

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

Физико-технический институт
Направление подготовки – Техническая физика
Кафедра экспериментальной физики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Изменение оптических и электрических характеристик плёнок оксида олова под действием ионов аргона

УДК 539.216:669.6:661.88:545.29

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Теменков Владимир Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший сотрудник лаборатории №23	Умнов С.П.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ЭФ	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2017 г.

**Результаты обучения магистров
направления 16.04.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Демонстрировать и использовать теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, составляющих основу современной технической физики, вскрывать физическую сущность проблем, возникающих при проектировании и реализации радиационных и плазменных технологий.	Требования ФГОС (ОПК-2). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Профессионально эксплуатировать современное научное и технологическое оборудование и приборы в процессе создания и реализации радиационных и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОПК-1). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Заниматься научно-исследовательской деятельностью в различных отраслях технической физики, связанных с современными радиационными и пучково-плазменными технологиями, критически анализировать современные проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследований, выбирать адекватные методы решения задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Требования ФГОС (ОПК-5, ПК-5, ПК- 8). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для прогнозирования результатов воздействия различных радиационных и плазменных потоков на вещество, а также оптимизации параметров радиационных и пучково-плазменных технологий, с использованием современных физико-математических методов, стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ПК-6, 7). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Разрабатывать и оптимизировать современные пучковые и плазменные технологии с учетом экономических и экологических требований, проводить наладку и испытания технологических установок и аналитического оборудования, решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ.	Требования ФГОС (ПК-12,13,14). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, формулировать технические задания, составлять техническую документацию, разрабатывать и использовать средства автоматизации, анализировать варианты проектных, конструкторских и технологических решений, разрабатывать проекты и проектную документацию для создания оборудования, реализующего пучковые и плазменные технологии.	Требования ФГОС (ПК-15, 16). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P7	Заниматься научно-педагогической деятельностью в области технической физики, участвовать в разработке программ учебных дисциплин, проводить учебные занятия, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся, применять и разрабатывать новые образовательные технологии	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 11). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Заниматься организационно-управленческой деятельностью, владеть приемами и методами работы с персоналом, находить оптимальные решения при реализации технологий и создании продукции, управлять программами освоения новой продукции и технологий.	Требования ФГОС (ПК-17, 18, 19). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P9	Осуществлять научно-инновационную деятельность, анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области радиационных и пучково-плазменных технологий, внедрять новые наукоемкие технологии, готовить документы по защите интеллектуальной собственности, разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов.	Требования ФГОС (ПК-1, 2, 3, 4). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<i>Универсальные компетенции</i>		
P10	Развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять свое научное мировоззрение.	Требования ФГОС (ОК-1, 2, 6). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P11	Активно общаться в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового общения	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК - 4). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P12	Участвовать в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, проявлять инициативу, брать на себя всю полноту ответственности, уметь находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач.	Требования ФГОС (ОК-4, 5, ОПК-3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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

Физико-технический институт
 Направление подготовки – Техническая физика
 Кафедра экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой

 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ51	Теменкову Владимиру Сергеевичу

Тема работы:

Изменение оптических и электрических характеристик плёнок SnO ₂ под действием ионов Ag	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Плазменная установка для нанесения покрытий на поверхность твердых тел «Яшма-4» 2) Рабочий и реактивный газы – аргон и кислород соответственно. 3) Спектрофотометр СФ 2000, для измерения коэффициентов пропускания. 4) Мультиметр с двумя электродами, для измерения поверхностного сопротивления. 5) МРС с мишенью из олова
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) Изучить принцип работы магнетронной распылительной системы и ионного источника с замкнутым дрейфом электронов. 2) Получить плёнки оксида олова методом магнетронного напыления 3) Выявить влияние ионного пучка на электрические и оптические свойства тонких плёнок после осаждения в магнетронной распылительной системе. 4) Обобщение полученных результатов и формулировка рекомендаций для дальнейших

	исследований в области изменения оптических и электрических характеристик пучком иона аргона.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	- титульный лист; - актуальность работы; - цель работы и решаемые задачи; - свойства, области применения и способы получения; - магнетронная распылительная система; - схема вакуумной установки; - методика осаждения; - заключение; - публикации.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Литературный обзор	Умнов С.П., старший сотрудник лаборатории №23 ТПУ
Экспериментальная часть	Умнов С.П., старший сотрудник лаборатории №23 ТПУ
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Рыжакина Т.Г., доцент каф. МЕН ИСГТ ТПУ
Социальная ответственность	Гоголева Т.С., ассистент каф. ПФ ФТИ ТПУ
Иностранный язык	Зяблова Н.Н., ст. преп. каф. ИЯ ФТИ ТПУ
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	1) Прозрачные проводящие покрытия 2) Описания экспериментального оборудования и методик исследования 3) Изменение оптических и электрических характеристик пленок оксида олова под действием пучка ионов аргона 4) Experimental part

