего на ПОИ излучения, (те у которых чувствительность слабо зависит от длины волны в широком диапазоне длин волн, называются неселективными, в отличие от селективных ПОИ, имеющих на спектральной характеристике четко выраженные максимумы и минимумы).

По принципу действия и изготовления ПОИ можно разделить на три большие группы (см. рис. 1.1): полупроводниковые (фотонные) ПОИ, тепловые (неселективные) ПОИ, фотоэлектронные и фотоемкостные ПОИ.

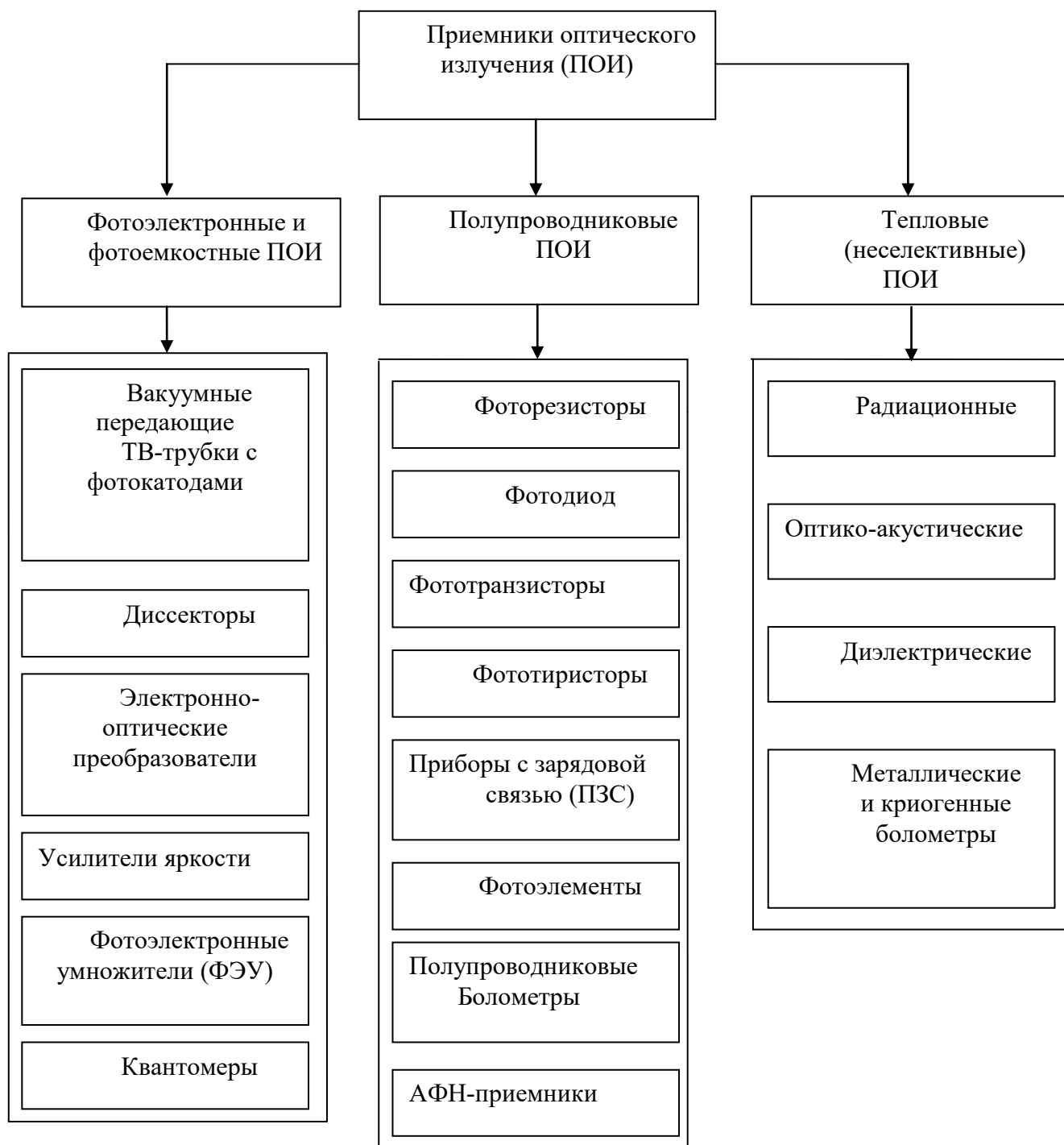


Рисунок 1.1 – Классификация ПОИ

Разнообразие типов ПОИ определяется многочисленностью способов преобразования энергии и невозможностью создать ПОИ одинаково чувствительными во всем оптическом диапазоне. Поглощение энергии оптического излучения вызывает изменение состояния вещества приемника. Таким изменением может быть повышение температуры, которое в свою очередь вызывает изменение различных параметров вещества, таких как

давление газов, электропроводность твердых тел, электрическая поляризация диэлектриков и др. ПОИ, основанные на этом принципе, называются тепловыми.

Наиболее распространенные ПОИ этого типа – металлические и полупроводниковые болометры и термоэлементы, применяются также молярные радиометры, оптико-акустические, пироэлектрические приемники и др. Действие болометров основано на изменении электрического сопротивления металла или полупроводника при изменении температуры, вызванном поглощением падающего потока оптического излучения. Изменение температуры поглощающей поверхности термоэлементов, пропорциональное падающему на нее излучению, приводит к появлению в них соответствует термо ЭДС.

1.2 Фотоэлектронные и фотоемкостные ПОИ

Фотоэлектронные и фотоемкостные ПОИ, относят вакуумные и передающие ТВ-трубки с фотокатодами, диссекторы, электронно-оптические преобразователи, усилители яркости, ФЭУ и квантометры. Обязательным условием, необходимым для нормальной работы этих ПОИ, является наличие вакуумированной среды и больших рабочих напряжений, от сотен вольт до десятка киловольт, что снижает их надежность и долговечность и усложняет конструкцию.

1.2.1 Вакуумные передающие ТВ-трубки с фотокатодами

Передающая телевизионная трубка – это электронный прибор, служащий для преобразования светового изображения в последовательность электрических импульсов – телевизионный видеосигнал.

Передающая телевизионная трубка является первым (входным) элементом телевизионного тракта, воспринимающим передаваемое изображение. Передающая телевизионная трубка – основной узел телевизионных передающих камер. Действие передающих телевизионных

трубок всех типов основано на фотоэффекте. При внешнем фотоэффекте преобразующим светочувствительным элементом (СЭ) передающей телевизионной трубки служит фотокатод, который при освещении испускает электроны, при внутреннем фотоэффекте – фоточувствительная мишень, изменяющая при освещении свою электропроводность. «Электрическое изображение» считывается с СЭ (обычно электронным лучом, последовательно оббегающим все участки его поверхности) таким образом, чтобы (в соответствии с принятым телевизионным стандартом) оно разложилось на несколько сотен строк, образующих телевизионный растр. При этом каждую строку можно рассматривать как последовательность отдельных элементарных участков изображения.

Передающая телевизионная трубка любого типа должна обладать: достаточно высокой чувствительностью, определяющейся освещенностью, достаточной для формирования видеосигнала с удовлетворительным отношением сигнал/шум; определенной спектральной характеристикой СЭ (особенно – трубка для передачи цветных изображений); высокой разрешающей способностью (например, в вещательном телевидении 500–600 строк); малой инерционностью, обычно не превышающей периода кадровой развертки и позволяющей формировать изображение движущихся объектов без заметных на глаз искажений; определенным видом зависимости амплитуды выходного сигнала от освещенности объекта (видом характеристики «свет – сигнал»). Кроме того, передающая телевизионная трубка должна удовлетворять требованиям равномерности фона, отсутствия паразитных сигналов и т.д.

1.2.2 Диссекторы

Диссектор (от лат. *disseco* – рассекаю), передающая телевизионная трубка без накопления электрического заряда. Диссектор применяют главным образом во вспомогательных автоматических системах телевидения (например, для определения положения источника света и др.). При освещении фотокатода

диссектор (рис. 1.2) испускает с поверхности электроны, плотность которых соответствует распределению освещенности на поверхности.

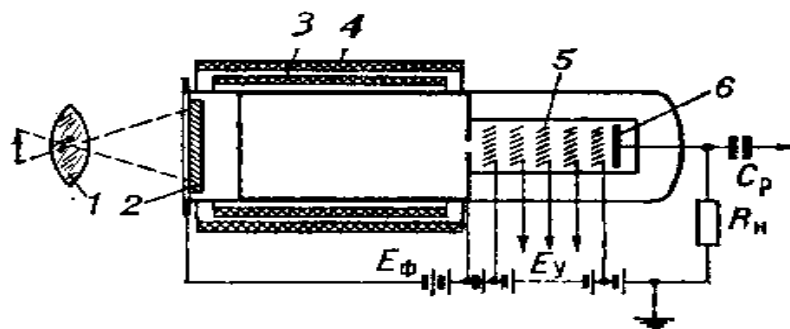


Рисунок 1.2 – Диссектор

1 – объектив; 2 – фотокатод; 3 – отклоняющая катушка; 4 – фокусирующая катушка; 5 – электронный умножитель; 6 – коллектор электронного умножителя; E_{ϕ} – источник постоянного напряжения, подаваемого на фокусирующую катушку; E_y – источник постоянного напряжения, подаваемого на электроды электронного умножителя; $R_{\text{н}}$ – резистор в качестве сопротивления нагрузки, на концах которого образуется напряжение сигналов; C_p – конденсатор, разделяющий электрические цепи по постоянному току.

Созданное таким образом на фотокатодe электронное изображение переносится электрическим полем в однородном магнитном поле, фокусирующем это изображение, к электронному умножителю (ЭУ). Разложение электронного изображения на отдельные электрические сигналы осуществляется магнитным полем отклоняющих катушек, изменяющимся в двух взаимно перпендикулярных направлениях относительно оси.

1.2.3 Электронно-оптические преобразователи

Электронно-оптический преобразователь (ЭОП) – это вакуумный фотоэлектронный прибор для преобразования невидимого глазом изображения объекта (в инфракрасных, ультрафиолетовых и рентгеновских лучах) в видимое, либо для увеличения (усиления) яркости видимого изображения. В основе действия ЭОП лежит преобразование оптического или рентгеновского

изображения в электронное, осуществляемое с помощью фотокатода, и затем электронного изображения в световое (видимое), получаемое на катодолюминесцентном экране. В ЭОП изображение объекта проецируется (с помощью объектива) на фотокатод (при использовании рентгеновских лучей теневое изображение объекта проецируется на фотокатод непосредственно) (рис. 1.3).

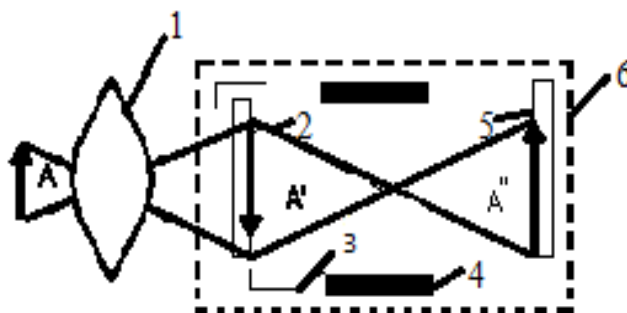


Рисунок 1.3 – Электронно-оптический преобразователь.

1 – оптическая линза; 2 – фотокатод; 3 – ускоряющий электрод; 4 – электронная линза; 5 – флуоресцирующий экран; 6 – высоковакуумный сосуд.

Излучение от объекта вызывает фотоэлектронную эмиссию с поверхности фотокатода, причем величина эмиссии с различных участков последнего изменяется в соответствии с распределением яркости спроецированного на него изображения. Фотоэлектроны ускоряются электрическим полем на участке между фотокатодом и экраном, фокусируются с помощью электрического или (и) магнитного поля (образующего электронную линзу) и бомбардируют экран, вызывая его люминесценцию. Различают ЭОП одно и многокамерные (каскадные); последние представляют собой такое последовательное соединение двух или более однокамерных ЭОП, при котором световой поток с экрана первого ЭОП (каскада) направляется на фотокатод второго и т. д. [34].

Основные характеристики ЭОП:

1) разрешающая способность каскадных ЭОП составляет 25–60 штрихов на 1 мм.

2) коэффициент преобразования – отношение излучаемого экраном светового потока к потоку, падающего от объекта на фотокатод – каскадных ЭОП достигает $\approx 10^6$.

Основные недостатки каскадных ЭОП – малая разрешающая способность и сравнительно высокий темновой фон, приводящие к ухудшению качества изображения. Возможно применение матрицы из электронночувствительных элементов, устанавливаемой вместо люминесцентного экрана.

1.2.4 Усилители яркости

Усилитель яркости – элемент, применяемый в оптических системах для увеличения распространяющегося в них светового потока и, следовательно, яркости (напр., яркости изображений). [35]

В обычных оптических приборах, не имеющих усилитель яркости, можно с помощью линз, зеркал и тому подобных пассивных элементов сконцентрировать световой поток на небольшой площади и сильно увеличить освещенность, но при этом яркость не увеличивается. В случае, когда в оптической системе нет потерь, яркость сохраняется, что является простым следствием закона сохранения энергии.

Существует универсальный способ усиления света с помощью вынужденного (стимулированного) излучения, который используется во всех лазерах. По своей природе вынужденное излучение позволяет усиливать любые пучки света, не внося в них искажений, т. к. оно повторяет все свойства вынуждающего излучения, включая фазу и поляризацию.

В настоящее время существует много различных лазеров, работающих во всех диапазонах спектра – от рентгеновского излучения до далекого инфракрасного излучения. Однако применение лазерных усилителей в оптических приборах до сих пор весьма ограничено. В лазерах обычно стремятся получить предельно высокую направленность излучения, применяя для этого оптические резонаторы и ограничивая число генерируемых мод. В

оптических системах обычно требуется передать большой объем информации, заложенный в распределении амплитуд и фаз (иногда и поляризации) по полю зрения, на котором укладывается порядка 10^6 разрешаемых элементов. Такая "многоканальность" и есть одно из основных преимуществ оптических систем с усилителем яркости. Это накладывает дополнительные требования на усилитель яркости для оптических приборов, который должен обладать большой угловой апертурой, чтобы пропустить большой объем информации, обеспечивать, значит, усиление за один проход усиливающей среды и, естественно, не должен вносить искажений в усиливаемые световые поля. Достижение высокого усиления (а желательно иметь коэффициент усиления $0,1 - 1,0 \text{ см}^{-1}$) и составляет основную трудность на пути создания лазерного усилителя яркости для оптической системы. Высокий коэффициент усиления (при прочих равных условиях) легче получить для узкого спектрального интервала и в коротких импульсах.

1.2.5 Фотоэлектронные умножители

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) – электровакуумный прибор в котором поток электронов, эмитируемый фотокатодом под действием оптического излучения, усиливается в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии; предназначен для регистрации слабых излучений [36]. ФЭУ состоит из: фотокатода, эмитирующего поток электронов под действием оптического излучения; электронно-оптической системы входа, создающей электрическое поле, фокусирующее или собирающее электроны с фотокатода на вход умножительной системы; диодной умножительной системы, обеспечивающей умножение электронов в результате вторичной электронной эмиссии; анода – коллектора вторичных электронов (рис. 1.4).

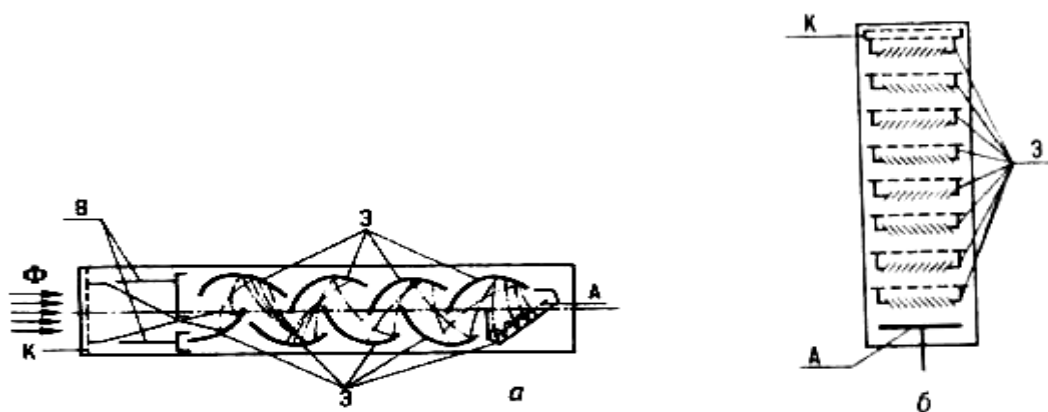


Рисунок 1.4 – Схемы фотоэлектронных умножителей с линейными дискретными динодными системами: а – с корытообразными динодами; б – с жалюзийными динодами

Ф – световой поток; К – фотокатод; В – фокусирующие электроды входной камеры; Э – диноды; А – анод. Штрихпунктирными линиями изображены траектории электронов.

Кроме электростатической фокусировки иногда применяются магнитная фокусировка и фокусировка в скрещенных электрических и магнитических полях. Основные параметры ФЭУ: световая анодная чувствительность (отношение анодного фототока к вызывающему его световому потоку при номинальных потенциалах электродов) составляет $1\text{--}10^4$ А/лм; спектр чувствительности находится обычно в диапазоне $105\text{--}1200$ нм (чувствительность в УФ-области спектра определяется характеристиками входного окна ФЭУ, в ближней ИК-области – красной границей фотоэффекта); темновой ток (ток в анодной цепи в отсутствие светового потока), как правило, не превышает $10^{-9}\text{--}10^{-10}$ А.

В быстродействующих и координато-чувствительных ФЭУ применяют многоканальные умножительные системы в виде одной или нескольких так называемых микроканальных пластин – стеклянных пластин толщиной $0,4\text{--}1$ мм, пронизанных множеством параллельных каналов диаметром $5\text{--}50$ мкм и обеспечивающих коэффициент усиления. В координато-чувствительных ФЭУ аноды выполнены в виде полос, квадрантов и др. Для изготовления дискретных

динодов обычно используют сурьмяно-щелочные слои, нанесенные на металлическую подложку, а также сплавы на основе Cu и Al (например, Cu-Be, Cu-Al-Mg) и полупроводниковые соединения элементов III и V групп периодической системы, проактивированные специальным образом. Каналы непрерывных динодов изготавливают, как правило, из стекла с высоким содержанием Pb.

ФЭУ широко используются для регистрации слабых излучений (вплоть до уровня одиночных квантов), т. к. обладают большим усилением при низком уровне собств. шумов, а также для изучения кратко время процессов. Наибольшее применение ФЭУ получили в ядерной физике в качестве элементов сцинтилляционных счетчиков. Кроме того, ФЭУ применяются в оптической аппаратуре, устройствах телевизионной и лазерной техники и др.

1.2.6 Квантометры

Квантометры, как ПОИ строятся на основе полихроматоров; выходные щели полихроматора выделяют из спектра излучения исследуемого вещества аналитические линии и линии сравнения; соответствующие световые потоки посылаются на ПОИ (фотоумножители), установленные у каждой щели. Фототоки приемников заряжают накопительные конденсаторы; величина заряда, накопленного за время экспозиции, служит мерой интенсивности линии, которая пропорциональна концентрации элемента в пробе. Модели квантометров различаются рабочими диапазонами спектра (внутри области 0,17–1 мкм), числом одновременно работающих каналов (от 2 до 80), степенью автоматизации, способами возбуждения спектров (дуга, искра, лазер, источник на основе индуктивно-связанной плазмы).

1.3 Тепловые (неселективные) ПОИ

Тепловые приемники оптического излучения реагируют на энергию, поглощенную чувствительным приемным элементом [37]. Поглощенная энергия приводит к нагреванию чувствительного элемента и повышению его

температуры, которая может быть измерена непосредственно. Возможна регистрация и вызванных нагревом изменений количества других физических параметров вещества этого чувствительного элемента, например, электропроводности, давления газа и т. п. Современные тепловые приемники позволяют обнаруживать повышение температуры термочувствительного элемента при его облучении на $10^{-6} - 10^{-7}$ К и измерять мощности $\sim 10^{-7}$ Вт. Такое изменение температуры нельзя измерить непосредственно, применяют различных косвенные методы. По принципу такого преобразования тепловые приемники разделяются на несколько типов.

Термоэлементы (термопары) – ПОИ, основанные на термоэлектрическом эффекте Зеебека – возникновении э.д.с. в контуре из различных материалов, спаи которых имеют неодинаковую температуру. На один из спаев контура направляется измеряемое излучение, что приводит к повышению температуры этого спаи по сравнению с температурой другого (холодного) спаи. Возникающая при этом э.д.с. служит мерой измеряемого потока излучения.

Металлические термоэлементы изготавливают из Cu, Ni, Pt, константана и др.; в полупроводниковых элементах применяют Sb, Si, Te и др. Результирующая э.д.с. термостолбика равна сумме э.д.с. входящих в него термоэлементов. Для уменьшения уровня помех термоэлементы (термостолбики) помещают в вакуум, окружают охлаждаемыми экранами, применяют схемы компенсации, в которых два одинаковых термоэлемента включены навстречу друг другу. Лучшие термоэлементы имеют следующие параметры: постоянная времени 10^{-2} с, порог чувствительности 10^{-11} Вт/Гц^{1/2}см, коэффициент преобразования 5–20 В/Вт.

1.3.1 Радиационные ПОИ

Радиационные методы контроля основаны на регистрации и анализе ионизирующего излучения при его взаимодействии с контролируемым изделием. Наиболее часто применяются методы контроля прошедшим

излучением, основанные на различном поглощении, ионизирующих излучений при прохождении через дефект и бездефектный участок сварного соединения (рис. 1.5). Интенсивность прошедшего излучения будет больше на участках меньшей толщины или меньшей плотности, в частности в местах дефектов – несплошностей или неметаллических включений. [37]

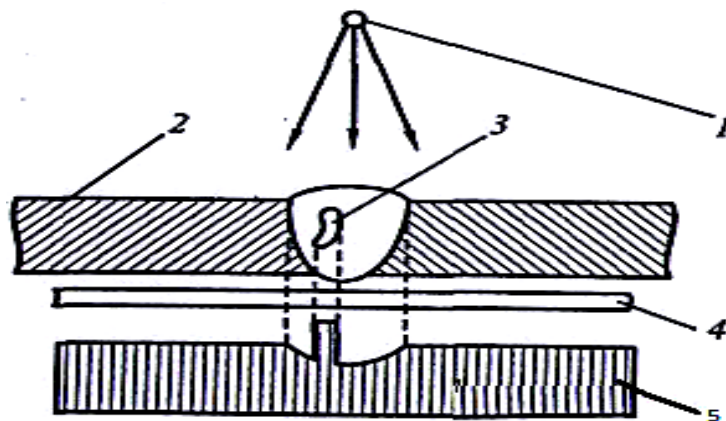


Рисунок 1.5 – Схема радиационного контроля прошедшим излучением
1 – источник излучения; 2 – изделие; 3 – дефект; 4 – детектор (пленка); 5 – плотность излучения

Ионизирующим называют излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов. Так как ионизирующее излучение, состоящее из заряженных частиц, имеет малую проникающую способность, то для радиационного контроля сварных соединений обычно используют излучение фотонов или нейтронов. Наиболее широко используется рентгеновское излучение (X-лучи). Это фотонное излучение с длиной волны $6 \cdot 10^{-13} \dots 1 \cdot 10^{-9}$ м. Имея ту же природу, что и видимый свет, но меньшую длину волны (у видимого света $4 \dots 7 \cdot 10^{-7}$ м), рентгеновское излучение обладает высокой проникающей способностью и может проходить через достаточно большие толщины конструкционных материалов. При взаимодействии с материалом контролируемого изделия интенсивность рентгеновского излучения уменьшается, что и используется при контроле. Рентгеновское излучение обеспечивает наибольшую чувствительность контроля.

Получают рентгеновское излучение в рентгеновских трубках. Испускаемые с накаливаемого катода электроны под действием высокого напряжения разгоняются в герметичном баллоне, из которого откачан воздух, и попадают на анод. При торможении электронов на аноде их энергия выделяется в виде фотонов различной длины волны, в том числе и рентгеновских. Чем больше ускоряющее напряжение, тем больше энергия образующихся фотонов и их проникающая способность.

1.3.2 Оптико-акустические ПОИ

Оптико-акустические приемники – приемники, у которых повышение температуры, вызванное поглощением излучения, непосредственно преобразуется в механическую работу регистрирующего устройства. Приемник представляет собой небольшую герметичную камеру, наполненную газом (гелием, двуокисью углерода), в которой расположена зачерненная пластинка. Одной из сторон камеры служит окно, прозрачное для излучения, а другой – гибкая мембрана. Излучение, падающее на зачерненную пластинку, нагревает ее, что приводит к повышению температуры и давления газа в камере [39]. Обычно в оптико-акустический приемник направляют модулированное излучение и потому мембрана колеблется с амплитудой, зависящей от мощности потока излучения. Изменение кривизны мембраны преобразуется в электрический сигнал, который может быть измерен. Оптико-акустические приемники без зачерненной пластинки основаны на поглощении оптического излучения непосредственно газом, заполняющим камеру. Постоянная времени оптико-акустических приемников 10^{-2} с, порог чувствительности $1 \cdot 10^{-10}$ Вт/Гц^{1/2}, коэффициент преобразования $4 \cdot 10^4$ В/Вт.