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший сотрудник лаборатории №23	Умнов С.П.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Теменков Владимир Сергеевич		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ51	Теменкову Владимиру Сергеевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техническая физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Использование информации, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах и изданиях, нормативно-правовых документах.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Проведение предпроектного анализа. Определение целевого рынка и проведение его сегментирования. Выполнение SWOT-анализа проекта.
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски.</i>	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</i>	Проведение оценки экономической эффективности исследования.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. *Оценка конкурентоспособности технических решений*
2. *Матрица SWOT*
3. *Оценка готовности проекта к коммерциализации*
4. *Календарный план-график и бюджет НИИ*
5. *Матрица ответственности и план управления коммуникациями НИИ*
6. *Реестр рисков*
7. *Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ*
8. *Сравнительная эффективность разработки*

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Татьяна Гавриловна	к.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Теменков Владимир Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ51	Теменкову Владимиру Сергеевичу

Институт	ФТИ	Кафедра	ЭФ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Техническая физика

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды: метеоусловия, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения; – опасных факторов производственной среды: соприкосновение с механическими подвижными частями, вероятность поражения электрическим током, вероятность возникновения пожара и взрыва.
<p>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</p>	<ul style="list-style-type: none"> -электробезопасность; -пожаровзрывоопасность; -требования безопасности при обращении с газовыми баллонами; -требования охраны труда при работе на ПЭВМ -требования безопасности при работе на вакуумной установке.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (коллективные и индивидуальные защитные средства)
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</p>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Теменков Владимир Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 130 страниц, 24 рисунка, 27 таблиц, 88 источников, 1 приложения на английском языке.

Ключевые слова: ТСО, МРС, ионный пучок, оксид олова, поверхностное сопротивление, коэффициент пропускания, рентгенофазный состав.

Объектом исследования являются плёнки оксида олова и их свойства, полученные в плазме магнетронного разряда.

Цель работы – исследовать изменение оптических и электрических характеристик плёнок оксида олова путем воздействия на них пучка ионов аргона.

В процессе исследования было произведено напыления оксида олова на стеклянную подложку методом МРС; облучение полученных плёнок пучком ионов аргона и были измерены оптические и электрические характеристики полученных покрытий.

В результате исследования были получены плёнки оксида олова, которые являлись прозрачными диэлектриками. После облучения их ионами аргона, плёнки становились электропроводящими. Построены зависимости: зависимость коэффициентов пропускания от времени облучения, зависимость среднего значения пропускания от времени облучения ионами Ag, зависимость поверхностного сопротивления от времени облучения ионами Ag. Так же представлена дифрактограмма плёнок оксида олова. Плёнки становятся проводящими.

Область применения: оптика, микропроцессорная техника, создание катализаторов и детекторов

Условные обозначения

1. TCO – Transparent Conductive Oxide – Прозрачный проводящий оксид
2. ITO– Indium Tin Oxide - индий оксид олова
3. SnO₂ – оксид олова
4. TCOs– Transparent Conductive Oxides – Прозрачные проводящие оксиды
5. AZO– оксид цинка легированный алюминием
6. PVD– physical vapour deposition – напыление конденсацией из паровой фазы
7. CBM – минимум зоны проводимости
8. VBM – максимум зоны проводимости
9. DOS – полная плотность состояний
10. XRD – рентгеновская дифрактоскопия
11. ИК – инфракрасное излучение
12. УФ – ультрафиолетовое излучение
13. MPC – магнетронная распылительная система
14. СФ – спектрофотометр
15. РФА – рентгенофазовый анализ