1.3.3 Диэлектрические ПОИ

В диэлектрическом приемнике изменение температуры вызывает изменение диэлектрической проницаемости диэлектрика конденсатора, имеющей сильную температурную зависимость, и соответствующее изменение

емкости конденсатора регистрируется. Разновидностью диэлектрического приемника является пироэлектрический приемник излучения, в котором диэлектриком конденсатора служит сегнетоэлектрик, т. е. Вещество, на поверхности которого появляется электрический заряд при механических деформациях.

1.3.4 Металлические и криогенные болометры

Металлические болометры работают обычно без охлаждения. Их изготавливают либо из тонких фольг, либо напылением металла в вакууме на тонкую пленку или твердую подложку. Выбор делают в зависимости от желаемого значения температуры. Лучшие болометры из фольги – никелевые, имеющие сопротивление 5-10 Ом, чувствительность 7-10 В/Вт, постоянную времени 0,02 с.

Напыленные болометры изготавливают из висмута, сурьмы и никеля испарением металлов в вакууме на тонкую органическую пленку. Наиболее распространены из металлических напыленных болометров висмутовые, с параметрами: сопротивление 150-200 Ом, чувствительность 13-15 В/Вт, постоянная времени 0,02 с.

1.4 Полупроводниковые ПОИ

Полупроводниковые ПОИ уступают по отдельным параметрам фотоэлектронным ПОИ, но использование их в условиях производства предпочтительно из-за малых габаритов, высокой надежности и небольших рабочих напряжений.

К этому классу ПОИ относятся: фоторезисторы (ФР), фотодиоды (ФД), фототранзисторы (ФТ), фототиристоры, приборы с зарядовой связью (ПЗС), АФН-приемники, фотоэлементы, полупроводниковые болометры.

1.4.1 Фоторезисторы на основе PbS, PbSe, PbTe, InSb, в области видимого света и ближнего ультрафиолета – CdS

Фоторезистор – это фотоприемник, принцип действия которого основан на эффекте фотопроводимости – свойстве вещества изменять свою электропроводность под действием электромагнитного излучения. ФР изготавливают из полупроводников с собственной фотопроводимостью, обусловленной генерацией пар «электрон проводимости – дырка проводимости», и с примесной фотопроводимостью, обусловленной ионизацией атомов донорной или акцепторной примесей, возникающей под действием оптического излучения.

Спектральная чувствительность ФР характеризует его чувствительность при действии на него потока излучения постоянной мощности определенной длины волны. Спектральная характеристика определяется материалом, используемым для изготовления светочувствительного элемента. Сернисто-кадмиевые фоторезисторы имеют высокую чувствительность в видимой области спектра, селенисто-кадмиевые – в красной, а сернисто-свинцовые – в инфракрасной.

1.4.2 Фотодиоды

Фотодиод – приемник оптического излучения [1], который преобразует попавший на его фоточувствительную область свет в электрический заряд за счет процессов в p - n -переходе.

В основе работы таких приемников излучения лежит явление внутреннего фотоэффекта, при котором кванты света выбивают электроны из атомов полупроводника. Ставшие свободными электроны создают ток через p - n -переход. В фотодиодах на p - n -переход подается обратное напряжение. В темноте обратный ток через диод достаточно мал. При освещении перехода увеличивается число «выбитых» квантами света электронов и образовавшихся на их месте дырок. Увеличивается обратный ток перехода, причем его величина зависит от освещенности перехода: $I_{обп} = f(\Phi)$, где Φ – световой поток.

На этом явлении основана работа фотодиода, к которому подключается источник обратного напряжения через сопротивление нагрузки (рис. 1.6). При увеличении светового потока увеличивается обратный ток и растет падение напряжения на нагрузке.

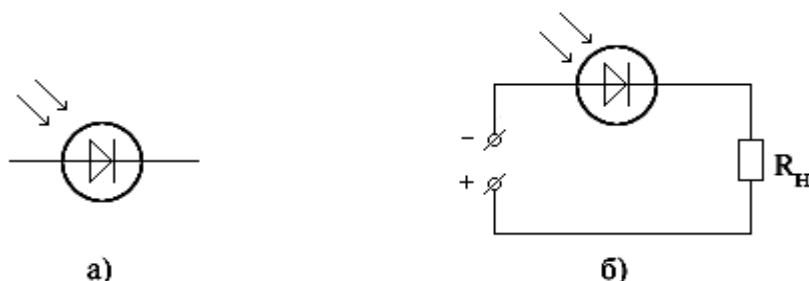


Рисунок 1.6 – обозначение фотодиода (а); схема включения фотодиода (б)

Технология изготовления фотодиодов почти не отличается от технологии изготовления обычных полупроводниковых диодов. На кристалле полупроводника создают слои с p и n проводимостями. Один вывод образует контакт с подложкой, а другой – тонкий, прозрачный слой металла. Разработаны более чувствительные и быстродействующие фотодиоды с четырехслойными гетеропереходами, с барьером Шоттки, кремниевые $p-i-n$ -диоды, которые все более вытесняют фотодиоды с $p-n$ -переходом. Структура $p-i-n$ -диода (рисунок 1.7) содержит слои полупроводника с p и n проводимостями, разделенные очень тонким i -слоем окиси кремния – изолятором. Обратный ток перехода в $p-i-n$ -структуре чрезвычайно мал, что увеличивает чувствительность к слабым световым потокам. Энергия носителей заряда, возбужденных квантами падающего света, оказывается вполне достаточной, чтобы преодолеть тонкий слой изолятора и создать фототок.

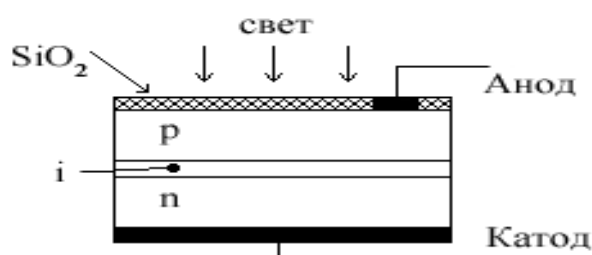


Рисунок 1.7– Структура $p-i-n$ -диода

Фотодиод, работа которого основана на фотовольтаическом эффекте (разделение электронов и дырок в р- и n- области, за счет чего образуется заряд и э.д.с.), называется солнечным элементом. р-n и р-i-n фотодиоды только преобразуют свет в электрический ток, но не усиливают его, в отличие от лавинных фотодиодов и фототранзисторов.

1.4.3 Фототранзисторы

Фототранзистор – оптоэлектронный полупроводниковый прибор. Он имеет структуру n-p-n или p-n-p транзистора и может усиливать ток. Дырки электронно-дырочных пар, рожденных излучением, находятся в базе, а электроны переходят в эмиттер или коллектор (рис. 1.8).

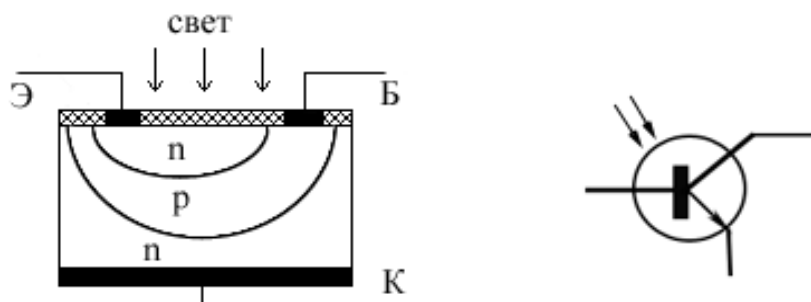


Рисунок 1.8– Примерная структура и обозначение фототранзистора

От обычного биполярного транзистора фототранзистор отличается только тем, что у него в области эмиттерного перехода имеется прозрачное окно, пройдя которое свет попадает в базу. Образовавшиеся благодаря квантам света носители заряда создают ток базы.

1.4.4 Фототиристоры

В основе принципа действия фототиристора лежит явление генерации носителей заряда в полупроводнике, точнее в р-n переходе, находящемся под воздействием светового потока. Для управления фототиристором в его корпусе предусмотрено окно для пропускания светового потока. Существенным преимуществом фототиристоров перед тиристорами, управляемыми

электрическим сигналом, является отсутствие гальванической связи между силовыми приборами и системой их управления.

Фототиристор имеет четырехслойную р-п-р-п- структуру, которую, как и в обычном тиристоре, можно представить в виде комбинации двух транзисторов, имеющих положительную обратную связь по току. Переход фототиристора под действием светового управляющего сигнала из закрытого состояния в открытое осуществляется при достижении уровня тока срабатывания I_{cr} скачком после преодоления определенного потенциального барьера. Принцип действия фототиристора таков. Если к аноду приложено положительное (по отношению к катоду) напряжение, то в темновом режиме крайние переходы окажутся смещенными в прямом, а средний переход – в обратном направлении, и фототиристор будет находиться в закрытом состоянии. При освещении перехода в тонкой базе происходит генерация пар электрон-дырка. Электроны с поверхности диффундируют вглубь дырочного слоя и свободно проходят через средний переход к аноду. Максимум спектральной чувствительности лежит в диапазоне 0,9–1,1 мкм

Основное достоинство фототиристоров – способность переключать значительные токи и напряжения слабыми световыми сигналами – используется в устройствах «силовой» оптоэлектроники, таких как системы управления исполнительными механизмами, выпрямителями и преобразователями.

1.4.5 Приборы с зарядовой связью (ПЗС)

Прибор с зарядовой связью (ПЗС) представляет собой ряд простых МДП-структур (металл - диэлектрик - полупроводник), сформированных на общей полупроводниковой подложке таким образом, что полосы металлических электродов образуют линейную или матричную регулярную систему, в которой расстояния между соседними электродами достаточно малы (рис. 1.9). Это обстоятельство обуславливает тот факт, что в работе устройства определяющим является взаимовлияние соседних МДП-структур [1-3].

Принцип действия ПЗС заключается в следующем. Если к любому металлическому электроду ПЗС приложить отрицательное напряжение), то под действием возникающего электрического поля электроны, являющиеся основными носителями в подложке, уходят от поверхности в глубь полупроводника. У поверхности же образуется обедненная область, которая на энергетической диаграмме представляет собой потенциальную яму для неосновных носителей – дырок. Попадающие каким-либо образом в эту область дырки притягиваются к границе раздела диэлектрик - полупроводник и локализуются в узком приповерхностном слое.

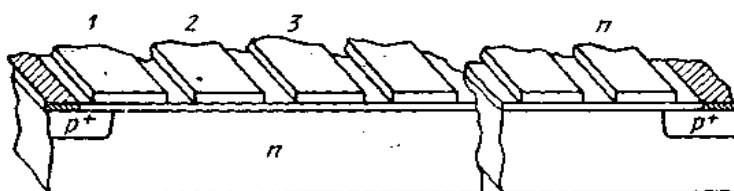


Рисунок 1.9 – Структура прибора с зарядовой связью

Если теперь к соседнему электроду приложить отрицательное напряжение большей амплитуды, то образуется более глубокая потенциальная яма и дырки переходят в нее. Прикладывая к различным электродам ПЗС необходимые управляющие напряжения, можно обеспечить как хранение зарядов в тех или иных приповерхностных областях, так и направленное перемещение зарядов вдоль поверхности (от структуры к структуре). Введение зарядового пакета (запись) может осуществляться либо р-п-переходом, расположенным, например, вблизи крайнего ПЗС элемента (электрод 1 на рисунке 1.9), либо светогенерацией. Вывод заряда из системы (считывание) проще всего также осуществить с помощью р-п-перехода (электрод n на рисунке 1.9). К числу важнейших функциональных особенностей ПЗС относятся: возможность хранения зарядовой информации; возможность направленной передачи зарядов вдоль поверхности полупроводникового кристалла; возможность преобразования светового потока в электрический

заряд и последующего его считывания (сканирования). Достоинством ПЗС является малая потребляемая мощность (5–10 мкВт/бит в режиме передачи информации и практически полное отсутствие затрат энергии в режиме хранения), что обусловлено МДП-структурой этих устройств. Простота конфигурации и регулярность системы элементов в ПЗС ведет к тому, что быстродействие этих приборов может быть очень высоким (у специально сконструированных образцов предельные тактовые частоты лежат в гигагерцевом диапазоне).

1.4.6 Фотоэлементы

Фотоэлемент – фотоэлектрический электронный прибор с внешним фотоэффектом, предназначенный для преобразования световой энергии в электрическую. В фотоэлементах используется явление фотоэлектронной эмиссии, заключающееся в том, что при попадании света от постороннего источника на катод последний начинает излучать электроны, которые затем попадают на анод с положительным потенциалом. Фотоэлементы работают только в цепях постоянного тока. Для питания фотоэлемента необходим источник тока постоянного напряжения, величина которого указывается в справочнике. На практике в большинстве случаев в цепь фотоэлемента включается нагрузочное сопротивление. В зависимости от протекающего в цепи фотоэлемента тока (зависящего от интенсивности светового потока) на нагрузочном сопротивлении падает напряжение. Это напряжение подается во внешнюю цепь для дальнейшего усиления.

Свойства, параметры и характеристики фотоэлементов зависят от свойств применяемого катода. В современных фотоэлементах применяются в основном два типа катодов – кислородно-цезиевый и сурьмяно-цезиевый. Фотоэлементы выпускаются двух типов – вакуумные и газонаполненные. В вакуумных фотоэлементах ток образуется только фотоэлектронами, а в газонаполненных фотоэлектронный ток еще и усиливается за счет ионизации газа, производимой фототоком. Основным параметром фотоэлемента является

его чувствительность, определяемая отношением величины фототока к величине светового потока, вызвавшего его. Чувствительность измеряется в мкА/лм. Фотоэлемент реагирует на интенсивность светового потока и его частоту, поэтому чувствительность его разделяется на интегральную (по интенсивности) и спектральную (по частоте). Интегральная чувствительность характеризует способность фотоэлемента реагировать на воздействие всего светового потока, содержащего световые колебания различных частот от ультрафиолетовых до инфракрасных.

1.4.7 Полупроводниковые болометры

Болометр (от греч. *bolē* - бросок; луч и метр), прибор для измерения энергии излучения, основанный на изменении электрического сопротивления термочувствительного элемента при нагревании его вследствие поглощения измеряемого потока излучения. Болометр служит для измерения мощности интегрального (суммарного) излучения, а вместе со спектрометром – для измерения спектрального состава излучения. Размер и форма чувствительного элемента болометр определяются природой источника радиации. Для спектральных измерений этот элемент обычно изготавливают в виде двух одинаковых полосок. Излучение направляется на один элемент, а другой служит для компенсации изменений температуры окружающей среды и радиационных помех. Последнее вызывает изменение силы тока в электрической цепи болометр, и на нагрузочном сопротивлении возникает падение напряжения, которое служит мерой мощности измеряемого потока радиации.

Болометр характеризуется коэффициентом преобразования энергии излучения в электрическое напряжение или чувствительностью r , сопротивлением R , порогом чувствительности и постоянной времени t , служащей мерой времени установления его стационарного режима при облучении.

Наиболее чувствительны охлаждаемые до очень низкой температуры полупроводниковые болометры, изготовленные из германия, легированного галлием. При температуре 2–4 К, приемной площадке 10 мм² и сопротивлении 12 кОм чувствительность составляет 4,5 кВ/Вт, а постоянная времени 0,4 мс. Весьма чувствительны также сверхпроводящие болометры с чувствительным элементом в виде тонкой проволоки, которая находится при температуре перехода в сверхпроводящее состояние и по которой протекает измерительный ток. Под действием излучения сопротивление проволоки частично восстанавливается, что приводит к увеличению падения напряжения. Недостаток таких болометров – необходимость поддержания температуры с высокой степенью точности и сложность согласования болометра с усилителем.

1.4.8 Применение АФН-пленок как ПОИ

Проведенный анализ теоретических и экспериментальных работ по выбору ПОИ показывает, что АФН-пленка является новым перспективным элементом для оптоэлектроники в качестве приемника оптического излучения автономного типа.

Разработанные АФН-приемники наиболее целесообразно использовать как приемники оптического излучения там, где требуется отсутствие источника питания (при необходимости обеспечить повышенную взрывобезопасность) и высокая чувствительность ПОИ.

Технологический режим получения АФН-пленок зависит от большого числа параметров, таких как температура испарения подложки, угол напыления, толщина пленки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки пленок после напыления, скорости и времени испарения, исходные массы материалов и т.п.

1.5 Выводы по главе 1

1. Выявлено, что основным элементом оптрона является ПОИ. По принципу действия и изготовления ПОИ можно разделить на три большие группы: полупроводниковые (фотонные) ПОИ, тепловые (неселективные) ПОИ, фотоэлектронные и фотоемкостные ПОИ. По отдельным параметрам полупроводниковые ПОИ уступают фотоэлектронным ПОИ, но использование их в оптоэлектронных системах предпочтительнее из-за малых габаритов, высокой надежности и небольших рабочих напряжений.

2. Для оптоэлектронных первичных измерительных преобразователей – оптронов открытого канала – в безлинзовых оптоэлектронных системах в качестве источника анализирующего излучения выбранные полупроводниковые ПОИ должны удовлетворять условиям: а) максимальное спектральное согласование по чувствительности спектров излучения; б) высокое быстродействие и интегральная чувствительность; в) прием до 95% доли излучения после взаимодействия излучения с контролируемым объектом.

3. Проведенный анализ теоретических и экспериментальных работ по выбору ПОИ показывает, что АФН-пленка является новым перспективным элементом для оптоэлектроники в качестве приемника оптического излучения автономного типа.

4. Отличительными особенностями АФН-приемников являются высокая интегральная чувствительность, максимальное спектральное согласование по чувствительности спектров излучения, главным преимуществом является целесообразность их использования там, где требуется отсутствие источника питания (при необходимости обеспечить повышенную взрывобезопасность) и высокую чувствительность ПОИ.

2 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АФН-ПЛЕНОК И ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ

2.1 Методика изготовления эффективных АФН-пленок

Для получения АФН-пленок из соединений CdSe, CdTe, CdTe:Cd нами использован метод термического испарения в вакууме. Вакуумная установка собрана на основе механического форвакуумного насоса типа РВН-4 и паромасляного диффузионного насоса типа Н-01, которые обеспечивают давление порядка 10^{-4} мм рт. ст. В качестве испарителей использованы тигли из окиси алюминия или бериллия [3].

Температура испарения полупроводника достигалась регулированием тока. Подложки нагревались с помощью печки, конструкция которой дает возможность изменять температуру подложки до 600°C. Температура на подложке и испарителя контролировалась хромель-алюмелевыми термопарами, закрепленными непосредственно на них. В качестве подложек использовали стекло и кварц с металлическими контактами.

Подложку очищали путем обработки в кипящем 0,5%-растворе азотной кислоты, затем обезжиривали в ацетоне, многократно кипятили в дистиллированной воде, протирали медицинским спиртом и помещали в камеру для испарения.

После достижения вакуума 10^{-4} мм рт. ст. производили обжигание подложек путем нагрева при температуре 300°C в течении 30 минут.

В качестве исходного материала использовали порошкообразные CdTe и CdSe марки «для полупроводников». До установления стационарного режима испарения тигель накрывали заслонкой, что давало возможность более точно контролировать время осаждения материала. Для сохранения состава шихты и начального потока испаряемого материала перед испарением шихты отжигали в режиме испарения в течение 20...25 минут. Малое расстояние между электродами при продольном режиме работы уменьшает электрическую прочность пленок, поэтому для получения пленок с большой толщиной и повы-

шения температуры осаждения, а также во избежание уноса и прямого попадания частиц на подложку поверхность тигля закрывали кварцевой пластинкой.

При применении соответствующих приспособлений нам удалось получить слои в широком диапазоне толщин (0,1...3,0 мкм) и при высоких температурах подложки (400°C).

В некоторых случаях, для предотвращения отклонения от стехиометрического состава произведено подпыление S или CdS одновременно в процессе испарения. При испарении смеси порошков CdS+CdSe также нарушалась стехиометрия. Материалы CdSe и CdS в соответствующем количестве помещали в тигель и испаряли одновременно. В пленках, полученных такой методикой, электрофизические свойства колебались в довольно большом диапазоне. Для сохранения стехиометрии во всех образцах производили испарение по методу трех температур, используя два тигля: в один помещали CdSe, в другой CdS. Порошки CdSe и CdS перед испарением обжигали в режиме испарения в течение 20 минут [27].

Использование двухтигельного способа получения пленок из CdTe:Cd давало дополнительную возможность менять состав и получать пленки в широком диапазоне температуры подложек. Некоторые основные параметры пленок приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1– Основные параметры пленок

Номер образца	Температура подложки	Скорость испарения, мг/мин	Сопротивление образца, Ом
K31	100	3	10^5
K51	150	3	10^5
K53	150	0,5	5×10^5
K45	200	5	10^5
K47	200	3	10^6
K67	250	1	5×10^6
K65	250	5	10^6
K72	300	0,5	10^7
K75	300	6	10^6
K81	350	5	10^6
K93	400	3	10^7

Технологический режим получения подобных пленок зависит от большого числа параметров, таких как температура испарения и подложки, толщина пленки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки пленок после напыления.

Оптимальные технологические параметры АФН-пленок, у которых фотонапряжение достигалось 1000 В/см^2 при комнатной температуре, следующие (таблица. 2.2):

Таблица 2.2 – Оптимальные технологические параметры АФН-пленок

Полупроводниковый Материал	Вакуум, мм рт. ст.	Температура подложки, °С	Угол напыления	Толщина пленки, мкм
CdTe	10^{-4}	200...250	35°	0,7...1,5
CdSe	10^{-4}	200...300	35°	0,7...2,0

2.2 Технология изготовления пленок CdTe:Ag

Для получения контрольных и активированных АФН-пленок CdTe:Ag использована вакуумная установка типа ВУП-2К. В рабочей камере установки вакуум достигал порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ мм рт. ст. Вакуумная камера представляла собой стеклянный или кварцевый цилиндрический колпак диаметром 10 см и высотой 30 см, где производилось напыление исходного полупроводникового материала и примеси. В рабочей вакуумной камере на расстоянии 20...25 см от ее дна располагался держатель, выполненный в виде рамки, на которую крепились подложки. Расстояние между рамкой и тиглем было в пределах 8...10 см. Путем поворота держателя можно было изменять угол напыления от 0 до 90°. Температура подложки поддерживалась с помощью печки, надетой на кварцевый колпак. При этом можно было менять температуру подложки от 20 до 600°C. Для изменения температуры подложки использовались хромель-алюмелевые термопары. Для испарения полупроводникового материала CdTe и примесей Ag изготавливались тигли из вольфрамовой или молибденовой проволоки диаметром 0,6 мм в виде конусной корзиночки, поверхностная площадь которой равнялась 60 мм^2 . На поверхность

корзиночки наносилась водная суспензия окиси бериллия или окиси алюминия. После сушки на воздухе они отжигались в высоком вакууме 1300°C . Процесс повторялся до тех пор, пока не получался достаточный слой окиси. Затем тигель окончательно отжигался в вакууме в течение 5 часов при постепенном повышении температуры до 1600°C . Тигли, изготовленные таким образом, были очень жаростойкими и удобными в использовании. С целью достижения более постоянного режима испарения в корзиночку загружалась навеска CdTe с таким расчетом, чтобы по окончании нанесения пленки не испаренный остаток шихты в испарителе составлял примерно половину первоначального веса.

В качестве подложек использовалось стекло, толщиной 2...5 мм. Перед началом процесса вакуумного испарения стеклянные подложки промывались 2-3 раза в кипящей дистиллированной воде в течение 20...25 минут и сушились в сушильном шкафу при температуре 150°C в течение 30 минут, затем обжигались при 250...300 $^{\circ}\text{C}$ в вакууме в течение 10 минут.

Подготовленные подложки помещались в специальный держатель и на поверхность подложки при температуре 200...300 $^{\circ}\text{C}$ в вакууме порядка 10^{-4} ... 10^{-5} мм рт. ст. Напылялась примесь серебра из отдельного тигля. Масса левирата обычно составляла 1/3 от массы основного полупроводникового соединения, которая испарялась из другого тигля. Точное количество вводимой примеси установить было невозможно из-за сложности процесса осаждения металла на подложку, а время и скорость напыления определялись экспериментально для получения наилучшей пленки с аномальными фото напряжениями (АФН). Скорость конденсации CdTe , определенная из отношения толщины пленки ко времени напыления, составляла 3...5 нм/с. Толщина пленок определялась при помощи интерференционных микроскопов МИИ-4 и МИИ-5.

2.3 Методика увеличения АФН в пленочных структурах типа CdTe

Известно, что пленки, обладающие АФН, представляют собой функциональный преобразователь, трансформирующий световой поток в

аномально большое фотонапряжение. В связи с этим, исследование и изучение влияния внешних воздействий на свойства пленок играют немалую роль.

Исследованные АФН-пленки CdTe получились из порошкообразного CdTe в вакууме по оптимальной технологией при температуре подложки 200...250°C и толщине пленок в пределах 0,7...1,5 мкм.

Далее изучено влияние газового разряда и термообработки на электрофизические свойства АФН-пленок теллурида кадмия. Были изучены зависимости аномального фотонапряжения $V_{\text{АФН}}$, сопротивления R и тока короткого замыкания $J_{\text{КЗ}}$ пленок от времени напыления и от температуры подложки.

На рис. 2.1 показаны зависимости $V_{\text{АФН}}$, R и $J_{\text{КЗ}}$ от времени напыления. Видно, что $V_{\text{АФН}}$ и R сначала увеличиваются с увеличением времени напыления, достигают своих максимальных значений после 10 минутного напыления, а затем значения $V_{\text{АФН}}$ и R уменьшаются. Ток короткого замыкания практически не зависит от времени напыления. Такая зависимость $V_{\text{АФН}}$, R и $J_{\text{КЗ}}$ от времени напыления обнаружена также в работе [25], где были изучены влияния электронной и ионной бомбардировок на электрофизические свойства пленок кремния и германия.

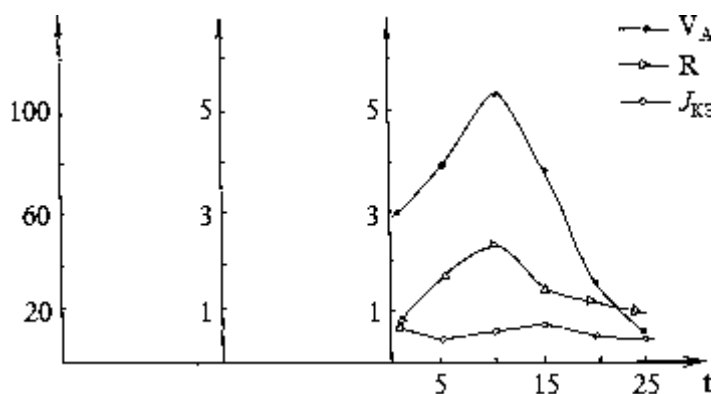


Рисунок 2.1– Зависимость $V_{\text{АФН}}$, R и $J_{\text{КЗ}}$ от времени напыления

Результаты, приведенные на рис. 2.1, показывают, что при определенном интервале времени напыления можно получить эффективные АФН-пленки.

С целью выяснения характера поведения АФН-пленок при термообработке, а также влияния газового разряда на него исследовали

температурные зависимости генерируемого фотонапряжения $V_{\text{АФН}}$, тока короткого замыкания $J_{\text{КЗ}}$ и сопротивления R пленок теллурида кадмия. Пленки обрабатывали как в вакууме, так и в воздухе в течение одного часа в печи, конструкция которой дает возможность объемно изменять температуру до $\sim 400^\circ\text{C}$. В процессе термообработки полярность пленок оставалась неизменной, освещение при всех измерениях было постоянным $I = 5 \cdot 10^4$ лк.

На рис. 2.2 приведены зависимости $V_{\text{АФН}}$, R и $J_{\text{КЗ}}$ от температуры T при термообработке АФН-пленок на воздухе и в вакууме. В исследованных пленках, которые подвергались термической обработке на воздухе (рис. 2.2, а), фотонапряжение пленки сначала возрастало (кривая 1), а потом уменьшалось. Ток короткого замыкания с увеличением температуры до 200°C снижался (кривая 3), сопротивление пленок при $50 \dots 100^\circ\text{C}$ повышалось (кривая 2). В пленках, обработанных в вакууме (рис. 2.2, б) при $50 \dots 200^\circ\text{C}$, фотонапряжение и сопротивление возрастало (кривые 1 и 2), ток короткого замыкания снижался (кривая 3). Дальнейшее увеличение температуры привело к уменьшению $V_{\text{АФН}}$ и R , а ток короткого замыкания оставался неизменным. В процессе термообработки полярность пленок оставалась неизменной. Освещение при всех измерениях поддерживалось постоянным ($I = 5 \cdot 10^4$ лк). В работах [38, 39], где производились температурные измерения по АФН-эффекту, отмечается, что с понижением температуры фотонапряжение и сопротивление пленок возрастает.

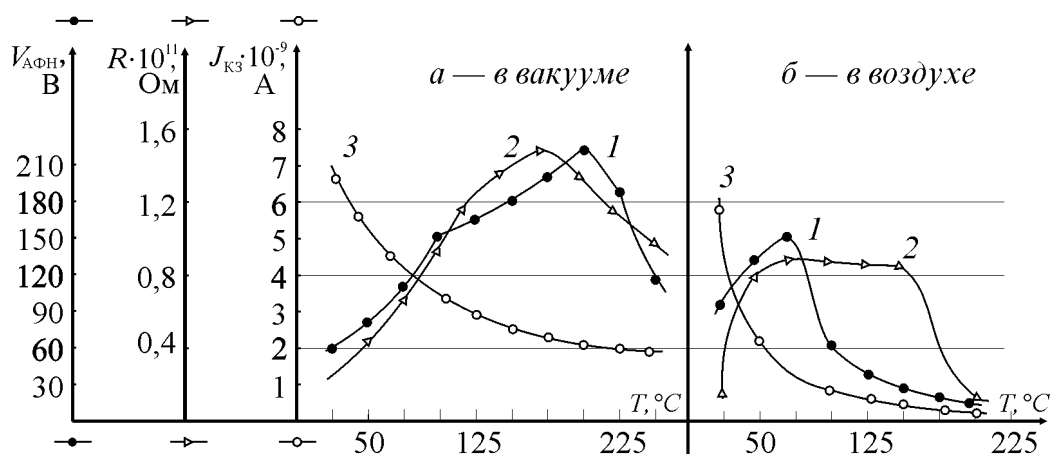


Рисунок 2.2 – Зависимость $V_{\text{АФН}}$, R и $J_{\text{КЗ}}$ от T при обработке пленок

Сравнение измерений, проведенных при обработке в воздухе и в вакууме, показывает, что при обработке в вакууме в интервале температур 25...225°C значения фотонапряжений значительно превышают значения, получающиеся при обработке в воздухе, а соответствующие значения сопротивления — в интервале 100...200°C (см. рис. 2.2).

Изменение параметров АФН-пленок CdTe от температуры, по-видимому, обусловлено их окислением, т. е. при термообработке появлялись прослойки, а при определенной температуре происходило насыщение. Увеличение значений $V_{\text{АФН}}$ и R при обработке в вакууме можно объяснить десорбцией кислорода в исследованных образцах. Таким образом, при действии газового разряда на пленку наблюдаются изменения основных характеристик пленок, что связано с абсорбцией и десорбцией кислородных атомов и действием катодных ионов на свойства пленок.

Были исследованы три способа активизации АФН-пленок [43]:

1. Первоначально на подложку напылялся тонкий слой серебра толщиной 1...2 мкм, затем на эту поверхность пленки напылялся теллурид кадмия. После этого проводилась термическая обработка в вакууме.
2. В процессе конденсации слоя CdTe производилось одновременное легирование образующейся пленки путем напыления Ag из отдельного тигля.
3. Изготовление механической смеси теллурида кадмия и серебра путем перемешивания их порошков с последующим напылением в течении часа в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. При этом температура подложки поддерживалась $T_{\text{п}} = 200^{\circ}\text{C}$.

Проведенные на большом числе образцов исследования показали, что наиболее эффективными являются первый и второй методы. При этом пленки обладают наиболее стабильными фотовольтаическими свойствами. При освещении их источником света интенсивностью $\sim 8 \cdot 10^{-2}$ Вт/см² генерировались АФН до 800 В/см² образца при комнатной температуре.

ВАХ всех исследованных АФН-пленок при комнатной температуре в

интервале значений освещенности $I = 3,5 \cdot 10^4$ лк и напряженностей электрического поля $E = 10^3$ В/см подчиняются закону Ома.

Люкс-вольтовые характеристики существенно нелинейны, и фотонапряжение практически достигает насыщения при освещенностях порядка 10 лк. Быстрый выход люкс-вольтовых зависимостей на насыщение обеспечивает стабильность оптоэлектронных систем при изменении освещенности.

При освещении обратной стороны АФН-пленки источником света интенсивностью $\sim 8 \cdot 10^{-2}$ Вт/см² генерировались АФН до 300 В/см². Это означает, что при отражении света тоже генерируется АФН. Если покрыть обратную сторону стеклянной или кварцевой подложки отражающим покрытием Ag, величина АФН-эффекта должна измениться. При нанесении на одну сторону стеклянной подложки фоточувствительного слоя термическим испарением кристаллического теллурида кадмия, подложку располагают под углом 45° к направлению молекулярного пучка для того, чтобы создать поверхностную угловую анизотропию, ответственную за возникновение аномального фотонапряжения. При этом оптимальным является расположение подложки под углом 45° к направлению молекулярного пучка. При нанесении на противоположную сторону стеклянной подложки отражающего слоя из серебра процесс ведут при давлении 10^{-4} мм рт. ст. и температуре подложки 250...600°С для того, чтобы уменьшить окисление отражающего слоя из серебра.

На рис. 2.3 приведено изображение аномально фотонапряженной пленки. Падающий поток света Φ_0 генерирует фотонапряжение АФН. Часть потока света Φ_1 , проходя через подложку, попадает на слой серебра и, отражаясь, попадает на обратную сторону пленки теллурида кадмия, в результате чего происходит дополнительное поглощение света и в связи с этим увеличивается генерируемое фотонапряжение $V_{\text{АФН}}$.

Изготовление такой пленки осуществляется в следующей последовательности: на одну сторону стеклянной подложки, расположенной под углом 45° к направлению молекулярного пучка, при температуре

420...600°C и давлении 10^{-5} мм рт. ст. наносят слой из теллурида кадмия толщиной 0,2 мкм, затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра толщиной 1 мкм термическим испарением при температуре подложки 250...300°C и давлении 10^{-4} мм рт. ст.

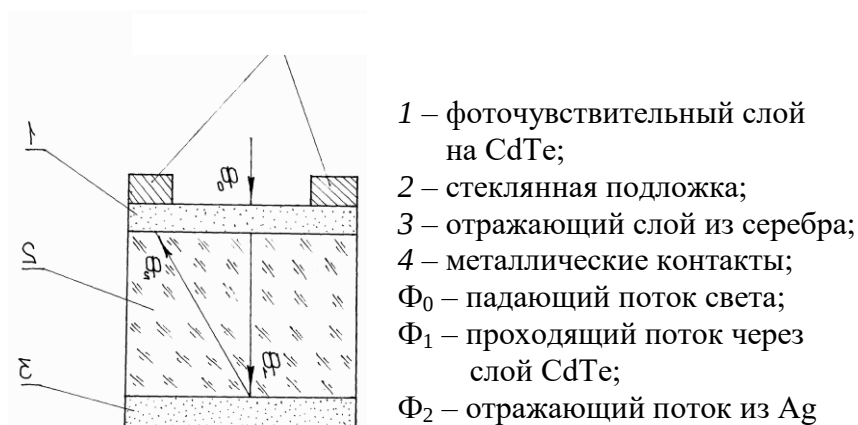


Рисунок 2.3 – АФН-пленка с отражающим серебряным слоем

Пример 1. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 400°C, в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, до толщины пленки 0,2 мкм. Затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра термическим испарением при температуре подложки 250°C и вакууме 10^{-4} мм рт. ст. Толщина пленки должна составлять примерно 1 мкм. Величина аномального фотонапряжения в этом случае будет 215 В при освещенности 10^4 лк.

Пример 2. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 500°C, в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, до толщины пленки 0,2 мкм. Затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра термическим испарением при температуре 270°C и вакууме 10^{-4} мм рт. ст., толщина пленки должна составлять примерно 1 мкм. Величина аномального

фотонапряжения после нанесения отражающего слоя будет 420 В при освещенности 10^4 лк.

Пример 3. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 490°C , вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, до толщины пленки 0,2 мкм. Затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра термическим испарением при температуре 300°C и вакууме 10^{-4} мм рт. ст., толщина пленки должна составлять примерно 1 мкм. Величина аномального фотонапряжения после нанесения отражающего слоя будет 480 В при освещенности 10^4 лк.

Пример 4. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 600°C , вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, до толщины пленки 0,2 мкм. Затем на противоположную сторону стеклянной подложки наносят отражающий слой из серебра термическим испарением при температуре 320°C и вакууме 10^{-4} мм рт. ст., толщина пленки должна составлять примерно 1 мкм. Величина аномального фотонапряжения после нанесения отражающего слоя будет 120 В при освещенности 10^4 лк.

В фотогенераторах на основе пленок теллурида кадмия герметичность фоточувствительного слоя повышает надежность и стабильность выходных характеристик и, кроме того, зеркальная поверхность позволяет увеличить фоточувствительность при малых интенсивностях света. Сравнение $V_{\text{АФН}}$ АФН-пленок, полученных до и после нанесения покрытия из серебра, приведено в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнение $V_{\text{АФН}}$ АФН-пленок

№ пленки	$V_{\text{АФН}}, \text{В}$	
	до нанесения покрытия	после нанесения покрытия
24	350	430
60	800	1000
77	60	70
89	400	480
90	500	600

Эти результаты показывают, что после нанесения серебряного покрытия на обратную сторону подложки, аномальное фотонапряжение увеличивается до 20%.

2.4 Исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок теллурида кадмия с серебром

При изучении фотопроводимости (ФП) пленок CdTe, обладающий АФН, возникают некоторые сложности, так как появляется фото-ЭДС, сравнимая по величине с приложенным полем. Поэтому надо было провести комплекс исследований, позволяющий определить ФП и ток короткого замыкания $J_{\text{кз}}$, определяя разницу вдоль и поперек клинообразного образца. Для этого изготавливались образцы с крестообразным расположением контактов вдоль и поперек асимметрии слоя.

Спектры ФП, измеренные с внешним напряжением, приложенным параллельно асимметрии кристаллитов, показаны на рис. 2.4. В длинноволновой области спектра до $h\nu = 1,5$ эВ создается фото-ЭДС намного меньшей величины по сравнению с величиной внешнего напряжения, поэтому только в этой области ФП и фотосигнал совпадают по величине при разных полярностях приложенного напряжения. С увеличением энергии кванта света ($h\nu = 1,15$ эВ) уже появляется фото-ЭДС. В одном случае, когда полярность фото-ЭДС совпадает с полярностью приложенного напряжения, фотосигнал увеличивается (рис. 2.5, кривая 1). В другом случае, когда полярности генерируемого АФН и приложенного внешнего поля противоположны, в

результате возникновения большой фото-ЭДС $h\nu > 1,35$ В наблюдается инверсия знака (кривая 2).

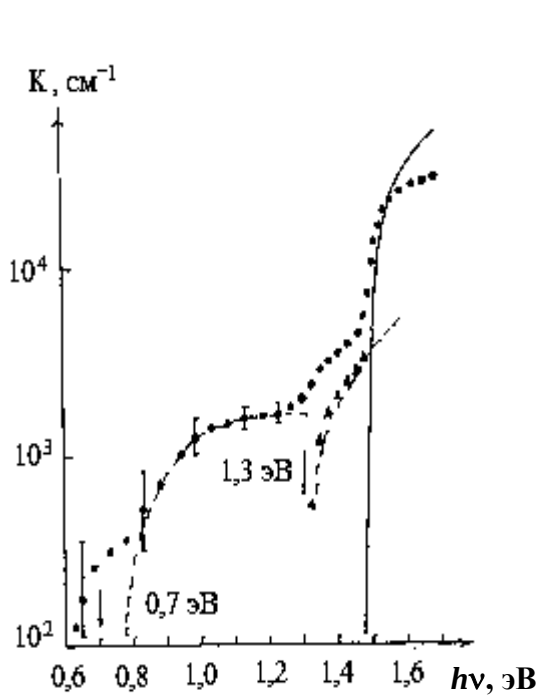


Рисунок 2.4 – Спектры поглощения пленок CdTe:Ag, полученных со скоростью конденсации 0,2 нм/с. Сплошной линией обозначен край поглощения монокристаллов CdTe

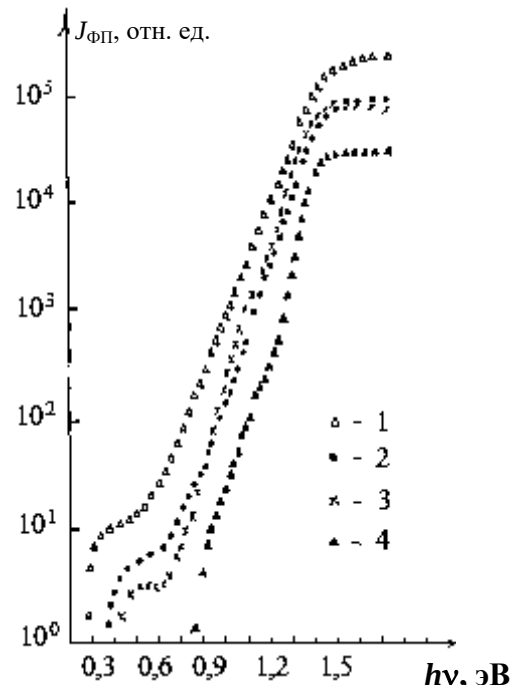


Рисунок 2.5 – Спектры ФП АФН-пленок CdTe:Ag.

ФП измерены параллельно (1, 2) и перпендикулярно (3, 4) асимметрии кристаллитов, 1, 3 — без добавочной подсветки; 2, 4 — с добавочной подсветкой.

Путем усреднения аналогичных зависимостей было вычислено влияние $J_{кз}$ и построены спектры ФП (кривые 1, 2). Перпендикулярно асимметрии кристаллитов фотосигнал совпадает при разных полярностях приложенного напряжения во всем измеренном спектре (кривые 3, 4), так как в этом направлении величина генерируемой фото-ЭДС более чем на порядок меньше величины фото-ЭДС, генерируемой параллельно асимметрии кристаллитов [36].

Подсветка должна стабилизировать изменения барьеров, что и выражается в выявлении (рис. 2.5) полос примесной ФП с энергиями активации около 0,9 и 1,3 эВ. Длинноволновый край ФП находится около 0,4...0,5 эВ. Понижение температуры приводит к опустошению этих уровней с ростом длины экранизации. Из этого следует, что при низких температурах

фотогенерация возможна из уровней с энергией активации 1,2 эВ. Подсветка заполняет более низкие уровни и в спектре ФП выявляются уровни с энергией активации 0,5 и 0,8 эВ. Эти значения показывают, что в области барьеров имеется *p*-тип проводимости, а в объеме при низких температурах проводимость также становится *p*-типа.

Следует отметить, что как темновая, так и световая электропроводимость поперек слоя больше, чем вдоль его. По-видимому, это связано с тем, что при росте кристаллитов поперек слоя плотность поверхностных состояний из-за лучшего их сращивания получилась меньше, чем вдоль слоя, когда сращивание было хуже. Это и приводит к тому, что величина барьеров (на уровне барьера протекания) вдоль и поперек слоя (оценивая по абсолютному значению тока) различается на 5...10 МэВ. Фотопроводимость в области 0,6...0,9 эВ также подтверждает различие в скорости регенерации носителей из уровней в барьере, так как анизотропия фотопроводимости (изменение высоты барьера) больше вдоль слоя. ФП с увеличением подсветки уменьшается, что связано с уменьшением времени жизни носителей.

В косонапыленных пленках CdTe потенциальные барьеры, как и в других неоднородных полупроводниках, могут служить дрейфовыми или рекомбинационными барьерами для неравновесных носителей. При наличии дрейфовых E_{gp} и рекомбинационных $E_{рек}$ барьеров изменения проводимости можно записать следующим образом:

$$\Delta\sigma = e\alpha\beta L \left(\tau_0^n \mu_0^n \exp \left[\frac{E_{рек}^n(L) - E_{gp}^n(L)}{KT} \right] \frac{S^n}{l^n} + \tau_0^p \mu_0^p \exp \left[\frac{E_{рек}^p(L) - E_{gp}^p(L)}{KT} \right] \frac{S^p}{l^p} \right) \quad (2.1)$$

где e – заряд электрона, α – коэффициент поглощения, β – квантовая эффективность, L – интенсивность света, τ_0^p, n, p, μ_0, p – соответственно время жизни и подвижность носителей заряда в однородном полупроводнике соответственно с *p*- и *n*-типом проводимости.

При освещении зависимость $\Delta\sigma$ от L определяется не только условиями

генерации и рекомбинации неравновесных зарядов, но и изменением величины и ширины потенциальных барьеров. Влияние барьеров на ФП более заметно при малых уровнях возбуждения. Сверхлинейность люкс-амперной характеристики (ЛАХ) при малых уровнях возбуждения показывает, что в этой области дрейфовые барьеры уменьшаются быстрее по сравнению с рекомбинационными барьерами, особенно это проявляется в случае перпендикулярной ФП. С увеличением интенсивности света ЛАХ переходит от сверхлинейности к линейности и сублинейности. В этом случае влияние дрейфовых барьеров исчезает, и поэтому ЛАХ в обоих направлениях практически совпадают.

Различие коэффициентов α ЛАХ при малых уровнях возбуждения особенно заметно при освещении квантами света $h\nu = 1,1...1,2$ эВ, когда генерируются электроны из уровня $E_c = 1,03$ эВ в зону проводимости, а асимметрия спектральных зависимостей ФП говорит о том, что потенциальные барьеры в обоих направлениях различны.

Таким образом, изучая ЛАХ, спектры ФП и $J_{кз}$ в направлении вдоль и поперек возникающей фото-ЭДС, можно получить информацию об асимметрии барьеров. Как следует из рис. 2.4, фото-ЭДС возникает при более коротковолновом возбуждении, и выделенные из ФП спектры $J_{кз}$ или прямо измеренные $V_{АФН}$ или $J_{кз}$ имеют форму резкого нарастания сигнала с увеличением энергии кванта. На длинноволновом крае имеется структура, связанная с глубокими уровнями. В некоторых слоях наблюдалась инверсия знака АФН при возбуждении с прямой и тыловой поверхностей образца.

В спектральных зависимостях фотонапряжения $V_{АФН}$ и тока короткого замыкания $J_{кз}$ полученных пленок наблюдается ярко выраженное влияние глубоких уровней (рис. 2.6), что позволило определить энергии активации из сравнения экспериментальных результатов измерения $\sigma(h\nu)$ с теоретическими кривыми.

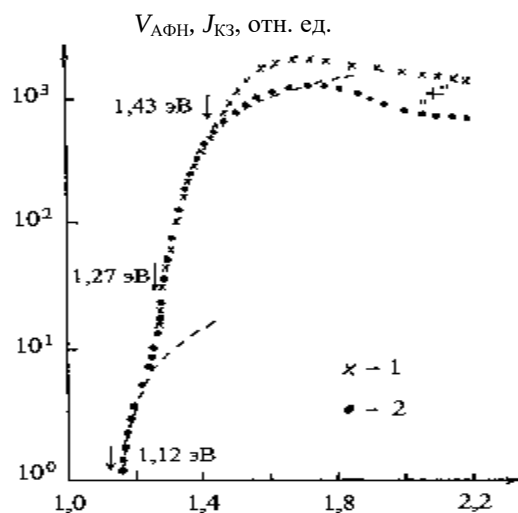


Рисунок 2.6 – Спектры АФН-пленок CdTe:Ag при фронтальном освещении, $T = 370^\circ\text{C}$.

1 – с дополнительной подсветкой, 2 – без дополнительной подсветки. Пунктир – теория

При анализе экспериментальных результатов использована теоретическая зависимость

$$\sigma_{\phi}(h\nu) = \frac{R_g \sqrt{E_0 m^* m_0}}{2m_n^2} \frac{(h\nu - E^0)^{3/2}}{h\nu \left[h\nu + E^0 \left(\frac{m_0}{m^*} - 1 \right) \right]^2}, \quad (2.2)$$

рассчитанная методом Луковского только для глубоких центров, имеющих δ -образный потенциал, причем масса носителя, взаимодействующего с центром, равна ее эффективной массе.

Сопоставление экспериментальных результатов с теоретическими зависимостями $\sigma_{\phi} = f(h\nu)$ и графический анализ этих результатов говорят о том, что АФН-эффект в примесной области для нелегированных и легированных серебром пленок определяется глубокими уровнями с энергиями активации равными $0,17 \pm 0,03$ эВ и $0,33 \pm 0,03$ эВ. Возможное схематическое расположение глубоких уровней в пленках CdTe:Ag приведены на рис. 2.7.

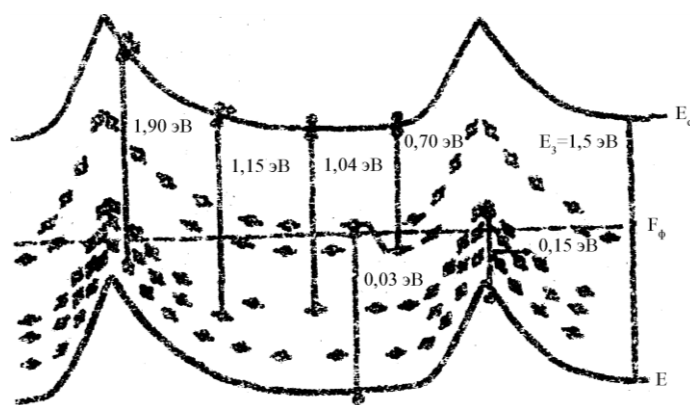


Рисунок 2.7– Схематическое расположение глубоких уровней в пленках CdTe:Ag

Установленные в данной работе оптические энергии ионизации глубоких уровней в косонапыленных пленках CdTe:Ag согласуются с данными других авторов [37, 38], полученными для пленок и монокристаллов. Глубокий уровень, расположенный на 0,14...0,17 эВ выше валентной зоны, часто наблюдается в CdTe и считается, что он является комплексом, образованным из двухзарядной вакансии кадмия и водородоподобного донора III или VII группы ($V^{2-}D^{+}$). Подсчитанные значения энергии активации 0,14 и 0,17 эВ соответствуют для комплексов $(V_{Cd}^{--}Cl_{Te}^{+})$, $(Cd^{--}In_{Cd}^{+})$, что хорошо совпадает с экспериментальными результатами [39]. Уровни энергии активации, которые равны 0,30...0,35 эВ, относительно валентной зоны в CdTe:Ag связываются с примесями Ag, Cu [37]. Уровень $E_c = 1,12$ эВ связывается с V_{Cd}^{--} или комплексом, в состав которого входит вакансия кадмия, либо примесь, растворимость которой зависит от давления кадмия [39].

Таким образом, полученные результаты говорят о том, что за генерацию АФН в области примесного поглощения в основном ответственны дефекты кристаллической решетки, создающие глубокие уровни, расположенные при температуре 30°C ниже зоны проводимости на $1,12 \pm 0,03$ и $1,27 \pm 0,03$; $1,43 \pm 0,03$ эВ соответственно для специально нелегированных и легированных серебром пленок теллурида кадмия, которые наблюдаются и в монокристаллах.

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО И ДВУМЕРНО КООРДИНАТНО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ПРИЕМНИКА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

3.1 Кинетические явления в АФН-пленках типа CdTe

Из анализа многих теоретических и экспериментальных фактов [17–21] следует, что в пленках типа CdTe АФН-эффект обусловлен микро-*p-n*-переходным механизмом.

На основе *p-n*-переходной модели можно видеть, что линейность ВАХ связана с последовательным включением большого числа ($\sim 10^5$) *p-n*- и *n-p*-переходов, на каждый из которых падает смещающее напряжение 0,1 В, т. е. $e \cdot < \frac{kT}{q}$.

Были получены АФН-пленки из полупроводникового материала CdTe, CdSe, CdTe:Ag и исследованы их вольт-амперные, люкс-вольтовые и температурные характеристики. Генерируемые напряжения регистрировали электрометром В7-30 [35].

Согласно [3], определенные выводы о природе явления можно сделать на основе зависимости фотонапряжения от угла падения света. Если наблюдается инверсия знака фотонапряжения в пределах $0...180^\circ$, это свидетельствует о фотодиффузионном (демберовском) механизме АФН-эффекта. Если при изменении угла падения в указанных пределах инверсия знака фотонапряжения не имеет места, тогда АФН-эффект связан с *p-n*-переходным механизмом.

В полученных пленках CdTe, CdSe, CdTe:Ag АФН-эффект можно объяснить моделью *p-n*-переходов, так как на кривых $V_{\text{АФН}}$ не наблюдается инверсия фотонапряжения.

В пленках CdSe, CdTe, CdTe:Ag не наблюдается аддитивность фотонапряжения даже в тех случаях, когда фотонапряжение имеет одинаковую полярность при освещении с фронта и тыла. Этот характер можно объяснить на

основе *p-n*-переходной модели согласно представлению, что АФН-пленка состоит из активного приповерхностного и неактивного объемного слоев, как отмечено в работе [20] для CdTe.

В фотовольтаически неактивном слое при освещении с тыла происходит частичное поглощение света, поскольку этот слой обладает фотопроводимостью, и действует как шунт, снижающий генерируемое напряжение.

Если в пленках наблюдается аддитивность фотонапряжений при тыловом и фронтальном освещении, то это связано с отсутствием в них процесса шунтирования фотонапряжения фотопроводимостью объема пленки.

Анализ температурных зависимостей $V_{\text{АФН}}(T)$ показывает [36], что практически для пленок всех материалов они совпадают с зависимостями $R(T)$. Это указывает, что первичным процессом в АФН-эффекте является генерация фототока, а фотонапряжение – результат протекания фототока в фотогенераторе с большим внутренним сопротивлением.

ВАХ исследованных пленок оказались линейными до фотонапряжений 500 В/см.

В исследованных пленках [35, 36], которые подвергались термической обработке на воздухе (рис. 2.2), фотонапряжение пленки сначала возрастало (кривая 1), а потом уменьшалось. Ток короткого замыкания с увеличением температуры до 200°C снижался (кривая 3), сопротивление пленок при 50...100°C повышалось (кривая 2). В пленках, обработанных в вакууме (рис. 2.3) при 50...200°C фотонапряжение и сопротивление возрастало (кривые 1 и 2), ток короткого замыкания снижался (кривая 3). Дальнейшее увеличение температуры привело к уменьшению $V_{\text{АФН}}$ и R , а ток короткого замыкания оставался неизменным. В процессе термообработки полярность пленок оставалась неизменной. Освещение при всех измерениях поддерживалось постоянным ($I = 5 \cdot 10^4$ лк).

Проанализировав графики температурных зависимостей, можно считать, что АФН-эффект в пленках типа теллурид кадмия связан с суммированием

напряжений p - n -переходов, образующихся на границе гексагональной (0001) и кубических фаз (111) [19]. Следует отметить, что АФН-эффект в пленках CdTe:Ag и других сложных полупроводниковых соединениях тоже связан с p - n -переходным механизмом.

Удельное сопротивление пленок, вычисленное по измеренному значению ρ и геометрии пленок, на несколько порядков больше удельного сопротивления исходного материала. Это свидетельствует о наличии в АФН-пленках высокоомных прослоек. Для демберовского механизма АФН-эффекта роль таких прослоек принципиально важна, так как они препятствуют обмену носителями тока между соседними фотоактивными микроэлементами. В пленках с p - n -переходным механизмом АФН-эффекта роль таких прослоек не принципиальна. Таким образом, пленка представляет собой батарею, состоящую из N активных участков разделенных прослойками.

В АФН-пленках типа CdTe возможность образования p - n -переходов можно объяснить тем, что дефект упаковки в кубической гранецентрированной структуре (г. ц. к.) представляет собой расположение нескольких атомных слоев в последовательности соответствующей гексагональной плотноупакованной структуре, относительно которой имеется зеркальное отражение. Остальные плоскости г. ц. к.-структуры и области, разделяемые дефектом упаковки, обладают p - и n -типом проводимости. P -типом проводимости обладают области при локальном отклонении состава от стехиометрического в сторону Te, а n -типом в сторону Cd.

На рис. 3.1 схематически изображена наклонно-напыленная пленка CdTe, в которой обратная сторона подложки покрыта серебром. Роль серебряного покрытия заключается в том, что при вертикальном освещении пленки часть излучения, проходя через пленку, отражается от покрытия.

Отраженное излучение вновь попадает в пленку, что приводит к появлению дополнительных электронно-дырочных пар. Кристаллиты данной пленки наклонены в сторону испарителя, но угол их наклона (ψ) меньше угла наклона падения парового потока (ψ_0) относительно нормали к плоскости

подложки, что соответствует исследованным в данной работе пленкам, напыленным под углом $\psi_0 = 25^\circ$ в интервале $T_n = 150...300^\circ\text{C}$.

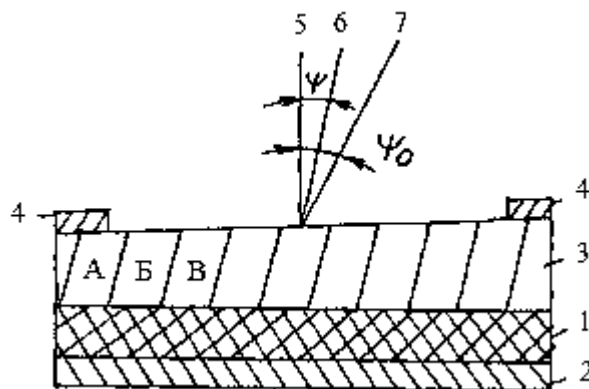


Рисунок 3.1– Наклонно напыленная пленка CdTe:

1 – подложка; 2 – серебряное покрытие; 3 – пленка; 4 – контакты; 5 – нормаль к плоскости подложки; 6 – направление оси текстуры III; 7 – направление падения парового потока при осаждении пленки; А, Б, В... – кристаллиты

В кристаллитах пленки по плоскостям (111) образуются двойниковые дефекты упаковки, на которых возникают p - n -переходы. Предполагается, что потенциальные барьеры на этих p - n -переходах являются неодинаковыми (рис. 3.2.). С отдалением от подложки к поверхности пленки они увеличиваются. Кроме того, уровень Ферми смещается ближе к валентной зоне. Причиной увеличения барьеров и смещения уровня Ферми могут быть: увеличение совершенства кристаллической структуры пленки от подложки к ее поверхности (ближе к подложке пленка является менее совершенной), изменение состава испаряемой шихты во время конденсации пленок и другие. До освещения пленки носители заряда находятся в потенциальных ямах, а система p - n -переходов – в равновесном состоянии. При освещении пленки происходит перераспределение электронов и дырок на p - n -переходах. Каждый p - n -переход становится микрофотоэлементом. При этом на соседних переходах (p - n и n - p) возникают фото-ЭДС противоположных знаков. На переходах, находящихся ближе к поверхности пленки, из-за более высоких потенциальных барьеров возникают фото-ЭДС, абсолютные величины которых больше, чем на соответствующих p - n - и n - p -переходах, находящихся ближе к подложке.

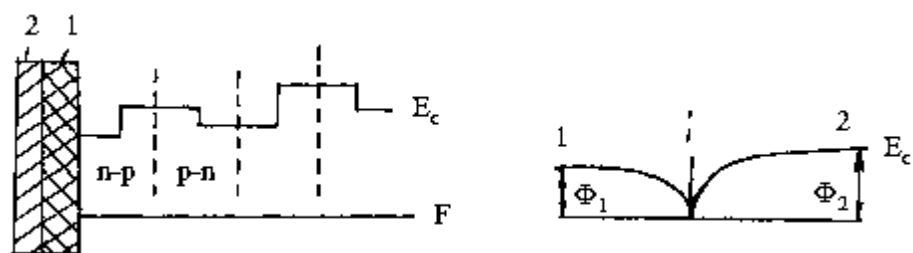


Рисунок 3.2 – Схематическое изображение зоны проводимости (E) p -типа пленки CdTe:

a – p - n -переходы на двойниковых дефектах упаковки одного из кристаллитов, представленных на рис. 3.1. F – уровень Ферми; b – потенциальный барьер на поверхности раздела кристаллитов 1 и 2, где Φ_1 и Φ_2 – высота потенциальных барьеров для этих кристаллитов, соответственно

Ввиду того, что потенциальные ямы являются ассиметричными (рис. 3.2) движение избыточных дырок будет направлено к поверхности кристаллита, а электронов – к подложке. В результате часть кристаллита, находящаяся у поверхности пленки, заряжается положительно, а у подложки – отрицательно.

Величины зарядов на кристаллитах, находящихся ближе к испарителю, должны быть большими, чем на кристаллитах, находящихся дальше от испарителя, так как размеры кристаллитов в кристаллографическом направлении (111), расположенных ближе к испарителю, являются большими, потому что кристаллиты содержат больше двойниковых дефектов упаковки и p - n -переходов с более высокими потенциальными барьерами, обеспечивающими более высокие значения фото-ЭДС. В связи с этим, вдоль подложки больше вероятность наличия между этими кристаллитами ассиметричных потенциальных барьеров [25]. Схематическое изображение такого барьера для зоны проводимости между двумя кристаллитами, находящимся дальше и ближе к испарителю соответственно, представлено на рис. 3.2. До освещения пленки носители заряда находятся в потенциальных ямах. При освещении пленки через барьер из кристаллита 1 перейдет больше дырок (p_1) в кристаллит 2, чем из кристаллита 2 в кристаллит 1 (p_2), так как для дырок p_1 потенциальный барьер ниже, чем для дырок p_2 . Аналогично, учитывая переходы дырок (и электронов в

противоположном направлении) на всех потенциальных межкристаллических барьерах, в результате получим отрицательный заряд на конце пленки, расположенном дальше от испарителя, а на более близком испарителю конце – положительный.

Выражение для сопротивления такой системы можно представить в виде [37]

$$R = N \left(R_1 e^{\frac{E_1}{kT}} - R_2 e^{\frac{E_2}{kT}} \right), \quad (3.1)$$

где k – постоянная Больцмана, e – заряд электрона E_1 и E_2 – энергия активации материала пленки и прослойки,

$$R_1 e^{\frac{E_1}{kT}} \gg R_2 e^{\frac{E_2}{kT}}. \quad (3.2)$$

Выражение для фотонапряжения холостого хода с N микро- p - n -переходами можно записать в виде

$$V_{xx} = N \frac{kT}{e} \ln \left(\frac{J_\phi}{J_s} + 1 \right), \quad (3.3)$$

где J_ϕ – полный поток фотодырок в стороне освещения, J_s – ток насыщения при p - n -переходе.

Величина фототока почти не изменяется с температурой (3.2), температурная зависимость тока насыщения соответствует формуле

$$J_s = A \cdot e^{-\frac{\Delta E}{kT}}, \quad (3.4)$$

где A – величина, независящая от температуры.

Поскольку ВАХ АФН-пленок линейны, то можно записать

$$J_{кз} = \frac{V_{xx}}{R_n}. \quad (3.5)$$

Для того, чтобы ток короткого замыкания слабо зависел от температуры, необходимо, чтобы $E_1 < E_2$ в (2.3, 2.4) при работе переходов в режиме малого уровня генерации $J_\phi / J_s < 1$, следовательно

$$J_{\text{кз}} = \frac{kT}{e} \frac{J_{\phi}}{J_s R_n}; R_n = R_1 + R_2. \quad (3.6)$$

Это условие выполнимо тогда, когда в полупроводниковых пленках теллурида кадмия с серебряным покрытием, полученных на подложках, сильна компенсация акцепторных и донорных примесей. Для монокристаллов теллурида кадмия (2.8) приблизительно совпадает с вычисленным из сопротивления АФН-пленки ($\sim 10^9$ Ом/см). Сопротивление пленки не зависит от сопротивления напыляемого материала. При тех условиях, для которых получена формула (3.6), температурные зависимости V_{xx} и R могут быть представлены в виде

$$V_{\text{xx}} = N \frac{kT}{e} \frac{J_s}{A} e^{\frac{\Delta E}{kT}} \quad (3.7)$$

$$R = R_n \cdot e^{\frac{\Delta E}{kT}} \quad (3.8)$$

Экспериментальные данные, приведенные выше для CdTe:Ag, достаточно хорошо описываются полученными выражениями (2.4–2.10) и подтверждает, что в пленках типа CdTe создание АФН происходит микро p - n -переходами.

3.2 Особенности получения высокочувствительных пленок с аномальным фотонапряжением

Фоточувствительный приемник на основе АФН-пленок (аномального фотонапряжения) [1,2] представляет собой функциональный преобразователь, трансформирующий световой поток интенсивности Φ_0 в аномально большое фотонапряжение $V_{\text{АФН}}$. Соответственно принятой модели [3] эта трансформация складывается из трех этапов.

Во-первых, создания фототока I_{Φ_0} , обусловленного фотогенерацией и пространственным разделением неравновесных носителей на каждом микро- p - n -переходе. Во-вторых, возникновения элементарных напряжений на микро- p - n -переходах в результате накопления объемных зарядов, создаваемых

фототоком. В-третьих, формирования аномально большого фотонапряжения путем суммирования элементарных фотонапряжений на р-п-переходах.

Технология получения АФН-пленок основана на термическом испарении полупроводниковых материалов в вакууме $10^{-3} - 10^{-5}$ мм.рт.ст.

В работах [1-10] получены АФН-пленки из различных полупроводниковых материалов с широкой и узкой запрещенной зоной – CdTe, Si, Ge, GaAs, GaP, Se, PbS халькогенидные сплавы, – используя метод вакуумного испарения. Однако, пленки, полученные этим методом, обладают низким генерируемым напряжением.

Технологический режим получения АФН-пленок зависит от большого числа параметров, таких как температура подложки и испарения, угол напыления, толщина стенки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки пленок после напыления и т.д. Наиболее эффективно изготовление АФН-пленок на основе соединения теллурида кадмия, включающее нанесение исходного материала на одну сторону подложки термическим испарением в вакууме, где в качестве исходного материала используют теллурид кадмия, на противоположную сторону подложки наносят отражающий слой из серебра при температуре подложки $250 - 300^{\circ}\text{C}$ и давлении $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. ($6,65 \cdot 10^{-2} - 6,65 \cdot 10^{-1}$ Па), подложку располагают под углом 45° к направлению молекулярного пучка, чтобы создать поверхностную угловую анизотропию, приводящую к появлению аномального фотонапряжения. Часть падающего светового потока, прошедшего через исходный материал и стеклянную подложку, попадает на отражающий слой из серебра и, отражаясь, попадает на обратную сторону слоя теллурида кадмия, в результате которого происходит дополнительное поглощение света и тем самым увеличивается генерируемое фотонапряжение на некоторые значения АФН [4-7].

В данной работе для получения АФН-пленок из соединений CdSe, CdTe, CdTe:Cd использован метод термического испарения в вакууме. Вакуумная установка собрана на основе механического форвакуумного насоса типа РВН-4

и паромасленного диффузионного насоса типа Н-01, которые обеспечивают давление порядка 10^{-4} мм рт. ст. В качестве испарителей использованы тигли из окиси алюминия или бериллия [3].

Температура испарения полупроводника достигалась регулированием тока. Подложки нагревались с помощью печки, конструкция которой дает возможность изменять температуру подложки до 600°C . Температура на подложке и испарителя контролировалась хромель-алюмелевыми термопарами, закрепленными непосредственно на них. В качестве подложек использовали стекло и кварц с металлическими контактами.

Подложку очищали путем обработки в кипящем 0,5%-растворе азотной кислоты, затем обезжиривали в ацетоне, многократно кипятили в дистиллированной воде, протирали медицинским спиртом и помещали в камеру для испарения.

После достижения вакуума 10^{-4} мм рт. ст. производили обжигание подложек путем нагрева при температуре 300°C в течение 30 минут.

В качестве исходного материала использовали порошкообразные CdTe и CdSe марки «для полупроводников». До установления стационарного режима испарения тигель накрывали заслонкой, что давало возможность более точно контролировать время осаждения материала. Для сохранения состава шихты и начального потока испаряемого материала перед испарением шихты отжигали в режиме испарения в течение 20 – 25 минут. Малое расстояние между электродами при продольном режиме работы уменьшает электрическую прочность пленок, поэтому для получения пленок с большой толщиной и повышения температуры осаждения, а также во избежание уноса и прямого попадания частиц на подложку поверхность тигля закрывали кварцевой пластинкой.

При применении соответствующих приспособлений нам удалось получить слои в широком диапазоне толщин (0,1 - 3,0 мкм) и при высоких температурах подложки (400°C).

В некоторых случаях, для предотвращения отклонения от

стехиометрического состава произведено подпыление S или CdS одновременно в процессе испарения. При испарении смеси порошков CdS + CdSe также нарушалась стехиометрия. Материалы CdSe и CdS в соответствующем количестве помещали в тигель и испаряли одновременно. В пленках, полученных такой методикой, электрофизические свойства колебались в довольно большом диапазоне. Для сохранения стехиометрии во всех образцах производили испарение по методу трех температур, используя два тигля: в один помещали CdSe, в другой CdS. Порошки CdSe и CdS перед испарением обжигали в режиме испарения в течение 20 минут [10].

Использование двухтигельного способа получения пленок из CdTe:Cd давало дополнительную возможность менять состав и получать пленки в широком диапазоне температуры подложек. Некоторые основные параметры пленок приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Основные параметры пленок

Номер образца	K31	K51	K53	K45	K47	K67	K65	K72	K75	K81	K93
Температура подложки	100	150	150	200	200	250	250	300	300	350	400
Скорость испарения, мг/мин	3	3	0,5	5	3	1	5	0,5	6	5	3
Сопротивление образца, Ом	10^5	10^5	5×10^5	10^5	10^6	5×10^6	10^6	10^7	10^6	10^6	10^7

Технологический режим получения подобных пленок зависит от большого числа параметров, таких как температура испарения и подложки, толщина пленки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки пленок после напыления.

Оптимальные технологические параметры АФН-пленок, у которых фотонапряжение достигалось 1000 В/см^2 при комнатной температуре, следующие (таблица.3.2):

Таблица 3.2 – Технологические параметры АФН-пленок

Полупроводниковый материал	Вакуум мм рт. ст.	Температура подложки, °С	Угол напыления	Толщина пленки, мкм
CdTe	10^{-4}	200 - 250	35°	0,7 - 1,5
CdSe	10^{-4}	200 - 300	35°	0,7 - 2,0

При получении пленок термическим осаждением веществ на подложку важными характеристиками являются толщина пленок и распределение этой толщины по длине пленки. В работах [9] проведен расчет распределения толщины по длине пленки для общего случая, когда плоскость подложки необязательно параллельна плоскости испарителя. Эта задача представляет самостоятельный интерес не только для АФН-пленок, но и для ферромагнитных пленок, пленок, широко применяемых для ориентации жидких кристаллов и др., которые получают специально косоугольным осаждением исходного вещества.

Обозначив через θ угол наклона подложки относительно нормали, и проводя соответствующие вычисления, получено распределение толщины по длине пленки для случая испарителя с малой поверхностью

$$d/d_0 = \left[1 + \left(\frac{l}{h} \right) \sin \theta \right] \cos \theta \left[1 + \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 2 \left(\frac{l}{h} \right) \sin \theta \right]^{-2} \quad (3.9)$$

где

$$d_0 = M(4\pi\rho)^{-1}h^{-2} \quad (3.10)$$

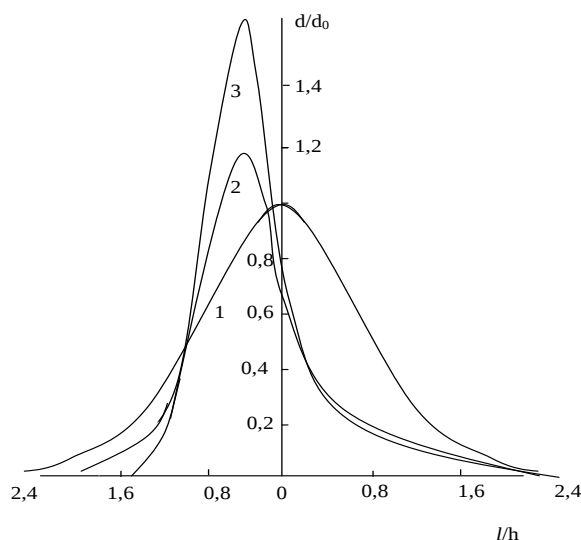
– толщина пленки в точке над испарителем; h – расстояние от испарителя до этой точки; l – расстояние от точки в подложке над испарителем до рассматриваемой точки; M , ρ – масса и плотность материала конденсированного вещества.

Максимум выражения (3.9) наблюдается при значениях $\frac{l}{h}$ равных

$$l/h = -\sin^{-1} \theta \left\{ 1 - \left(\frac{\cos \theta}{3} \right) \left[\cos \theta + (3 + \cos^2 \theta)^{1/2} \right] \right\}. \quad (3.11)$$

Аналогично для случая точечного испарителя

$$d/d_0 = \cos \theta \left[1 + \left(\frac{l}{h} \right)^2 + 2 \left(\frac{l}{h} \right) \sin \theta \right]^{-3/2}. \quad (3.12)$$



$$\theta = 0^\circ (1), \quad 30^\circ (2), \quad 45^\circ (3)$$

Рисунок. 3.3 – Распределение толщины при испарении из испарителя с малой поверхностью

Из этих выражений следует, что распределение толщины очень чувствительно к углу отклонения (θ) подложки от нормали. С увеличением угла θ увеличивается максимальное значение толщины; максимум толщины сдвигается в сторону больших значений длины подложки; нарушается симметрия относительно максимального значения толщины (рис.3.3).

Описывается способ устранения неоднородности толщины по длине АФН-пленки, при косоугольном осаждении, путем дополнительного допыления. Этот вопрос является решающим для получения пленок с оптимальной толщиной.

Для получения пленок равномерной толщины прибегают к нескольким приемам. В одном из них применяют ряд небольших испарителей, расположенных по кольцу параллельно подложке или одного испарителя, вращаемого вокруг оси, перпендикулярной к плоскости подложки.

В другой методике получения пленок равномерной толщины подложку вращают вокруг оси, перпендикулярной ее плоскости.

Эти приемы не применимы для случая АФН-пленок, т. к. при испарении вышеописанными способами специфичная структура с наклоненными дендритными выступами, которая возникает при косоугольном осаждении нарушается и АФН исчезает.

Другим недостатком этих методик, вообще, является применение многих испарителей, что технически не всегда возможно а тем более вращение испарителя или подложки с токопроводами.

Также в работе [10] разработан способ устранения неоднородности толщины по длине АФН-пленки при косоугольном осаждении. Для этого между испарителем и подложками в вакуумной камере устанавливаем металлическую шторку, которую можно перемещать с помощью магнита параллельно поверхности источника. По достижении близлежащего к испарителю конца пленки оптимальной толщины, начинаем двигать шторку со скоростью в зависимости от скорости осаждения вещества, закрывая тем самым ход поступления молекулярного пучка к этой части подложки.

Таким образом, и остальная часть пленки постепенно достигнет оптимальной толщины. Например, в одном из наших экспериментов при осаждении пленки под углом 60° , расстоянии от подложки до испарителя 5 см, длине слоя 1,7 см, при выборе оптимальной толщины в 1 мкм, росте близлежащего к испарителю конца пленки со скоростью 0,04 мкм/мин, отдаленного конца 0,02 мкм/мин, скорость перемещения шторки была равной 1 мм/мин.

Результаты проведенных экспериментов по дополнительному допылению для шести образцов CdTe приведены в таблице 2.3 (длина образцов 1,7 см).

Видно, что при применении разработанного способа, увеличение АФН достигает 30 %. Снятием зависимости $V_{\text{АФН}}$ от длины пленки показано, что в пленках с градиентом толщины $V_{\text{АФН}}$ распределено неравномерно, а в пленках, полученных вышеописанной технологией равномерно.

Знание характеристических микропараметров АФН-пленок позволяет уточнить представления о природе генерации фотонапряжений в микрофотоэлементах и по ним, в частности, АФН-пленка оценивается как прибор и определяется область ее применения. Обычно при определении характеристических микропараметров для нахождения подвижности прибегают к фотохолл-эффекту, расшифровка результатов которого в пленочных образцах связаны большими трудностями.

3.3 Разработка координатно-чувствительного ПОИ на базе АФН-пленок

В настоящей работе приведены результаты исследований эффекта аномально высоких фотоэлектрических напряжений (АФН) в полупроводниковых пленочных системах, которые могут рассматриваться как генераторы тока под действием падающего излучения. На основе такого фотогенератора можно разработать двумерный координатно-чувствительный автономный ПОИ, выходной сигнал которого содержит информацию о направлении и величине смещения излучающего объекта по осям X и Y .

Приемники оптического излучения (ПОИ) на основе АФН - пленок (аномального фотонапряжения) [1,2] представляют собой функциональный преобразователь, трансформирующий световой поток интенсивности Φ_0 в аномально большое фотонапряжение $V_{\text{АФН}}$. Согласно принятой модели [3] эта трансформация состоит из трех этапов.

Во-первых, создания фототока I_{Φ_0} , обусловленного фотогенерацией и пространственным разделением неравновесных носителей на каждом микро-р-п-переходе. Во-вторых, возникновения элементарных напряжений на микро-р-п-переходах в результате накопления объемных зарядов, создаваемых фототоком. В-третьих, формирования аномально большого фотонапряжения путем суммирования элементарных фотонапряжений на р-п-переходах.

Технология получения АФН-пленок основана на термическом испарении полупроводниковых материалов в вакууме $10^{-3} - 10^{-5}$ мм.рт.ст.

В работах [1-12] получены АФН-пленки из различных полупроводниковых материалов с широкой и узкой запрещенной зоной – CdTe, Si, Ge, GaAs, GaP, Se, PbS халькогенидные сплавы, – используя метод вакуумного испарения. Однако, пленки, полученные этим методом, обладают низким генерируемым напряжением.

Технологический режим получения АФН-пленок зависит от большого числа параметров, таких как температура подложки и испарителя, угол напыления, толщина стенки, состав и давление остаточных газов в вакуумной камере, условия термической обработки пленок после напыления и т.д. Наиболее эффективно изготовление АФН-пленок на основе соединения теллурида кадмия, включающее нанесение исходного материала на одну сторону подложки термическим испарением в вакууме, где в качестве исходного материала используют теллурид кадмия, на противоположную сторону подложки наносят отражающий слой из серебра при температуре подложки 250–300°C и давлении $5 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст. ($6,65 \cdot 10^{-2} - 6,65 \cdot 10^{-1}$ Па), подложку располагают под углом 45° к направлению молекулярного пучка, чтобы создать поверхностную угловую анизотропию, приводящую к появлению аномального фотонапряжения. Часть падающего светового потока, прошедшего через исходный материал и стеклянную подложку, попадает на отражающий слой из серебра и, отражаясь, попадает на обратную сторону слоя теллурида кадмия, в результате которого происходит дополнительное

поглощение света и тем самым увеличивается генерируемое фотонапряжение на некоторые значения АФН [4-7].

Одним из перспективных оптических методов неразрушающего контроля является оптоэлектронный способ на основе излучателя и АФН-приемника, который позволяет исключить внешний источник питания для ПОИ, снизить вес и габариты, обеспечивает полную электрическую развязку между цепями «светоизлучающий диод – ПОИ».

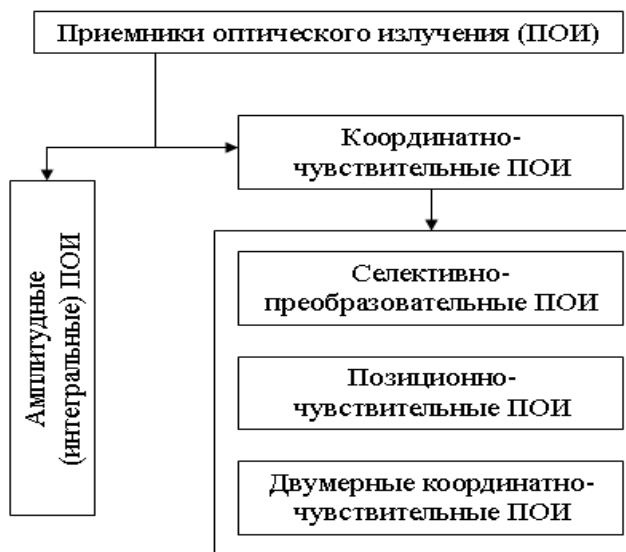


Рисунок 3.4 – Классификация функциональных возможностей ПОИ

В зависимости от функциональных возможностей ПОИ подразделяют на амплитудные (интегральные), реагирующие только на величину среднего значения освещенности их фоточувствительной поверхности, и координатно-чувствительные (информационные), реагирующие на пространственное распределение оптического сигнала (рис.3.5). Координатно-чувствительные ПОИ в свою очередь подразделяются на селективно-преобразовательные, позиционно-чувствительные и двумерные координатно-чувствительные.

Селективно-преобразовательные ПОИ служат для анализа изображения и сканирование, обеспечивающее преобразование пространственно распределенного оптического сигнала во временное распределение электрического видеосигнала. Сканирование может быть основано на самых

различных физических явлениях с использованием, как правило, линейно-построчной развертки изображения [3].

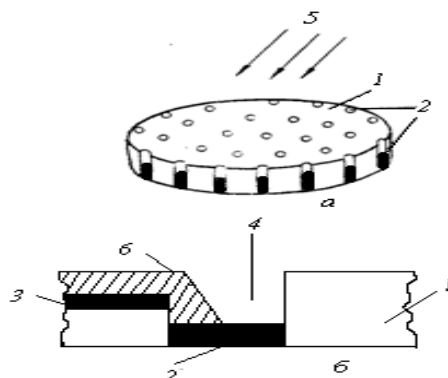


Рисунок 3.5 – Структура матричного АФН-преобразователя оптического изображения в электрический потенциальный рельеф:

а – внешний вид, б – разрез

Матричный АФН-приемник [8], осуществляющий трансформацию распределенного радиационного потока (оптического изображения) в электрический потенциальный рельеф, создается на стеклометаллической пластине с дискретной анизотропной проводимостью, состоящей из стеклянной основы 1 и пронизывающих ее тонких коваровых проволок 2 (рис.3.5). На одну из сторон такой стеклометаллической пластины катодным распылением наносится тонкий слой платины 3, после чего с помощью коварового травителя создаются лунки 4.

На поверхность подготовленной таким образом пластины термическим испарением в вакууме наносится фоточувствительная полупроводниковая пленка, генерирующая при освещении АФН. Напыление производится под углом к нормали (5 – направление молекулярного пучка), в результате чего на боковой поверхности каждой лунки образуется дискретный фотовольтаический элемент 6 в виде АФН-пленки, контактирующей одним концом с коваровым волокном (вывод элементарной фотоячейки) а другим – с общим платиновым электродом на поверхности пластины. Система таких микрофотоэлементов образует фотоприемную матрицу, представляющую собой автономный датчик многоэлементной оптической информации.

При подаче оптического изображения на активную поверхность стеклометаллической пластины, описываемый матричный датчик создает на концах коваровых волокон, выходящих на вторую поверхность, электрический потенциальный рельеф, соответствующий распределению интенсивности в падающем световом потоке.

В отличие от всех известных матричных фотоприемников описываемая структура работает без внешних источников электрического питания. Отметим еще, что она представляет собой фоточувствительную матрицу с высокой пространственной разрешающей способностью, изготовление которой не требует сложной и прецизионной масочной техники, применяемой для нанесения микрофотоэлементов и их совмещения с токосъемными электродами в твердотельных матрицах известных типов.

Позиционно-чувствительные ПОИ позволяют выделить информацию только о координате одного точечного источника излучения, значительно превышающего по интенсивности фоновую засветку.

На основе выше приведенной технологии получены позиционно-чувствительные АФН-пленки и изготовлен позиционно-чувствительный автономный приемник оптического излучения КЧП–1М, состоящий из стеклянной подложки, фоточувствительной АФН-пленки из полупроводникового материала и металлических контактов [9,10].

Однако КЧП–1М имеет низкую чувствительность к координатам оптического излучения за счет неоднородной структуры полученного АФН-слоя.

В работе [11-12] изложена методика и приведены результаты экспериментального исследования получения эффективного позиционно-чувствительного ПОИ из полупроводниковых соединений в виде ступенчатообразной АФН-пленки с постепенным увеличением толщины ступенек, начиная с ≈ 1 мкм.

Для получения пленок различной толщины использовалась вакуумная установка ВУП-2к. В рабочей камере вакуум достигал порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ мм

рт. ст., температура подложки 310...480°C, подложку располагали под углом 45° к направлению молекулярного пучка.

В качестве подложек использовалось стекло толщиной 2 мм. Подготовленные подложки помещались в специальный держатель, а на поверхность подложки устанавливалась маска из изоляционного материала (гетинакс). В рабочую камеру устанавливался микроэлектродвигатель (2 об/мин), для открытия или закрытия поверхности подложки. Открытие поверхности подложки осуществляется электродвигателем при помощи легкого термостойкого шнура, связанного с маской. При вращении двигателя постепенно открывается поверхность подложки. Пленки, полученные на подложке с размером 2×20 мм, ступенчатообразны. Толщина каждой ступени определялась при помощи интерференционного микроскопа МИИ-4.

На рисунке 3.6 приведено изображение аномально фотонапряженной пленки. Падающий поток света Φ_0 генерирует АФН. При перемещении позиции монохроматического излучения от ступеньки с толщиной пленки 1 мкм до ступеньки с толщиной пленки 2,0 мкм, пропорционально уменьшается генерируемое фотонапряжение $V_{\text{АФН}}$.

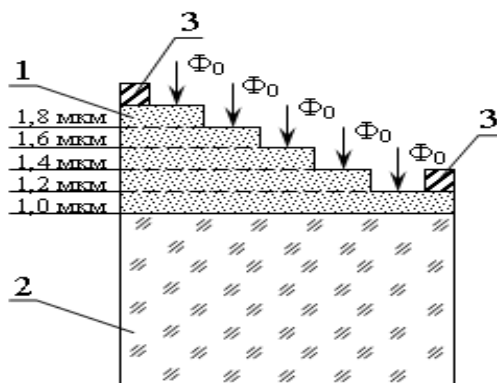


Рисунок 3.6 – Координатно-чувствительная АФН-пленка:

1 – ступенчатообразный фоточувствительный слой из кристаллического теллурида кадмия; 2 – стеклянная подложка, 3 – металлические контакты,
 Φ_0 – поток падающего направленного монохроматического излучения

Проанализировав графики зависимости $V_{\text{АФН}}$ от толщины можно считать, что АФН-эффект в пленках типа теллурида кадмия связан с

суммированием напряжений p - n -переходов, образующихся на границе гексагональной и кубических фаз. Многочисленные опыты [1-7] показывают, что для пленок теллурида кадмия эффективная толщина чувствительного слоя составляет 1 мкм. Исследованы зависимости $V_{\text{АФН}}$ от толщины пленки (рис. 3.7).

В исследованных нами термически обработанных пленках фотонапряжение сначала возрастало (до 1 мкм толщины), а потом с увеличением толщины уменьшалось. Монохроматическое освещение при всех измерениях поддерживалось постоянным $I = 10^4$ лк.

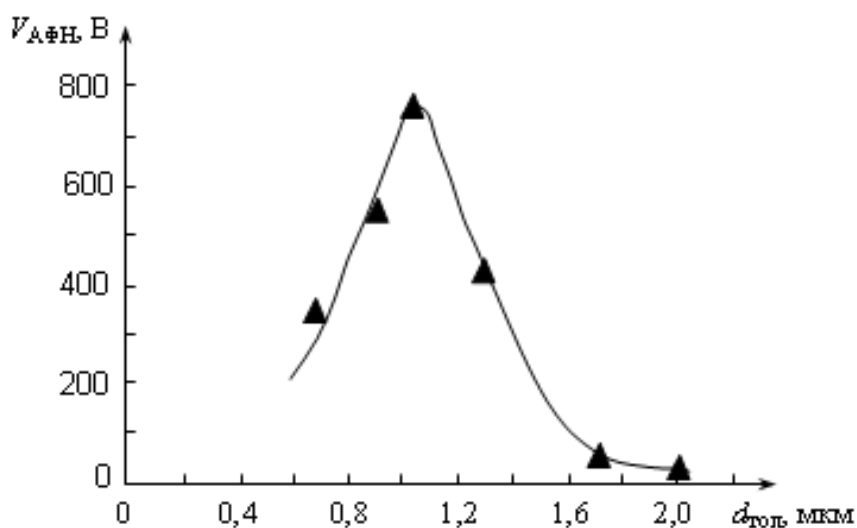


Рисунок 3.7 – Зависимость $V_{\text{АФН}}$ от толщины пленки

Пример 1. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 420°C в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, при изначально закрытой маске. Маска открывается ступенчатообразно, обеспечивая ступенчатое изменение толщины пленки. Толщины ступенек составляют: 0,8 мкм; 1,3 мкм; 1,5 мкм; 1,8 мкм. Величины АФН по ступенькам: 65 В; 32 В; 26 В; 8 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

Пример 2. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 470°C в вакууме 10^{-5} мм

рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, при изначально закрытой маске. Маска открывается ступенчатообразно, обеспечивая ступенчатое изменение толщины пленки. Толщины ступенек составляют: 0,9 мкм; 1,4 мкм; 1,6 мкм; 1,8 мкм; 2,0 мкм. Величины АФН по ступенькам: 55 В; 38 В; 33 В; 26 В; 12 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

Пример 3. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 480°C в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, при изначально закрытой маске. Маска открывается ступенчатообразно, обеспечивая ступенчатое изменение толщины пленки. Толщины ступенек составляют: 0,9 мкм; 1,0 мкм; 1,3 мкм; 1,8 мкм. Величины АФН по ступенькам: 86 В; 110 В; 38 В; 26 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

Пример 4. Фоточувствительный слой наносят термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 480°C в вакууме 10^{-4} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка, при изначально закрытой маске. Маска открывается ступенчатообразно, обеспечивая ступенчатое изменение толщины пленки. Толщины ступенек составляют: 1,0 мкм; 1,2 мкм; 1,4 мкм; 1,6 мкм; 1,8 мкм. Величины АФН по ступенькам: 150 В; 96 В; 85 В; 43 В; 22 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

На основе описанного выше позиционно-чувствительного фотогенератора можно разработать позиционно-чувствительный автономный приемник оптического излучения, выходной сигнал которого будет содержать информацию о направлении и величине смещения излучающего объекта, что и было сделано.

Основные параметры позиционно-чувствительного приемника оптического излучения на основе АФН-пленки из CdTe: чувствительность 2...5 В/мм при освещенности 10 лк; внутренне сопротивление $10^{12}...10^{14}$ Ом; постоянная времени 0,8...1,0 с; спектр излучения 0,5...0,83 мкм;

чувствительная область 2×15 мм. Габариты приемника $2 \times 2 \times 20$ мм, масса не более 3,0 г.

Двумерный координатно-чувствительный ПОИ относится к наиболее универсальным, так как позволяет преобразовывать в электрический сигнал всю информацию о пространственном распределении интенсивности оптического сигнала. Большинство двумерных координатно-чувствительных ПОИ используют принцип прибора с зарядовой связью (ПЗС). В работе [13] получен двумерный координатно-чувствительный датчик для регистрации параметров оптического излучения, состоящий из фотодетектора, например ПЗС-матрицы, перед которым установлен оптический элемент, коэффициент пропускания которого изменяется в зависимости от местонахождения на световом диаметре элемента. Недостатком этих датчиков является сложность оптической системы, низкая чувствительность и обязательное применение электропитания.

Исходя из этого была поставлена задача создания двумерного координатно-чувствительного автономного приемника оптического излучения повышенной чувствительности [14].

Указанная цель достигается тем, что двумерный координатно-чувствительный автономный приемник оптического излучения, полученный из полупроводниковых соединений в виде двумерной (по координатам X и Y) ступенчатообразной АФН-пленки с постепенным увеличением толщины ступенек по оси X , с продолжением увеличения на каждой следующей ступеньке по оси Y или наоборот.

Для получения пленок различной толщины используется вакуумная установка ВУП-2к. В рабочей камере вакуум достигает порядка $10^{-4} \dots 10^{-5}$ мм рт. ст., температура подложки $310 \dots 480^\circ\text{C}$, подложку располагают под углом 45° к направлению молекулярного пучка.

В качестве подложек используется стекло толщиной 2 мм. Подготовленные подложки помещаются в специальный держатель и на поверхность подложки устанавливается двухстворчатая маска из

изоляционного материала (гетинакс). В рабочую камеру устанавливаются идентичные микроэлектродвигатели (2 об/мин), для открытия или закрытия поверхности подложки путем взаимно перпендикулярного перемещения соответствующих шторок. Открытие поверхности подложки осуществляется электродвигателями при помощи легких термостойких тросиков, связанных со шторками. Вращением двигателей постепенно открывается поверхность подложки. Пленки, полученные на подложке с размером $20 \times 20 \text{ мм}^2$, двумерно ступенчатообразны по осям X и Y . Толщина каждой ступеньки определяется при помощи интерференционного микроскопа МИИ-4.

На рис. 3.8 приведены изображения АФН-пленки. Падающий поток света Φ_0 генерирует фотонапряжение АФН. При перемещении позиции монохроматического излучения от ступеньки с толщиной пленки 1 мкм до ступеньки с толщиной пленки 2,6 мкм, пропорционально уменьшается генерируемое фотонапряжение $V_{\text{АФН}}$.

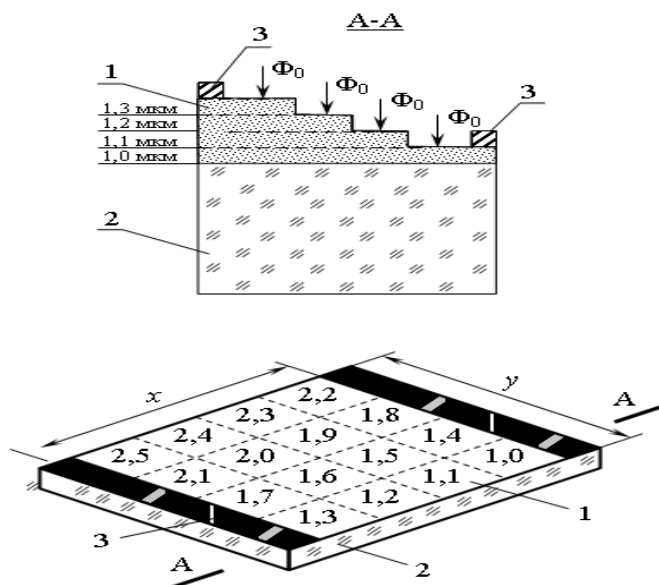


Рисунок 3.8 – Двумерная ступенчатообразная фоточувствительная АФН-пленка: 1 – двумерный ступенчатообразный фоточувствительный слой из кристаллического теллурида кадмия; 2 – стеклянная подложка; 3 – металлические контакты; Φ_0 – поток падающего направленного монохроматического излучения

В исследованных термически обработанных пленках, фотонапряжение сначала возрастало (до толщины 1 мкм), а с последующим увеличением толщины уменьшалось. Монохроматическое освещение при всех измерениях поддерживалось постоянным $I = 10^4$ лк.

Пример 1. Фоточувствительный слой наносится термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 420°C в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка при начальной закрытых шторках маски. Сначала на один шаг открывается шторка по оси Y при последующем пошаговом открывании второй шторки по оси X. После полного открытия шторки по оси X она возвращается в исходное положение, а шторка по оси Y открывается еще на шаг, и так до полного открытия всей маски. Толщины ступенек при размере матрицы 3×3 составляют: 0,8 мкм; 1,0 мкм; 1,2 мкм; 1,3 мкм; 1,5 мкм; 1,8 мкм; 2,0 мкм; 2,3 мкм; 2,6 мкм. Величины АФН по ступенькам: 45 В; 60 В; 51 В; 45 В; 34 В; 31 В; 17 В; 6 В; 2 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

Пример 2. Фоточувствительный слой наносится термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 420°C в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка при начальной закрытых шторках маски. Сначала на один шаг открывается шторка по оси Y при последующем пошаговом открывании второй шторки по оси X. После полного открытия шторки по оси X она возвращается в исходное положение, а шторка по оси Y открывается еще на шаг, и так до полного открытия всей маски. Толщины ступенек при размере матрицы 3×3 составляют: 0,9 мкм; 1,2 мкм; 1,4 мкм; 1,6 мкм; 1,8 мкм; 1,9 мкм; 2,1 мкм; 2,3 мкм; 2,5 мкм. Величины АФН по ступенькам: 55 В; 48 В; 40 В; 38 В; 31 В; 27 В; 18 В; 9 В; 3 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

Пример 3. Фоточувствительный слой наносится термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 420°C в

вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка при начальной открытых шторках маски. Сначала на один шаг закрывается шторка по оси Y при последующем пошаговом закрывании второй шторки по оси X . После полного закрытия шторки по оси X она возвращается в исходное положение, а шторка по оси Y закрывается еще на шаг, и так до полного закрытия всей маски. Толщины ступенек при размере матрицы 3×3 составляют: 1,0 мкм; 1,3 мкм; 1,4 мкм; 1,5 мкм; 1,7 мкм; 1,8 мкм; 2,0 мкм; 2,1 мкм; 2,3 мкм. Величины АФН по ступенькам: 68 В; 52 В; 44 В; 41 В; 34 В; 27 В; 23 В; 15 В; 8 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

Пример 4. Фоточувствительный слой наносится термическим испарением кристаллического теллурида кадмия при температуре 420°C в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. на стеклянную подложку, расположенную под углом 45° к направлению молекулярного пучка при начальной открытых шторках маски. Сначала на один шаг закрывается шторка по оси Y при последующем пошаговом закрывании второй шторки по оси X . После полного закрытия шторки по оси X она возвращается в исходное положение, а шторка по оси Y закрывается еще на шаг, и так до полного закрытия всей маски. Толщины ступенек при размере матрицы 3×3 составляют: 1,0 мкм; 1,1 мкм; 1,3 мкм; 1,4 мкм; 1,6 мкм; 1,7 мкм; 1,9 мкм; 2,2 мкм; 2,5 мкм. Величины АФН по ступенькам: 78 В; 58 В; 45 В; 41 В; 32 В; 26 В; 14 В; 8 В; 5 В соответственно, при $I = 10^4$ лк.

На основе такого фотогенератора можно разработать двумерный координатно-чувствительный автономный ПОИ, выходной сигнал которого содержит информацию о направлении и величине смещения излучающего объекта по осям X и Y .

На основе АФН-пленки, полученной по способу получения двумерного координатно-чувствительного фотогенератора, изготовлен двумерный координатно-чувствительный автономный ПОИ, предназначенный для определения координат источника светового излучения.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

4.1 Предпроектный анализ

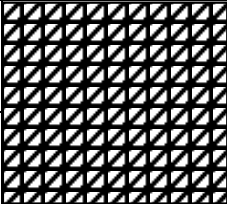
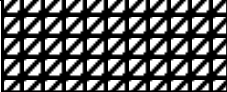
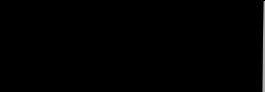
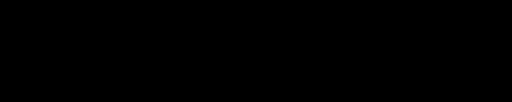
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

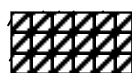
Одним из основных этапов при разработке оптоэлектронных преобразователей и измерительных устройств является выбор фотоприемника.

Развитие пленочной электроники, т. е. разработки АФН-приемников, породило новый раздел оптоэлектроники, основанный на светоизлучающих диодах и автономных приемниках оптического излучения (АПОИ).

С помощью оптоэлектронного метода и устройств с применением АПОИ могут быть решены и успешно решаются многие задачи в области измерительной техники. На рис. приведена систематизированная схема, являющаяся попыткой выявить возможности применения АПОИ в оптоэлектронике как в настоящее время, так и ближайшей перспективе.

Таблица 4.1– Карта сегментирования АФН в различных областях электроники

		Область применения			
		Метролог ия	Электро ника	Военная промышленность	Автоматизац ия процессов
<i>Размер</i>	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				



Фирма А



Фирма Б



Фирма В

4.1.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2- SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Экологическая безопасность С2. Наличие прототипа научной разработки С3. Успешная конкуренция и высокий спрос продукта на международном уровне С4. Модернизация прибора в рамках проекта не вызовет существенного изменения в производстве С5. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Недостаточный уровень точности текущего производства не обеспечивает должного уровня повторяемости продукции Сл2. Большой срок от момента согласования модернизированной конструкции до получения отпаянного прототипа Сл.3 Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемых при проведении научного исследования Сл4. Высокая стоимость измерительного оборудования, необходимого для проведения исследований
Возможности: В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт В2. Повышение производительности в импульсных технологиях В3. Возможность одновременной коммутации нескольких приборов В4. Получение новых фундаментальных знаний в исследуемой области В5. Применение исследуемых приборов в перспективных экспериментальных установках	Соотношение выявленных сильных сторон и возможностей научно-исследовательского проекта однозначно свидетельствуют о высоком рыночном потенциале рассматриваемой продукции. Улучшенные характеристики тиратрона создадут не только дополнительный спрос в уже существующих областях импульсной электротехники, но и позволят использовать их в новых областях отрасли.	Выявленные слабые стороны научно-исследовательского проекта по большей части относятся к уровню производства рассматриваемых приборов и к обеспечению условия для проведения исследований в этой области. В случае, если выявленные слабые стороны не будут устранены, будет невозможно одновременное использование нескольких приборов, а также могут происходить прерывания в проведении исследований.

Угрозы: У1. Снижение доли рынка газоразрядных коммутаторов в пользу твердотельных У2. Монополия на внутреннем рынке У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства У4. Введения дополнительных государственных требований к сертификации продукции У5. Ограничения на экспорт продукции	Несмотря на сильные стороны проекта, потенциально-существующие угрозы могут не только снизить спрос на АФН, но и прервать проводимые в этой области исследования, а также нанести вред отрасли в целом. Однако, не стоит ожидать полного вытеснения их с рынка, благодаря уникальным характеристикам.	Хотя выявленные угрозы и слабые стороны проекта прямо не соотносятся друг с другом, следует ожидать снижения спроса на тиратроны в том случае, если не будет обеспечиваться достаточная точность их производства.
--	---	---

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Соотношения параметров представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

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

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	СЛ5
	B1	-	-	+	0	-
	B2	-	-	-	-	+
	B3	-	-	-	-	+
	B4	-	+	+	+	-
	B5	0	-	0	-	+

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

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3	СЛ4	СЛ5
	У1	+	-	+	+	-
	У2	+	-	+	+	0
	У3	+	-	+	+	-
	У4	+	-	-	-	-
	У5	0	+	+	+	-

4.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблица.4.4

Таблица 4.4 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	5
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	2
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	2
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3

9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	4
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	5
	ИТОГО БАЛЛОВ	50	40

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 40 до 50, что говорит о средней перспективности проекта. Многие аспекты вывода продукта на рынок не были учтены, а также проявляется недостаток знаний. Следовательно, требуется дополнительные затраты на наём или консультации у соответствующих специалистов.

4.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Для получения АФН-пленок из соединений CdSe, CdTe, CdTe:Cd нами использован метод термического испарения в вакууме. Вакуумная установка собрана на основе механического форвакуумного насоса типа РВН-4 и паромасленного диффузионного насоса типа Н-01, которые обеспечивают давление порядка 10^{-4} мм рт. ст. В качестве испарителей использованы тигли из окиси алюминия или бериллия [3].

Температура испарения полупроводника достигалась регулированием тока. Подложки нагревались с помощью печки, конструкция которой дает возможность изменять температуру подложки до 600°C. Температура на подложке и испарителя контролировалась хромель-алюмелиевыми

термопарами, закрепленными непосредственно на них. В качестве подложек использовали стекло и кварц с металлическими контактами.

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Информация по заинтересованным сторонам представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Государство	Финансовая выгода, простота в использовании, экологическая и эксплуатационная безопасность.
Частные предприятия	Малые габариты, более длительный срок службы без выхода в ремонт по сравнению с аналогичными технологиями, дешевле своих аналогов.
Студент	Выполненная диссертация
Научный руководитель	Конкурентные научные разработки, совместные публикации и т.д.

Цели и результат проекта представлены в таблице 4.5:

Таблица 4.6 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	• анализ принципов работы существующих ПОИ; • выбор оптимального технологического режима изготовления эффективных АФН-пленок из соединений CdTe, CdTe:Ag и изучение механизма возникновения АФН-эффекта; • изготовление автономного ПОИ на основе АФН-пленок для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения; обоснование перспективы создания
---------------	---

	оптоэлектронных приборов для контроля толщины рулонных материалов на основе АФН-приемника.
Ожидаемые результаты проекта:	Успешное внедрение разработки в АФН-приемника.
Критерии приемки результата проекта:	Успешное тестирование функционала в соответствии с функциональным требованием.
Требования к результату проекта:	АФН-приемника для оптоэлектронной информационно – измерительной системы. Разработанный функционал полностью соответствует проектным решениям.

4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (таблица. 4.7).

Таблица 4.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	170 000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.05.2019
1.2.3.2.1 Фактическая дата утверждения плана управления проектом	12.12.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2019

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 Иерархическая структура работ проекта

Планирование состоит из подпроцессов, совершаемых для точных действий, которые необходимо совершить для достижения конкретной цели.

План проекта включает в себя последовательность этапов:

- Последовательность структурных работ проекта;
- Основные события проекта;

- Основной план работ;

Последовательность структурных работ проекта- поэтапное описание действий которые нужно совершить для достижения конечной цели. На рисунке 4.1 представлена последовательность структурных работ для написания ВКР.



Рисунок 4.1 – Последовательность структурных работ проекта

В данной работе применена последовательность, представленная на рисунке 2. Данную последовательность действий было решено принять как основную по причине ее наибольшей практичности для написания ВКР, так как она подходит для успешной сдачи отчетов в организацию (ТПУ).

4.3.2 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 4.8 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта.

Таблица 4.8 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работ ты (из ИСР)	Вид работ	Исполни тели	Т _к , ч.	Продолжительность выполнения работ																							
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			ию нь								
1	Выбор направления исследования	Р, С	5																								
2	Описание требований	Р	0																								
3	Патентный поиск	С	10																								
4	Составление технического задания	Р	10																								
5	Изучение литературы	С	40																								
6	Проектирование модуля по сбору данных	С	20																								
7	Проектирование АФН	С	20																								
8	Проектирование интерфейса для АФН	С	20																								
9	Сбор данных	С	40																								
10	Разработка модуля	С	80																								
11	Разработка интерфейса	С	40																								
12	Тестирование модуля	С	20																								
13	Тестирование АФН	С	20																								
14	Написание документации	С	50																								
15	Проверка работы	Р	20																								

■ – Руководитель(Р)

■ – Студент (С)

4.3.3 Бюджет научного исследования

В ней впервые предложено применение АФН-приемника для оптоэлектронной информационно – измерительной системы. Изложена методика и приведены результаты экспериментальных исследований возможности применения оптрона открытого канала для контроля физических и химических веществ. Данная идея проверена, результаты ее применения продемонстрированы, эффективность этого предложения подтверждена экспериментально.

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Расчет основной заработной платы

/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.-дн., руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
		Руководитель		17000	17000
		Магистр		2650	2650
Итого:				19650	

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (4.1)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (4.2)$$

где $T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 4.11);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Значит, для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} \quad (4.3)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2650 руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 45 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6 - дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл. 4.11). Тогда,

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{22100 \cdot 10,4}{254} = 904,8 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2650 \cdot 10,4}{217} = 127 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	82
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	45	52
- невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Таблица 4.11 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$	$Z_{\text{дн}}$	$T_{\text{р}}$	$Z_{\text{осн}}$
-------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	----------------	------------------

	руб.		руб	руб.	раб. дн.	руб.
Руководитель	17000	1.3	22100	904,8	48	22100
Магистр	2650		2650	127	76	2650
Итого по статье З _{осн} :						24750

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} \quad (4.4)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{\text{доп}} = 0,1$);

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$З_{\text{доп}} = 22100 * 0,1 = 2210 \text{ рублей}$$

В таблице 4.12 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.12 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	22100	2650
Дополнительная зарплата	2210	–
Зарплата исполнителя	24310	2650
Итого	26960	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (22100 + 2210) = 7293 \text{ руб.} \quad (5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

4.3.7 Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 20 - 25 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

4.4 Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать таблицу 4.13.

Таблица 4.13 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Низкая	Высокая	Высокая
Технология проекта	Стандартная	Сложная	Новая
Сложность проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Низкая	Средняя	Высокая

Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая
---	---------	---------	--------

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Составляющая проекта является модульные системы, работающие в постоянном взаимодействии с другими модулями. Также основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

4.4.1 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Пример плана управления коммуникациями

/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.4.2 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу необходимо свести в таблицу (таблица. 4.15).

Таблица 4.15 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска *	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Потеря актуальности		2	5	средний	Внедрение нового функционала в процессе жизненного цикла	Слишком хаотичное изменение рынка, появление новых инструментов
2	Неточность АФН		4	5	высокий	Модификация	С течением времени АФН теряет свою точность
3	Создание новой технологии защиты электрического оборудования от перегрузки, короткого замыкания и отключения		1	3	Малый	Что и в первом	Признание всех действующих методик устаревшими и не подходящими для дальнейшего применения.

4.5 Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.5.1 Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DP**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индекс доходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку

инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

4.5.2 Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0,$$

где **ЧДП_{опt}** – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I₀ – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета (**t** = 0, 1, 2... **n**);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: **NPV** > 0.

Чем больше **NPV**, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если **NPV** является положительной.

Таблица 4.16 – Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	99,184	99,184	99,184	99,184
2	Итого приток, тыс.руб.	0	99,184	99,184	99,184	99,184

3	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	- 152448,5	0	0	0	0
4	Операционные затраты, тыс. руб. С+Ам+ФОТ	0	33,824	33,824	33,824	33,824
5	Налогооблагаемая прибыль		65,360	65,360	65,360	65,360
6	Налоги, тыс. руб Выр- опер=донал.приб*20%	0	13,072	13,072	13,072	13,072
7	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	- 152448,5	46,896	46,896	46,896	46,896
8	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	- 152448,5	52,290	52,290	52,290	52,290
9	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i = 20\%$)	1,0	0,833	0,694	0,578	0,482
10	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	- 152448,5	43,557	36,289	30,223	25,203
11	То же нарастающим итогом, тыс.руб. (NPV =58,976 тыс.руб.)	- 152448,5	- 32,739	3,550	33,773	58,976

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 58,976 тыс. рублей, что позволяет его эффективности.

Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. таблица. 4.17.).

Таблица 4.17 – Дисконтированный срок окупаемости

	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	- 152448,5	43,557	36,289	30,223	25,203
.	То же нарастающим итогом	- 152448,5	- 32,739	3,550	33,773	58,976
.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{дск} = 1 + 32,739/36,289 = 0,92$ года				

Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR).

Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость (см. табл. 4.18).

Из таблицы и графика следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой NPV обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли».

Таблица 4.18 – Зависимость NPV от ставки дисконтирования

N о	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-152448,5	99,184	99,184	99,184	99,184	
2	коэффициент дисконтирования						
	$i=0,1$	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	$i=0,2$	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	$i=0,3$	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	$i=0,4$	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	$i=0,5$	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	$i=0,6$	1	0,625	0,39	0,244	0,095	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,07	
	$i=0,8$	1	0,556	0,309	0,171	0,095	

	i=0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	i=1	1	0,5	0,25	3:00	0,006	
3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						
	i=0,1	-152448,5	72,887	66,232	60,218	54,766	177,807
	i=0,2	-152448,5	66,793	55,648	46,346	38,649	131,14
	i=0,3	-152448,5	61,661	47,469	36,484	28,064	97,382
	i=0,4	-152448,5	57,251	40,894	29,187	20,848	71,884
	i=0,5	-152448,5	53,483	35,602	23,654	15,876	52,319
	i=0,6	-152448,5	50,115	31,272	19,565	7,617	32,273
	i=0,7	-152448,5	47,148	26,862	16,277	5,613	19,604
	i=0,8	-152448,5	44,582	24,777	13,711	7,617	14,391
	i=0,9	-152448,5	42,177	22,211	11,707	6,174	5,973
	i=1	-152448,5	40,092	20,046	10,023	0,481	-5,654

Из графика получаем, что IRR составляет 0,93.

- 4 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (**PI**)
- 5 Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.
- 6 Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0,$$

- 8 где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{43,557 + 36,289 + 30,233 + 25,203}{126,253} = 1,07$$

- 9
- 10 $PI=1,07>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$;
- 11 $NPV=131,14$ тыс. руб.
- 12 Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 4.19 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Нехватка удобных сервисов по анализу текста	Повышение конкурентоспособности рынка АФН.
Трата времени на скучные, однотипные задачи	С ростом популярности АФН возрастет их качество.
Проведение технического обслуживания по графику ППР	Система позволяет следить за состоянием оборудования, что в свою очередь приводит к обслуживанию не по графику, а по требованию, что может существенно снизить затраты на обслуживание оборудования.
Проведение технического обслуживания вручную	Система на базе виртуальных агентов производит постоянный мониторинг состояниями технологического оборудования, следовательно, проведение ТО в ручную больше не требуется.

4.5.3 Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносится финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (7)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

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

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

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (8)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 4.20).

Таблица 4.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,1	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	5	2	3
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3	3
4. Энергосбережение	0,20	4	3	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Точность анализа	0,15	4	4	4
ИТОГО	1	25	19	22

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i^p}{\Phi_{\max}} = \frac{5}{25} = 0.2$$

$$I_{\Phi}^a = \frac{\Phi_i^a}{\Phi_{\max}} = \frac{4}{19} = 0.21$$

$$I_{\tau}^p = 5 * 0,1 + 5 * 0,15 + 3 * 0,15 + 4 * 0,2 + 4 * 0,25 + 5 * 0,15 = 3,94$$

$$I_{\tau 1}^a = 3 * 0,1 + 2 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 + 4 * 0,25 + 2 * 0,15 = 3,15$$

$$I_{\tau 2}^a = 4 * 0,1 + 3 * 0,15 + 3 * 0,15 + 3 * 0,2 + 4 * 0,25 + 4 * 0,05 = 3,5$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_{\text{т}}^p}{I_{\text{ф}}^p} = \frac{3.94}{0.2} = 19.7$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_{\text{т}}^a}{I_{\text{ф}}^a} = \frac{3.15}{0.21} = 15$$

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{ф}}^p}{I_{\text{ф}}^a} = \frac{0.2}{0.21} = 0.95$$

Таблица 4.21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.21	0.2
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.15	3.94
3	Интегральный показатель эффективности	15	19.7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0.95	1,05

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В вопросы обеспечения безопасности включены не только нормы, которые установлены государством, сюда так же входят нормы организации, который предоставил ему закон.

В лабораторию для работ не допускаются: лица не являющиеся сотрудниками лаборатории и лица не имеющие доступа для работ с установками; персонал лаборатории не прошедшие аттестацию по ТБ и ознакомление с техническими и паспортными данными установки; лица не достигшие совершеннолетия не допускаются к работам в лаборатории; лица не имеющие специфическое (техническое) образование по исследованиям и не имеют права находиться в лаборатории посторонние люди без сопровождения ответственного человека.

– В статье 22 Трудового кодекса РФ указано, что работодатель обязан обеспечивать безопасность работника и соответствие условий труда всем необходимым требованиям.

– Статья 27 Закона о санитарно-эпидемиологическом благополучии от 30 марта 1999 года регулирует вопросы влияния различных устройств (в том числе и ЭВМ) на здоровье работника.

– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 (утверждены 30 мая 2003 года) регулируют порядок организации рабочего процесса для лиц, труд которых связан с компьютерной техникой. Требования документа распространяются на персональные компьютеры, периферийные устройства (клавиатуры, принтеры, модемы, блоки бесперебойного питания и т.д.), а также на видеодисплейные терминалы всех типов.

– Типовая инструкция ТОИ Р-45-084-01 (утверждена 2 февраля 2001 года) более детально регламентирует данный вопрос. Согласно данному документу, без перерыва работник может находиться за монитором компьютера не более двух часов.

Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно–правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации от 30.12.2001 [9] в условиях непрерывного производства нет возможности использовать режим рабочего времени по пяти– или шестидневной рабочей неделе. По этой причине применяются графики сменности, обеспечивающие непрерывное обслуживание производственного процесса, работу персонала сменами постоянной продолжительности, регулярные выходные дни для каждой бригады, постоянный состав бригад и переход из одной смены в другую после дня отдыха по графику. На объекте применяется график сменности четырех бригад. При этом ежесуточно работают две бригады, каждая в своей смене, а остальные две бригады отдыхают. При составлении графиков сменности учитывается положение ст. 110 ТК [9] о предоставлении работникам еженедельного непрерывного отдыха продолжительностью не менее 42 часов.

Государственный надзор и контроль в организациях независимо от организационно–правовых форм и форм собственности осуществляют специально уполномоченные на то государственные органы и инспекции в соответствии с федеральными законами.

К таким органам относятся:

- Федеральная инспекция труда;
- Государственная экспертиза условий труда;
- Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)).
- Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России);

Единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, положение о которой утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации, в соответствии с которым, система объединяет органы управления, силы и средства.

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

В приведенной ниже таблице были отмечены вредные и опасные факторы при работе с вакуумным оборудованием(таблица.5.1.)

Таблица 5.1– Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1)Отклонение показателя микроклимата в помещении	+	+	+	1. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ ^[3] 2. ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ ^[4] 3. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ ^[5] 4. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ ^[6] 5. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ ^[7] 6. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ ^[8] 7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ ^[9] 8. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ ^[10] 9. ГОСТ 12.2.061-81 ССБТ ^[11] 10. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ ^[12] 11. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ ^[13] 12. СанПиН 2.2.4.548–96 ^[14] 13. ГН 2.2.5.3532–18 ^[15] 14. ГН 2.2.5.2308 – 07 ^[16]
2)Утечки токсичных- вредных веществ в атмосферу	+	+	+	
3)Повышенный уровень шума и вибрации	+	+	+	
4)Недостаток освещённости рабочей зоны	+	+	+	
5) Повышенный уровень электромагнитного излучения	+	+	+	
6) Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	

--	--	--	--	--

5.2.2 Отклонение показателей микроклимата

Показатели микроклимата в рабочих помещениях определяются следующими параметрами: 1) Температура воздуха в рабочем помещении; 2) Относительная влажность воздуха; 3) Циркуляция воздуха в помещении.

Источниками тепла в помещении являются: вакуумный выключатель, источники зарядки конденсаторов, различные резисторы, компьютер и т.д.

При повышенной температуре воздуха в замкнутой, плохо-обдуваемой среде, кровеносные сосуды в теле человека расширяются, приводя к повышенному притоку крови к поверхности тела для выделения тепла в окружающую среду. Для нормального человеческого самочувствия важно соблюдать комфортные условия, а это; равновесие температуры в помещении, достаточный уровень влажности и достаточная циркуляция воздуха.

Для обеспечения нормальных метеоусловий и снижения концентрации вредных веществ в операторной предусмотрены естественная и искусственная вентиляции. Естественная вентиляция осуществляется через вентиляционные короба, искусственная вентиляция – общая приточно-вытяжная. Минимальная кратность обмена воздуха в помещении равна $K = 3 \text{ ч}^{-1}$.

Снаружи предусмотрено включение автомеханической вентиляции, которая в аварийных случаях поможет избавиться от содержания вредных веществ внутри помещения.

Воздуховоды изготавливают из искробезопасного и нержавеющей материала, чтобы не возникло статистических зарядов. Воздуховоды заземляют.

Работа персонала в данном случае относится к категории работ I б.

В таблице 5.2 приведены оптимальные и допустимые параметры микроклимата воздуха рабочей зоны согласно СанПиН 2.2.4.3359-16 [2].

Таблица 5.2 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая	Оптимальная	Допустимая
Холодный	23-24	18-25	40-60	15-75	0,1	Не больше 0,1
Теплый	23-25	20-28	40-60	55при 28°С	0,1	0,1-0,2

В зимнее время в помещении предусмотрена система отопления. Она обеспечивает достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В соответствии с характеристикой помещения определен расход свежего воздуха согласно [2] и приведен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Расход свежего воздуха

Характеристика помещения	Объемный расход подаваемого в помещение свежего воздуха, м ³ / на одного человека в час
Объем до 20м ³ на человека	Не менее 30
20...40 м ³ на человека	Не менее 20
Более 40 м ³ на человека	Естественная

5.2.3 Утечки токсичных веществ в атмосферу

Процессы происходящие в вакуумном выключателе с применением газа Азот являются экологически чистыми так как сам по себе этот газ без цвета и запаха и используется растениями для фотосинтеза. Но при неправильном подборе не того газа(элегаз SF₆) может привести к вредным выбросам в окружающую среду, проблемам с экологией и со здоровьем человека. Сам по себе элегаз не опасен, опасность представляет его большая концентрация(При работе с чистым элегазом опасно разбавление кислорода ниже 16%. За счет высокой плотности элегаз способен длительное время сохраняться в открытых сосудах с горловиной в верхней части и заполнять углубления, траншеи, кабельные каналы, закрытые помещения, вытесняя из них воздух. Пребывание человека в среде с пониженной концентрацией кислорода (ниже 16%) может привести к удушью и потере сознания. Причем человек теряет сознание без каких-либо тревожных симптомов. Также опасен выброс газа из баллона под

давлением, поскольку может произойти обморожение.). Содержание токсичных веществ в атмосфере не должно превышать уровня ПДК(предельно допустимая концентрация).

Основным рабочим газом в лаборатории является азот, но в соседней лаборатории применяется элeгаз, при неправильных условиях транспортировки и при нарушении условий хранения баллоны с газом могут перепутать. По правилам работы различные газы должны храниться на специальных подставках, в специально предназначенных ёмкостях и в отдельном шкафу.

Необходимо строго следовать правилам ПДК вредных веществ на рабочем месте(ГН 2.2.5.3532–18)^[15] и в закрытом помещении. По той причине что все эксперименты требуют применения газа азот, существует вероятность утечки газа и его заполнение пространства в помещении, что может привести к отравлению человека (Несмотря на то, что это вещество входит в состав воздуха, которым мы постоянно дышим, намеренно вдыхать его в чистом или концентрированном виде довольно опасно. Он **поражает центральную нервную систему**. Его молекулы попадают в нервные клетки, нейроны, и нарушают его работу. Такие процессы приводят к нарушению умственной активности, работы сердечно-сосудистой системы и дыхания. Последствия: панические атаки и появление ощущения сильного страха. Человек становится беспокойным и взволнованным; судороги в скелетных мышцах (икроножных, бедренных и т. д.). Эти процессы сопровождаются сильной болью, спазмами; ощущение общей слабости, заторможенности. Отравившийся азотом человек может жаловаться на снижение работоспособности и сонливость; боль в области грудной клетки развивается вследствие поражения легких; нарушение сознания, впадение в глубокое коматозное состояние развивается на фоне острой дыхательной недостаточности. Человек перестает реагировать на голос окружающих людей и тактильное раздражение.).

Исследовательские организации в которых применяется любой газ, должны следовать нормам представленными в ГН 2.2.5.2308 – 07^[16].

Таблица 5.4 – Ориентировочно безопасный уровень воздействия (ОБУВ) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Наименование вещества	Формула	Величина ПДК, (мг/м ³)	Преимущественное агрегатное состояние в воздухе условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Азота диоксид	NO ₂	2	п	3	О
Азота оксиды (в пересчете на NO ₂)		5	п	3	

В перечне использованы следующие обозначения:

3 - вещества умеренно опасные

п - пары или газы,

О - вещества с остронаправленным механизмом действия, требующие автоматического контроля за их содержанием в воздухе.

При нахождении утечек газа из баллона, необходимо срочно сообщить начальству, предупредить сотрудников и ликвидировать утечку с целью предотвращения ЧС. Так же необходимо проветрить помещение то- есть провести работы по обеспечению циркуляции воздуха в лаборатории с помощью вентиляции которая служит для откачки пыли и газов из помещения и создания комфортных условий труда для персонала, так же можно открыть окна и форточки для обеспечения более быстрого притока свежего воздуха. В зимнее время года, рабочее помещение проветривается не менее одного раза в час с условием, что температура в помещении не падает ниже установленной нормы.

5.2.4 Превышение уровня шума и вибрации

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень шума при ежедневной работе не превышающей 40 часов в неделю, который не вызывает отклонений в здоровье человека.

В лаборатории источниками шума и вибрации являются: затворы, насосы, подвижные контакты и т.д.

Даже при соблюдении ПДУ по шуму не исключено нанесение вреда человеческому организму(человек становится раздражительным, нервным, забывчивым, тревожным, ухудшается интеллектуальная деятельность, быстро утомляемым, приобретает гипертоническую болезнь, бессонницу, неправильный обмен веществ), так как некоторые обладают повышенной чувствительностью к шумовым нагрузкам. Допустимый уровень шума ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ^[7], ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ^[3].

Таблица 5.5 – Предельно допустимые уровни шума и эквивалентные уровни шума на рабочих местах для трудовой деятельности

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса	
	Легкая физическая нагрузка	Средняя физическая нагрузка
Напряженность средней степени	70дб	70дб

В лаборатории главными методами защиты персонала от шума является установка на оборудование металлических кожухов, установка оборудования в отдельные залы и управление ими из другого помещения, установка звукопоглощающих обшивок. Так же в основные методы защиты входит обеспечение каждому сотруднику в лаборатории персональных средств индивидуальной защиты(СИЗ): беруши и наушники.

Средства защиты от вибрации (ГОСТ 12.1.012-90 ССБТ)^[4], различных патологий вплоть до профессиональной вибрационной болезни. СИЗ рук оператора подразделяют на: рукавицы; перчатки; вкладыши; прокладки. СИЗ ног оператора подразделяют на: обувь; подметки; наколенники. СИЗ тела оператора по форме исполнения подразделяют: нагрудники; пояса, специальные костюмы.

5.2.5 Недостаток освещенности рабочей зоны

Значение хорошей освещенности для человеческого отдыха или работы трудно переоценить. Правильное рассчитанное и подобранное освещение очень сильно влияет на трудовую деятельность работника обеспечивая высокий уровень работоспособности и психического состояния. Не правильно подобранное освещение создает тени на рабочем месте, формы объектов могут искажаться, в итоге зрение напрягается, появляется усталость и падает производительность труда.

Требования к освещенности производственных помещений представлены в табл.6 (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03)^[20].

Таблица 5.6 – Требования к освещенности рабочего помещения

Помещение	Рабочая поверхность нормирования Коэф Естеств Осв (Г-горизонтальная, В-вертикальная) , высота поверхности над полом, м	Естественное освещение		Совмещенное освещение		Искусственное освещение		
		КЕО e_n , %		КЕО e_n , %		Освещенность, люмен		
		При освещении вверху и комбинированном	Освещение с боку	Освещение с верху или комбинированное	Освещение с боку	При комбинированном освещении		При общем освещении
						итого	от общего	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Конструкторские и проектные организации, научно-исследовательские учреждения								
Лаборатории научно-технические отделы	Г - 0,8	3,5	1,2	2,1	0,7	500	300	-

Исходя из СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03^[20] в лаборатории где происходят электротехнические исследования при нахождении людей в помещении с комбинированным освещением, яркость света должна быть не ниже 500 люмен.

5.2.6 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Источники сильных электромагнитных полей в лаборатории: магнитные катушки, источник питания катушек, высоковольтный контур установки(менее сильноточный), низковольтный контур(сильноточный), все измерительные и контролирующие устройства.

При длительном воздействии ЭМП на организм человека ведет к негативным последствиям: нарушение сна, головные боли, нарушение сердечного ритма что сопровождается болями в сердце.

Допустимая напряженность электрического и магнитного поля промышленной частоты(50Гц) в зависимости от времени воздействия на организм описаны в ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ^[5] .

Максимальное значение напряженности электромагнитного поля на рабочем месте в течении одного календарного дня 5кВ/м.

- При значении напряжения электромагнитного поля 5-20 кВ/м время пребывания рассчитывается по формуле:

$$T = \frac{50}{E} - 2 \quad (5.1)$$

где T – допустимое время пребывания в ЭМП при соответствующем уровне напряжённости(в часах).

E - напряженность ЭМП в контролируемой зоне, кВ/м.

- При напряженности электромагнитного поля 20-25 кВ/м максимально допустимое время нахождения под таким полем 10 минут. Нахождение под воздействием поля больше 25 кВ/м без облачения в средства защиты не допустимо.

Средства коллективной защиты (СКЗ). Проводятся специальные технические и организационные мероприятия для защиты работников от воздействия на их организм электромагнитных полей.

Организационные мероприятия: расчет помещений таким образом чтобы персонал не находился под воздействием электромагнитных полей(пребывание вблизи оборудования и его токоведущих частей), правильно рассчитанный рабочий график, ограничение работ в месте нахождения электромагнитных полей.

Технические мероприятия: уменьшение воздействия электромагнитных полей на организм человека(установка поглотителей электромагнитных полей таких как экраны в виде стальной сетки или из прутьев, установка предупредительных ограждений и знаков для зон с высокой концентрацией электромагнитных полей, экранировка источников испускания полей, применение индивидуальных средств защиты(очки, комбинезоны, перчатки, ботинки, щитки для лица). Все средства СИЗ(средства индивидуальной защиты) изготавливают из металлизированной ткани или любой другой ткани с высокой электропроводностью.

5.2.7 Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека

Электробезопасность это система мероприятий обеспечивающих защиту людей от воздействия электрического тока, электромагнитного поля и электрической дуги.

Все электроустановки разделяются на две категории: до 1кВ и свыше 1кВ(ПУЭ пункт1.1.32)^[2].

У помещений есть свой уровень опасности: 1) Помещения без повышенной опасности(в которых отсутствуют установки которые могут создавать повышенную и особую опасность для человека). 2) Помещения с повышенным уровнем опасности, это те помещения в которых существует один фактор который может быть причиной негативного воздействия на

человеческий организм(прикосновение к электрооборудованию которое имеет соединение с землей, токопроводящая пыль, сырость, токопроводящие полы).

3) Помещения представляющие особую опасность, те помещения в которых существуют одно из нижеследующих условий: сильная сырость, активные химические среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности.

В лаборатории установлено электрооборудование и металлоконструкции которые имеют соединение с землей(вакуумная камера, турбомолекулярный насос, форвакуумный насос, источник питания магнитных катушек и т.д.), поэтому данное помещение относится к пункту два(помещения с повышенным уровнем опасности).

В данной лаборатории существуют меры предосторожности от поражения человека электрическим током, такие как: знаки безопасности, защитные преграды, безопасное расположение токоведущих линий их изоляция, защитное заземление(ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ)^[10] .

Освобождение пострадавшего от воздействия электрическим током происходит путем отключения системы электропитания на оборудование, после этого пострадавшему следует вызвать скорую и оказать первую помощь до ее приезда.

5.3 Экологическая безопасность

Основной опасностью при работе с АФН плёнками является возможность контаминации окружающей среды. Во избежание таких нежелательных эффектов следует соблюдать рекомендации, приведенные в таблице 5.7

Таблица 5.7 – Влияние объекта и процесса исследования на окружающую среду

	Влияние объекта и процесса исследования	Рекомендации по предотвращению воздействия
Атмосфера	В лаборатории химическое вещество может подвергаться воздействию воздуха и дыхания при контакте с телом или непосредственно во время дыхания.	Работа исключительно в ламинаре, при включенной вентиляции, с соблюдением необходимой дистанции и при наличии специальной одежды.

Гидросфера	Попадание обезвреживающих агентов, а также непосредственно бактериальной культуры в канализацию.	Правильная утилизация биологических отходов, их обезвреживание
Литосфера	Бактериальное заражение почв при неправильной утилизации отходов.	Сбор и утилизация отходов в соответствии с правилами

Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайные ситуации делятся на три типа: природного происхождения, биолого-социального характера, техногенного характера.

Одним из наиболее частых ЧС техногенного характера которая может произойти в лаборатории это пожар, возникший при повреждении газовых баллонов находящихся под высоким давлением, короткого замыкания в оборудовании, большом скачке напряжения в сети(ГОСТ 12.1.004-91^[21]).

По взрывоопасной и пожароопасной ситуации помещения разделяются на категории А, Б, В1, В2, В3, В4, Г, Д, в свою очередь здания подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д, так же существует деление на категории пожарной опасности наружных установок А_н, Б_н, В_н, Г_н, Д_н (НПБ 105-03)^[1].

Исследуемая лаборатория относится к категории пожарной опасности Д-помещения относимые к негорючим и материалы в холодном состоянии.

По классу огнестойкости лаборатория относится к первому классу (СНиП 21-01-97^[23]) (лаборатория защищена трудно возгораемым материалом (кирпич)). Возможность возникновения пожара по причине возгорания электрического оборудования может произойти по причине как электрического характера, так и не электрического.

Причины возникновения пожара по электрическим причинам: Одним возможным фактором возникновения пожара может быть резкий скачок напряжения в линии электропередач. Данный скачок может быть виновником нагрева всех передающих сетей в лаборатории и отключению некоторого фильтрующего вакуум оборудования (насосы) что может привести к пожароопасной ситуации из-за возрастания концентрации масла в камере. Возможен нагрев, оплавление и даже возгорание коммутационного и защитного оборудования (автоматы, предохранители). В ходе возникновения

сбоев в работе электропитания и пожара, может произойти утечка азота из баллонов, что приведет к взрывоопасной ситуации.

Все рассмотренные выше ситуации могут произойти по вине работающего персонала, его не компетенции и не подготовленности к чрезвычайным ситуациям(не своевременная замена устаревших комплектующих газового оборудования(шланги, манометры и т.д.)).

В исследуемой лаборатории для ликвидации возгорания используются переносные средства пожаротушения(огнетушители, набор для резки электрических кабелей, топор, пожарный крюк), которые применяются для тушения возгорания до приезда пожарного расчета.

Топор служит для вскрытия простейших конструкций при эвакуации, набор для резки электрических кабелей нужен для обесточивание электрического оборудования. Пожарный крюк предназначен для разбора конструкций в труднодоступных местах. Огнетушитель служит для гашения возгорания или бушующего пламени(запрещено применять воду как средство ликвидации пожара так как в лаборатории находятся электрическое оборудование и источники электрического питания).

Размещение средств пожаротушения в зданиях и в помещениях не должно препятствовать проходу или эвакуации людей. На этажах должно размещаться не менее двух огнетушителей.

Эксплуатируемое здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности (наличие запасных выходов которые должны быть в исправном состоянии, наличие на каждом этаже и комнате пожарной сигнализации, таблички с направлением в сторону выхода).

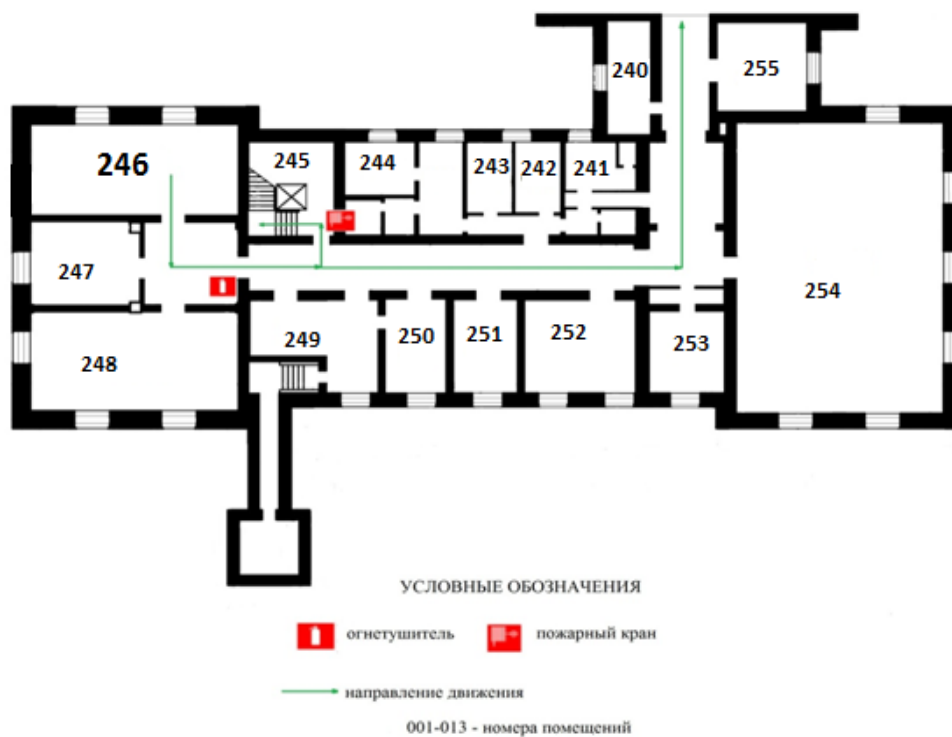


Рисунок 5.1 – План эвакуации при пожаре и других ЧС

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящей диссертации показали, что АФН-эффект представляет теоретический и практический интерес при создании первичных преобразователей – приемников оптического излучения и очерчен круг вопросов, требующих своего дальнейшего развития и объяснения.

Для пленок CdTe, CdTe:Ag полученных при различных скоростях конденсации и разной толщины на длинноволновом крае спектров аномального фотонапряжения $V_{\text{АФН}}(h\nu)$ и тока короткого замыкания $I_{\text{кз}}(h\nu)$, четко выявляются их структурные особенности.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Исследованы фотоэлектрические свойства АФН пленок в поликристаллических полупроводниковых пленках CdTe, CdTe:Ag, используемых в качестве приемника оптического излучения.

2. На основе релаксационных свойств АФН-пленок CdTe, CdSe, CdTe:Ag показано, что при исследовании АФН-эффекта наблюдаются образцы, обладающие инверсией фототока во времени, и этот характер объяснен совместным действием микро р-п и микро п-р переходов, лежащих на различной глубине и обладающих разными характеристиками.

3. Установлено, что при нанесении покрытия из серебра на противоположную сторону подложки до получения АФН-пленок, (при температуре 250-300 °С, в вакууме 10^{-3} – 10^{-4} мм.рт.ст., время напыления составляет 30–40 с) в пленочных структурах типа CdTe АФН-эффект увеличивается до 20-25%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адировича Э.И. Фотоэлектрические явления в полупроводниках и оптоэлектроника [Текст] / Э.И. Адировича. – Ташкент: ФАН, 1972. – 229с
2. Фридкин В.И. Сегнетоэлектрики-полупроводники [Текст] / В.И. Фридкин – М: 1976. – 408 с.
3. Фридкин В.И., Верховская К.А., Попов Б.Н. Эффект аномально больших фотонапряжений в сегнетоэлектриках-полупроводниках // В.И., Фридкин К.А., Верховская Б.Н.Попов. – ФТП: 1977 - Т. 11, в.1. С. 135-143.
4. Волк Т.Р., Греков А.А., Косоногов Н.А., Фридкин В.М. Влияние освещения на доменную структуру и температуру Кюри в BaTiO_3 // Волк Т.Р., Греков А.А., Косоногов Н.А., Фридкин В.М. – ФТТ: 1972. - Т. 14, в. 2. С. 3216–3118.
5. Starkirkiewics J., Sosnovski L., Simpson O. Photovoltaic effekt exhibited in Highjresletance Semiconducting Films // Nature: 1946. - Vol. 158, P. 28.
6. Берлага Р.Я., Руми М.А., Стрехов Л.П. «Возникновение» ЭДС при освещении сернисто-свинцовых фотсопротивлений // Р.Я. Берлага, М.А. Руми, Л.П. Стрехов. – ЖТФ: 1954. - Т. 24, в. 5. С. 943.
7. Мастов Э.М. Исследование аномального большого фотомагнитного эффекта в пленках теллурида кадмия: дис. канд. физ.-мат. наук. – Ташкент: 1972. – 125 с.
8. Юабов Ю.М. Полупроводниковые пленки с аномально большим фотонапряжением: дис. канд. физ.-мат. Наук. – Ташкент: 1965. – 90 с.
9. Мирзамахмудов Т. Исследование АФН эффекта в полупроводниковых пленках с узкой запрещенной зоной: дис. канд. физ.-мат. наук. – Ташкент: 1971. – 125 с.

10. Шакиров Н. Кинетика и характеристические времена АФН-эффекта в полупроводниковых пленках с микро *p-n*-переходами: дис. канд. физ.-мат. наук. – Ташкент: 1970. – 180 с.
11. Найманбаев Р. Исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок теллурида кадмия и трехселенистой сурьмы и разработка на их основе оптоэлектронных приборов: дис. канд. физ.-мат. наук. – Ташкент: 1977. – 126 с.
12. Любин В.М., Федорова Г.А. Высоковольтные фото - ЭДС в слоях трехселенистой сурьмы // М. Любин В, Г.А. Федорова. – ФТТ: 1962. - Т. 4, № 8. С. 2027–2030.
13. Толутис В.В., Якуцивичине И.А. Комплексное исследование тонких слоев теллурида кадмия // Тр. АН Литов. ССР: 1962. - В. 1. С. 51–61.
14. Валацако К.К., Тункукайте В.М., Яситус В.В. Высоковольтный фотовольтаический эффект в поликристаллических слоях теллурида кадмия [Текст] / К.К. Валацако, В.М. Тункукайте, В.В. Яситус. - Литов. физ. Сб: 1961. № 34. С. 371–375.
15. Абдуллаев Н. Аномальные физические явления в многобарьерных пленочных структурах в условиях внешних воздействий/ дис. на соиск. уч. степ. док. физ.-мат. наук. – Ташкент: 1991. – 256 с.
16. Стафеев В.И. Супермногослойные структуры с *p-n*-переходами // ФТП: 1971. Т. 5, № 3. С. 408–416.
17. Берлага Р.Я., Быкова Т.М. Влияние адсорбированного кислорода на фотоэде слоев сернистого свинца // ФТТ: 1960. - Т. 11, в. 12. С. 3045–3047.
18. Адирович Э.И., Рубинов В.М., Юабов В.М. Микрофотобатарея или фотоэлемент // Докл. АН СССР: 1965. - Т. 164, № 3. С. 529–532.
19. Эргашев Ж. Исследование фотоэлектретных свойств полупроводниковых пленочных структур с микро-*p-n*-переходами: дис. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук. – Вильнюс: 1981. – 120 с.

20. Рахимов Н.Р. Исследование фотоэлектрических свойств АФН-пленок теллурида кадмия с серебром и разработка оптоэлектронных приборов на их основе: дис. канд. тех. наук. – Ташкент: 2001. - 140 с.
21. Рахимов Н.Р., Каримов Н. Некоторые вопросы использования фоточувствительных полупроводниковых датчиков для контроля качественных параметров жидкостей / в кн. «Электрофизические свойства некоторых полупроводниковых соединений» // Сборник научных трудов. – Ташкент: Фан, 1990. - С. 44–48.
22. Мирзамахмудов Т.М., Ураков Г., Рахимов Н.Р. АФН-эффект в пленках CdSe и его применение // Мирзамахмудов Т.М., Ураков Г., Рахимов Н.Р. - Доклады АН РУз: 1990. - № 7. С. 25–26.
23. Курбатов Л.Н. Оптоэлектроника видимого и инфракрасного диапазонов спектра [Текст] / Л.Н. Курбатов – М: 1999. – 320 с.
24. Рахимов Н.Р., Отажонов С.М. Кинетика АФН-эффекта в пленках типа CdTe. // Н.Р. Рахимов, С.М. Отажонов. - ФерПИ: 2000. - № 2. С. 18–22
25. Рахимов Н.Р. Технология изготовления эффективных АФН-пленок / Труды III Национальной конференции «Рост, свойства и применение кристаллов»// Н.Р. Рахимов. – Ташкент: 2002. - С. 53–54.
26. Рахимов Н.Р., Серьезнов А.Н.. Координатно-чувствительный приемник оптического излучения на основе пленок с аномальным фотонапряжением // Н.Р. Рахимов, А.Н. Серьезнов. – ПТЭ: 2005. - № 4. С. 140–141.
27. Мирзамахмудов Т.М., Рахимов Н.Р., Гафуров У.А. Автономный приемник оптического излучения АФ-4М // Т.М. Мирзамахмудов, Н.Р. Рахимов., У.А. Гафуров. – Ташкент: 1990. - № 2731Т. – 1 с.
28. Рахимов Н.Р. Перспективы создания электронных приборов для контроля параметров материалов на основе АФН-приемника // Рахимов Н.Р. - Материалы Республиканской НПК «Современные проблемы техники и технологии – Фергана: 1999. - С. 113–114.

- 29.Ишанин, Г. Г. Источники и приемники излучения //Учебное пособие-1991 г.
- 30.В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.А. Городничев, Ю.В. Федоров. Лазерный оптико-акустический анализ многокомпонентных газовых смесей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 г.
- 31.Rahimov N.R., Hatamov S.O. Coordinate and sensitive selfcontained optical radiation detector / The Fourth International Conference «Modern problems of nuclear physics» // N.R. Rahimov, S.O. Hatamov. – Tashkent: 2001. - P. 185–186.
- 32.Rahimov N.R., Dzhurakhalov A.A. Investigation of APV-CdTe-films and development of optoelectronic devices on their basis // The European material research conference EMRS 1999 spring meeting. – Strasbourg, France: 2002.P. 242.
- 33.С.Х. Шамирзаев, Н.Р. Рахимов, Алижанов Д.Д.. Разработка оптоэлектронных датчиков для контроля физико-химических параметров веществ и материалов на основе АФН-приемника // С.Х. Шамирзаев, Н.Р. Рахимов, Д.Д. Алижанов. - ГеоСибир 2011 г.
- 34.Отажонов С.М., Жураев Н., Алижанов Д.Д. Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучения // С.М. Отажонов, Н. Жураев, Д.Д. Алижанов. - ГеоСибир 2011 г.
- 35.Рахимов Н Р. , Алижанов Д. Д. Приемники оптического излучения на основе полупроводниковых пленок с аномальным высоким фотонапряжением // Н.Р. Рахимов, Д. Д. Алижанов. - ГеоСибир 2010 г.
- 36.Рахимов Н.Р., Отажонов С. М., Алижанов Д.Д. Автономный приемник оптического излучения на основе АФН структур // Н.Р. Рахимов, С.М. Отажонов, Д.Д.Алижанов. - ФерГУ, Фергана, Узбекистан 2011 г.

Приложение А

Development of a coordinate-sensitive optical radiation receiver based on films with anomalous photovoltage

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4НМ71	Абдусаматов Дониёр Абдурахим угли		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Рахимов Неъматжон Рахимович	Доктор технических наук, профессор		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Аксёнова Наталия Валерьевна	К. филол.н.		

Introduction

Currently, the study of the photoelectric properties of semiconductor films attract more and more attention of specialists. Films that have the effect of anomalous photovoltage (APV), are of theoretical and practical interest in creating primary transducers - receivers of optical radiation (ROR).

Existing receivers of optical radiation and devices based on them require the mandatory use of power supplies. There, the output voltage created by the pn-junction in the valve mode is deliberately limited by the width of the forbidden zone of the semiconductor. One of the most promising optical methods is optoelectronic control based on the emitter and APV receiver, which eliminates the external power supply for the ROR, reduces the weight and dimensions of the device, provides a complete electrical isolation between the light emitting diode and the ROR. The research and study of the influence of external influences on the properties of films play a significant role.

1 Technological features of the manufacture of APV films and device structures based on them.

1.1 Method of making effective APV films.

To obtain APV films from CdSe, CdTe, CdTe: Cd compounds, we used the method of thermal evaporation in vacuum. The vacuum unit is assembled on the basis of a mechanical foreline pump of the RVN-4 type and a steam-oil diffusion pump of the H-01 type, which provide a pressure on the order of 10^{-4} MmHg. Crucibles made of aluminum oxide or beryllium were used as evaporators [3].

The evaporation temperature of the semiconductor was achieved by adjusting the current. The substrates were heated using a stove, the design of which makes it possible to change the temperature of the substrate to 600 ° C. The temperature on the substrate and the evaporator was controlled by chromel-alumel thermocouples attached directly to them. Glass and quartz with metal contacts were used as substrates.

The substrate was purified by treating in a boiling 0.5% solution of nitric acid, then degreased in acetone, boiled repeatedly in distilled water, rubbed with medical alcohol, and placed in an evaporation chamber.

After reaching a vacuum of 10^{-4} MmHg the substrates were fired by heating at 300 ° C for 30 minutes.

The starting material used was powdered CdTe and CdSe for semiconductors. Prior to the establishment of a steady-state evaporation regime, the crucible was covered with a damper, which made it possible to control more precisely the time of deposition of the material. To preserve the composition of the mixture and the initial flow of evaporated material before the evaporation the mixture was annealed in the evaporation mode for 20 ... 25 minutes. The small distance between the electrodes in the longitudinal mode of operation reduces the electrical strength of the films, therefore, to obtain films with a large thickness and an increase in the deposition temperature, as well as to avoid entrainment and direct particles on the substrate, the crucible surface was covered with a quartz plate.

With the use of appropriate devices, we managed to obtain layers in a wide range of thicknesses (0.1 ... 3.0 μm) and at high substrate temperatures (400 ° C).

In some cases, in order to prevent deviation from the stoichiometric composition, S or CdS was sprayed simultaneously during the evaporation process. When the mixture of CdS + CdSe powders was evaporated, stoichiometry was also violated. CdSe and CdS materials in an appropriate amount were placed in a crucible and evaporated simultaneously. In the films obtained by such a technique, the electrophysical properties fluctuated in a rather large range. To preserve stoichiometry, all samples were evaporated by the three temperature method using two crucibles: CdSe was placed into one, and CdS into the other. Before evaporation, CdSe and CdS powders were burned in the evaporation mode for 20 minutes [27].

The use of a two-gel method of producing films from CdTe: Cd provided an additional opportunity to change the composition and obtain films in a wide range of substrate temperatures. Some of the main parameters of the films are given in Table.1.

The technological mode of obtaining such films depends on a large number of parameters, such as the evaporation temperature and the substrate, the film thickness, the composition and pressure of the residual gases in the vacuum chamber, the conditions of heat treatment of the films after deposition.

Table 1- The main parameters of the films are given

Number Sample	Temperature substrates	Evaporation rate, mg / min	Sample resistance, OM
K31	100	3	10^5
K51	150	3	10^5
K53	150	0,5	5×10^5
K45	200	5	10^5
K47	200	3	10^6
K67	250	1	5×10^6

The optimal technological parameters of APV films, in which the photovoltage is reached 1000 V / cm² at room temperature, are as follows (Table .2):

Table 2- Optimum technological parameters of AFS films

Semiconductor Material	Vacuum mm Hg Art.	Substrate temperature, ° C	Angle spraying	Film thickness, micron
CdTe	10 ⁻⁴	200...250	35°	0,7...1,5
CdSe	10 ⁻⁴	200...300	35°	0,7...2,0

1.2 CdTe: Ag film manufacturing technology.

To obtain control and activated AFN films of CdTe: Ag, a VUP-2K type vacuum unit was used. In the working chamber of the installation, the vacuum reached about 10⁻⁴... 10⁻⁵ MmHg. The vacuum chamber was a glass or quartz cylindrical cap with a diameter of 10 cm and a height of 30 cm, where the original semiconductor material and impurities were sprayed. In the working vacuum chamber at a distance of 20 ... 25 cm from its bottom there was a holder, made in the form of a frame, on which substrates were attached. The distance between the frame and the crucible was within 8 ... 10 cm. By turning the holder it was possible to change the spraying angle from 0 to 90 °. The temperature of the substrate was maintained with the help of a stove, put on a quartz cap. It was possible to change the temperature of the substrate from 20 to 600 ° C. Chromel-alumel thermocouples were used to change the substrate temperature. For evaporation of CdTe semiconductor material and Ag impurities, crucibles were made of tungsten or molybdenum wire with a diameter of 0.6 mm in the form of a conical basket, the surface area of which was 60 mm². An aqueous suspension of beryllium oxide or aluminum oxide was applied to the surface of the basket. After drying in air, they were annealed in a high vacuum of 1300 ° C. The process was repeated until a sufficient oxide layer was obtained. Then the crucible was finally annealed in vacuum for 5 hours with a gradual increase in temperature to 1600 ° C. The crucibles made in this way were very heat-resistant and convenient to use. In order to achieve a more constant evaporation mode, the CdTe

sample was loaded into the basket in such a way that at the end of the film application, the non-evaporated residue of the charge in the evaporator was approximately half of the original weight.

Glass with a thickness of 2 ... 5 mm was used as substrates. Before starting the process of vacuum evaporation, glass substrates were washed 2-3 times in boiling distilled water for 20 ... 25 minutes and dried in a drying cabinet at a temperature of 150 ° C for 30 minutes, then fired at 250 ... 300 ° C in vacuum for 10 minutes. The prepared substrates were placed in a special holder and on the surface of the substrate at a temperature of 200 ... 300 ° C in a vacuum of the order of $10^{-4} \dots 10^{-5}$ MmHg. Silver was sprayed from a separate crucible. The mass of the levirate was usually 1/3 of the mass of the main semiconductor compound, which was evaporated from another crucible. The exact amount of the introduced impurity could not be established due to the complexity of the metal deposition process on the substrate, and the time and deposition rate were determined experimentally to obtain the best film with anomalous photo voltages (APV).

1.3 Methods of increasing the FSA in film structures like CdTe

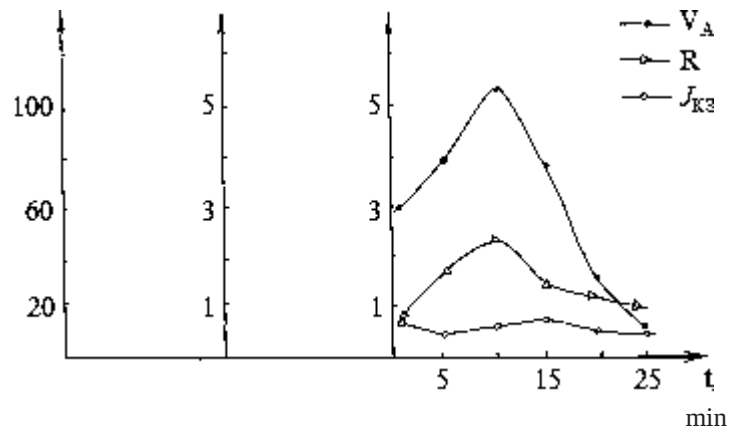
It is known that films with APV are a functional transducer that transforms luminous flux into an abnormally large photovoltage. In this regard, the study and study of the influence of external influences on the properties of films play a significant role.

The studied AFS films of CdTe were obtained from powdered CdTe in vacuum using the optimal technology at the substrate temperature 200 ... 250 ° C and film thickness in the range of 0.7 ... 1.5 microns.

Next, the effect of gas discharge and heat treatment on the electrical properties of APV films of cadmium telluride was studied. The dependences of the V_{AFN} , anomalous photovoltage, the resistance R , and the short circuit current of the J_{KZ} films on the deposition time and the substrate temperature were studied.

Figure 1 shows the dependences of V_{APV} , R , and J_{KZ} in the deposition time.

$$V_{APV}, \text{ B} \quad R \cdot 10^{11}, \text{ OM} \quad J_{KZ} \cdot 10^{-9}, \text{ A}$$



Picture 1- Addition V_{APV} , R i J_{KZ}
from spraying time

It is seen that V_{APV} and R first were increased with increasing sputtering time, reached their maximum values after 10 minutes of spraying, and then the values of V_{APV} and R decreased. The short circuit current is almost independent of the deposition time. Such a dependence of V_{APV} , R , and J_{KZ} in the deposition time was also found in [25], where the effects of electron and ion bombardment on the electrophysical properties of silicon and germanium films were studied.

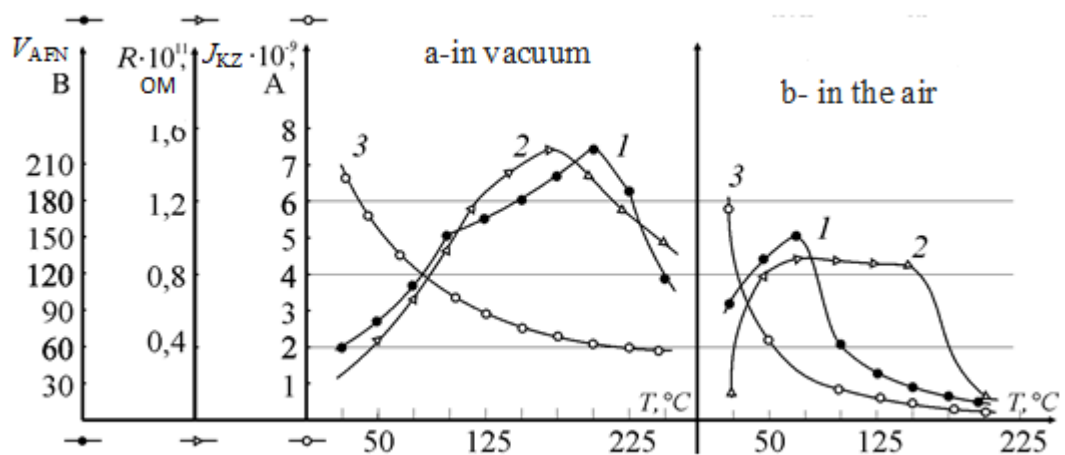
The results shown in Fig .1 show that at a certain interval of sputtering, one can obtain effective AFN films.

In order to clarify the nature of the behavior of AFS films during heat treatment, as well as the effect of a gas discharge on it, the temperature dependences of the generated photovoltage V_{APV} , short circuit J_{KZ} , and resistance R of cadmium telluride films were investigated. The films were treated both in vacuum and in air for one hour in a furnace, the design of which allows volume changes to a temperature of up to $\sim 400^\circ \text{C}$. During the heat treatment, the polarity of the films remained unchanged, the illumination with all measurements was constant $I = 5 \cdot 10^4 \text{ lx}$.

In fig. 2. shows the dependences of V_{APV} , R , and J_{KZ} on temperature T during heat treatment of APV films in air and in vacuum. In the investigated films, which were subjected to heat treatment in air (Fig. 2, a), the photovoltage of the film first increased (curve 1), and then decreased. The short circuit current with an increasing temperature up to 200°C decreased (curve 3), the resistance of the films at $50 \dots 100^\circ \text{C}$ increased (curve 2). In films treated in vacuum (Fig.2, b) at $50 \dots 200^\circ \text{C}$,

photovoltage and resistance increased (curves 1 and 2), short circuit current decreased (curve 3). A further increase in temperature caused a decrease in V_{APV} and R , while the short circuit current remained unchanged. During the heat treatment process, the polarity of the films remained unchanged. The illumination in all measurements was kept constant ($I = 5 \cdot 10^4$ lx). In [38, 39], where temperature measurements were made by the APV effect, it is noted that as the temperature decreases, the photovoltage and the resistance of the films increase.

Comparison of measurements carried out during treatment in air and in vacuum shows that during treatment in vacuum in the temperature range 25 ... 225 °C, photovoltage, values significantly exceed the values obtained during treatment in air, and the corresponding resistance values - in the range 100 ... 200 °C (see fig.2).



Picture 2- Addition V_{APV} , R and J_{KZ} from T when processing films

The change in the parameters of the APV films of CdTe as a function of temperature is apparently due to their oxidation, that is, interlayers appeared during the heat treatment, and saturation occurred at a certain temperature. The increase in V_{APV} and R values during treatment in vacuum can be explained by the desorption of oxygen in the samples studied. Thus, under the action of a gas discharge on the film, changes in the main characteristics of the films are observed, which is associated with the absorption and desorption of oxygen atoms and the action of cathode ions on the properties of the films.

Three ways of activating APV films were investigated [43]:

1. Initially a thin layer of silver with a thickness of 1 ... 2 μm was deposited on the substrate, then cadmium telluride was sprayed onto this film surface. After that, heat treatment was carried out in vacuum.

2. In the process of condensation of the CdTe layer, the resulting film was simultaneously doped by spraying Ag from a separate crucible.

3. Mechanical mixture of cadmium telluride and silver powders, followed by spraying for an hour in a vacuum of 10–4 MmHg. The temperature of the substrate was maintained $T_n = 200^\circ \text{C}$.

Studies conducted on a large number of samples showed that the first and second methods are most effective. In this case, the films have the most stable photovoltaic properties. When they were illuminated by a light source with an intensity of $\sim 8 \cdot 10^{-2} \text{ W / cm}^2$, APV was generated up to 800 V / cm^2 of the sample at room temperature.

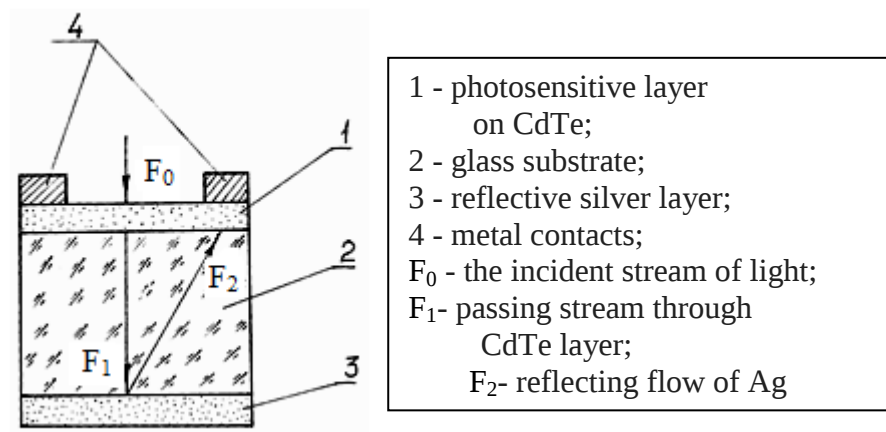
At room temperature, in the range of illuminance values $I = 3,5 \cdot 10^4$ and electric field strengths of $E = 10^3 \text{ V / cm}$, the IVCs of all investigated APV films obey Ohm's law.

The lux-volt characteristics are substantially non-linear, and the photon voltage practically reaches saturation at illuminances of the order of 10 lx. The rapid output of lux-volt dependencies to saturation ensures the stability of optoelectronic systems when the illumination changes.

When the back side of the APV film was illuminated with a light source with an intensity of $\sim 8 \cdot 10^{-2} \text{ W / cm}^2$ APV was generated up to 300 V / cm^2 . This means that when the light is reflected, the APV is also generated. If the back side of a glass or quartz substrate is coated with an Ag reflective coating, the magnitude of the APV effect should change. When a photosensitive layer is deposited on one side of a glass substrate by thermal evaporation of cadmium crystalline telluride, the substrate is positioned at an angle of 45° to the molecular beam direction in order to create a surface angle anisotropy responsible for the occurrence of an anomalous photovoltage. In this case, it is optimal to place the substrate at an angle of 45° to the direction of the molecular beam. When applied to the opposite side of the glass

substrate of the reflective silver layer, the process is carried out at a pressure of 10^{-4} MmHg and the substrate temperature of $250 \dots 600^\circ \text{C}$ in order to reduce the oxidation of the reflective layer from silver.

In Picture.3. An image of an anomalously photo-stressed film is shown. The incident light stream Φ_0 generates the photovoltage of the FSA. Part of the flow of light F_1 , passing through the substrate, falls on a silver layer and, being reflected, falls on the reverse side of the cadmium telluride film, as a result of which additional light absorption occurs and, therefore, the generated photovoltage V_{APV} increases.



Picture 3- APV film with reflective silver layer:

The manufacture of such a film is carried out in the following sequence: on one side of a glass substrate located at an angle of 45° to the direction of the molecular beam, at a temperature of $420 \dots 600^\circ \text{C}$ and a pressure of 10^{-5} MmHg a layer of $0.2 \mu\text{m}$ thick is applied to cadmium telluride, then a reflective silver layer $1 \mu\text{m}$ thick is applied to the opposite side of the glass substrate by thermal evaporation at the substrate temperature of $250 \dots 300^\circ \text{C}$ and a pressure of 10^{-4} MmHg

Example 1 The photosensitive layer is applied by thermal evaporation of crystalline cadmium telluride at a temperature of 400°C , in a vacuum of 10^{-4} MmHg on a glass substrate located at an angle of 45° to the direction molecular beam, to a film thickness of 0.2 microns. Then, a silver reflecting layer is applied to the opposite side of the glass substrate by thermal evaporation at a substrate temperature of 250°C and a vacuum of 10^{-4} MmHg. The film thickness should be about 1 micron. The

magnitude of the anomalous photovoltage in this case will be 215 V at an illumination of 10^4 lux.

Example 2 The photosensitive layer is applied by thermal evaporation of cadmium crystalline telluride at a temperature of 500°C , a vacuum of 10^{-5} MmHg on a glass substrate located at an angle of 45° to the direction of the molecular beam, to a film thickness of $0.2\text{ }\mu\text{m}$. Then, a silver reflective layer is applied to the opposite side of the glass substrate by thermal evaporation at a temperature of 270°C and a vacuum of 10^{-4} MmHg, the film thickness should be about 1 micron. The magnitude of the anomalous photovoltage after deposition of the reflective layer will be 420 V at an illumination of 10^4 lux.

Example 3 The photosensitive layer is applied by thermal evaporation of cadmium crystalline telluride at a temperature of 490°C , a vacuum of 10^{-5} mm MmHg on a glass substrate located at an angle of 45° to the direction of the molecular beam, to a film thickness of $0.2\text{ }\mu\text{m}$. Then, a silver reflecting layer is applied to the opposite side of the glass substrate by thermal evaporation at a temperature of 300°C and a vacuum of 10^{-4} mm Hg. Art., the film thickness should be about 1 micron. The magnitude of the anomalous photovoltage after deposition of the reflective layer will be 480 V at an illumination of 10^4 lux.

Example 4 The photosensitive layer is applied by thermal evaporation of cadmium crystalline telluride at a temperature of 600°C , a vacuum of 10^{-5} MmHg on a glass substrate located at an angle of 45° to the direction of the molecular beam, to a film thickness of $0.2\text{ }\mu\text{m}$. Then, a silver reflecting layer is applied to the opposite side of the glass substrate by thermal evaporation at a temperature of 320°C and a vacuum of 10^{-4} MmHg, the film thickness should be about 1 micron. The magnitude of the anomalous photovoltage after deposition of the reflective layer will be 120 V at an illumination of 10^4 lux.

In photogenerators based on cadmium Plentelluride, the tightness of the photosensitive layer increases the reliability and stability of the output characteristics and, in addition, the mirror surface allows you to increase the photo sensitivity at low

light intensities. A comparison of V_{APV} APV-film, applied before and after applying a silver coating, is given in Table.3.

Table 3- Comparison VAPV APV-film

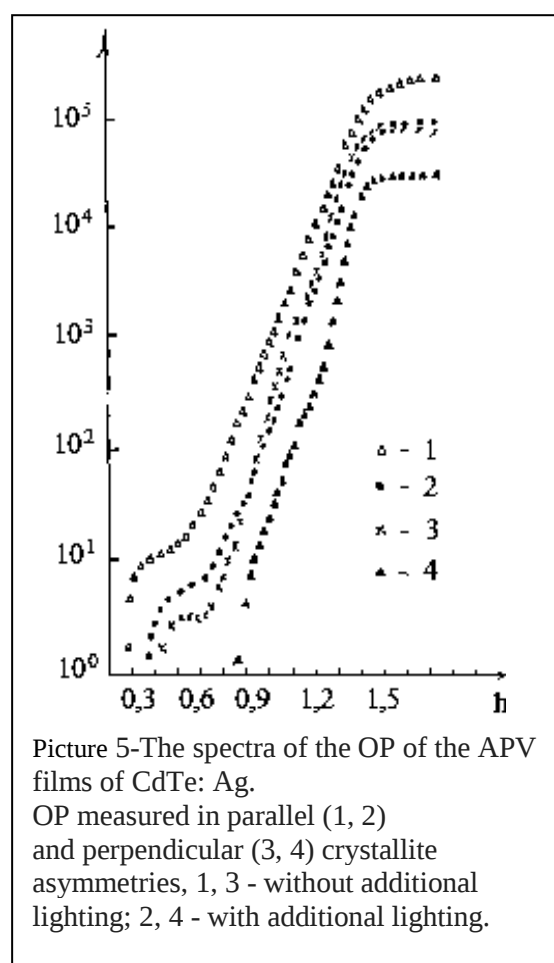
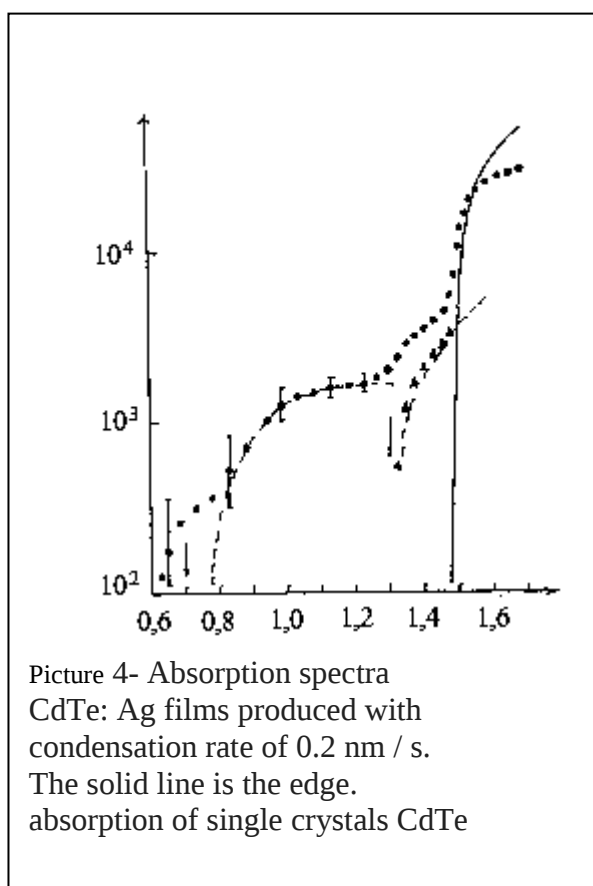
№ film	V_{APV}, B	
	Before application cover	After application cover
24	350	430
60	800	1000
77	60	70
89	400	480
90	500	600

These results show that after applying the silver coating on the back side of the substrate, the anomalous photovoltage increases to 20%

1.4 Investigation of the photoelectric properties of APV films cadmium telluride with silver.

Studying the photoconductivity (AF) of CdTe films with APV, there are some difficulties, since photo EMF appears, comparable in magnitude with the applied field. Therefore, it was necessary to conduct a set of studies to determine the FP and short-circuit current J_{KZ} , determining the difference along and across the wedge-shaped sample. For this purpose, samples with crosswise arrangement of contacts along and across the asymmetry of the layer were made.

The AF spectra measured with an external voltage applied parallel to the asymmetry of the crystallites are shown in Fig.4. In the long-wavelength region of the spectrum up to $h\nu = 1.5$ eV, a photo-emf is created that is much smaller than the external voltage, therefore only in this region the photodetector and the photo-signal coincide in magnitude with different polarities of the applied voltage. With an increase in the energy of a quantum of light ($h\nu = 1.15$ eV), photo-emf already appears. In one case, when the polarity of the photo-EMF coincides with the polarity of the applied voltage, the photosignal increases (Fig. 2.5, curve 1). In another case, when the polarities of the generated APV and the applied external field are opposite, as a result of the appearance of a large photo-emf $h\nu > 1.35$ V, sign inversion is observed (curve 2). By averaging the analogous dependencies, the influence of Jcc was calculated and the PT spectra were constructed (curves 1, 2). Perpendicular to the asymmetry of



crystallites, the photosignal coincides with different polarities of the applied voltage throughout the measured spectrum (curves 3, 4), since in this direction the value of the generated photo-emf is more than an order of magnitude smaller than the photo-emf generated parallel to the asymmetry crystallites [36].

The backlight should stabilize the changes in the barriers, which is reflected in the identification (Fig. 2.5) of the bands of impurity OP with activation energies of about 0.9 and 1.3 eV. The long-wave edge of the OP is about 0.4 ... 0.5 eV.

Lowering the temperature leads to the devastation of these levels with increasing screening length. It follows from this that at low temperatures photogeneration is possible from levels with an activation energy of 1.2 eV. The backlight fills the lower levels and in the AF spectrum, levels with an activation energy of 0.5 and 0.8 eV are detected. These values show that in the region of the barriers there is a p-type conductivity, and in the bulk at low temperatures the conductivity also becomes p-type.

It should be noted that both the dark and light conductivity across the layer is greater than along it. Apparently, this is due to the fact that with the growth of crystallites across the layer, the density of surface states due to their better merging turned out to be less than along the layer when the splicing was worse. This leads to the fact that the size of the barriers (at the level of the percolation barrier) along and across the layer (estimating by the absolute value of the current) differs by 5 ... 10 MeV. The photoconductivity in the region of 0.6 ... 0.9 eV also confirms the difference in the rate of carrier regeneration from levels in the barrier, since the anisotropy of photoconductivity (change in barrier height) is greater along the layer. The OP with increasing backlight decreases, which is associated with a decrease in the carrier lifetime.

CONCLUSION

The results of this dissertation showed that the APV-effect is of theoretical and practical interest in creation of primary converters - receivers of optical radiation and outlined a number of issues that require further development and explanation. For CdTe, CdTe: Ag films obtained at different condensation rates and different thicknesses at the long-wavelength edge of the VAPV ($h\nu$) anomalous photovoltage spectra and short-circuit current $I_{kz}(h\nu)$, their structural features are clearly revealed.

The analysis of the obtained results allows drawing the following conclusions:

1. The photoelectric properties of APV films in polycrystalline semiconductor CdTe, CdTe: Ag films used as a receiver of optical radiation are studied.

2. Based on the relaxation properties of AFS films CdTe, CdSe, CdTe: Ag, it was shown that the study of the APV effect is observed for samples that have a photocurrent inversion in time, and this character is explained by the combined effect of micro pn and micro np transitions lying at different depths and having different characteristics.

3. It has been established that when applying a silver coating on the opposite side of the substrate to obtain APV films, (at a temperature of 250–300 ° C, in a vacuum of 10^{-3} – 10^{-4} MmHg, the deposition time is 30–40 s) In film structures of the CdTe type, the APV effect increases to 20–25%.

References

1. Rahimov N.R., Dzhurakhalov A.A. Investigation of APV-CdTe films and development of optoelectronic devices on their basis // The European material research conference EMRS 1999 spring meeting. – Strasbourg, France, 2002. – P. 242.
2. Starkirkewics J., Sosnovski L., Simpson O. Photovoltaic effect exhibited in High-resistance Semiconducting Films // Nature: 1946. - Vol. 158, P. 28.
3. Rahimov N.R., Hatamov S.O. Coordinate and sensitive self-contained optical radiation detector / The Fourth International Conference «Modern problems of nuclear physics» // N.R. Rahimov, S.O. Hatamov. – Tashkent: 2001. - P. 185– 186.
4. S.Kh. Shamirzaev, N.R. Rakhimov, Alizhanov D.D. Development optoelectronic sensors for monitoring physico-chemical parameters substances and materials based on AFN-receiver // S.Kh. Shamirzaev, N.R. Rakhimov, D.D. Alizhanov. - GeoSibir 2011
5. Otazhonov S.M., Zhuraev N., Alizhanov D.D. Photo Detector for registration of x-ray and ultraviolet radiation // S.M. Otazhonov, N. Zhuraev, D.D. Alizhanov. - GeoSibir 2011
6. Rakhimov N.R., Alizhanov D.D. Receivers of optical radiation on based semiconductor films with anomalous high photovoltage // N.R. Rakhimov, D. D. Alizhanov. - GeoSibir 2010
7. Adirovich E.I. Photoelectric phenomena in semiconductors and optoelectronics [Text] / E.I. Adirovich. - Tashkent: FAN, 1972. - 229 with
8. Fridkin V.I. Ferroelectrics-semiconductors [Text] / V.I. Fridkin - M: 1976. - 408 p.
9. Yuabov Yu.M. Semiconductor films with abnormally high photovoltage: dis. Cand. Phys.-Mat. Of science - Tashkent: 1965. - 90 p.
10. Rakhimov N.R., Otazhonov S.M. Kinetics of the APV effect in CdTe films. // N.R. Rakhimov, S.M. Ohtazhonov. - FerPI: 2000. - № 2. P. 18–22