Содержание

Введение.....	13
1 Прозрачные электропроводящие покрытия	16
1.2 Требования к ТСО	18
1.3 Использования SnO ₂ в качестве ТСО	19
1.3.1 Химические свойства SnO ₂	19
1.3.2 Физические свойства SnO ₂	20
1.3.2.1 Зонная структура.....	20
1.3.2.2 Электропроводность SnO ₂	22
1.3.2.3 Оптические свойства SnO ₂	23
1.3.2.4 Структурные свойства SnO ₂	26
1.3.2.5 Механические свойства и поведение коррозии SnO ₂	27
1.4 Способы осаждения SnO ₂	28
1.4.1 Электронно-лучевое испарение	28
1.4.2 Вакуумно-дуговое испарение	30
1.4.3 Магнетронное распыление	30
1.5 Способы изменения оптических и электрических характеристик SnO ₂	32
1.6 Факторы, влияющие на оптические и электрические свойства осаждаемых покрытий	33
1.7. Выводы из литературного обзора и постановка задачи.....	38
2 Описание экспериментального оборудования и методик исследования	41
2.1 Установка ионно-плазменного осаждения покрытий «Яшма-4».....	41
2.2 Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов.....	43
2.3 Измерение коэффициента пропускания	45
2.4. Измерение поверхностного сопротивления	46
2.5 Исследование фазового состава образцов	47
3 Изменение оптических и электрических характеристик пленок оксида олова под действием пучка ионов аргона	50
3.1 Схема эксперимента.....	50

3.2. Исследование коэффициентов пропускания от времени облучения пучком ионов Ag.....	51
3.3 Исследование изменения поверхностного сопротивления от времени облучения ионами Ag	53
3.4 Исследование фазового состава SnO ₂	55
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	57
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования	58
4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	59
4.2. SWOT-анализ.....	60
4.3. Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	64
4.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования	66
4.5 Инициация проекта	68
4.7 Планирование управления научно-техническим проектом.....	70
4.7.1 Иерархическая структура работ проекта.....	70
4.7.2 Контрольные события проекта	72
4.7.3 План проекта.....	73
4.7.4 Бюджет научного исследования	76
4.7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	82
4.8. Организационная структура проекта	84
4.9 Матрица ответственности	84
4.10 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	85
4.10.1 Динамические методы экономической оценки инвестиций	86
4.10.2. Чистая текущая стоимость (NPV)	87
4.10.3. Дисконтированный срок окупаемости.....	88
4.10.4. Внутренняя ставка доходности (IRR)	89
4.10.5 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)	90

4.10.6 Оценка сравнительной эффективности исследования	91
5 Социальная ответственность	95
5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов	95
5.2 Требования безопасности при работе на ПЭВМ и вакуумной установке.....	96
5.2.1 Организационные мероприятия.....	96
5.2.2 Организация рабочего места при работе на ПЭВМ	97
5.2.3 Требования безопасности при работе на вакуумной установке.....	99
5.3 Условия безопасной работы на вакуумной установке и ПЭВМ	100
5.4 Электробезопасность	103
5.5 Пожарная и взрывная безопасность	107
Заключение	109
Список публикаций.....	110
Список литературы	111
Приложение А	120

Введение

В мире ведутся обширные исследования и разработки перспективных производственных технологий для создания компонентов солнечной и водородной энергетики, новых поколений элементов электронной компонентной базы, энергосберегающих покрытий, микропроцессорной техники, катализаторов и детекторов. Для этих целей применяют плёнки простых оксидов металлов. Одним из видов таких плёнок являются прозрачные проводящие оксиды [1].

Прозрачные проводящие оксиды относятся к группе полупроводников с широкой запрещенной зоной. В видимой области длин волн прозрачность описывается широкой запрещенной зоной $E_g > 3\text{эВ}$. За счет дефектов или легирующих добавок эти оксиды могут быть проводящими [1].

Наиболее хорошо изученными и используемыми в электронике прозрачными проводящими оксидными материалами являются оксид индия, оксид индия легированный оловом (ITO), оксид цинка и оксид олова. Электрические свойства этих материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Электрические характеристики прозрачных проводящих чистых оксидов металла [2]

Материал	Ширина запрещенной зоны (эВ)	Проводимость (См см^{-1})	Концентрация электронов (см^{-3})	Подвижность ($\text{см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$)
In_2O_3	3.75	10000	$> 10^{21}$	35
ZnO	3.35	8000	$> 10^{21}$	20
SnO_2	3.6	5000	$> 10^{20}$	15

Стоит отметить, что все три материала, включенных в таблицу, имеют n-тип проводимости и являются сильно вырожденными полупроводниками, т.е. концентрация электронов в них существенно превышает эффективную плотность состояний в зоне проводимости [1]. Хорошо известные и коммерчески используемые прозрачные проводящие оксиды имеют n-тип проводимости.

Большую популярность получил оксид индия легированный оловом (ITO), т.к. имеет лучшие электрические и оптические характеристики, например

поверхностное сопротивление пленки толщиной 160 нм составило $50 \Omega/\square$, а коэффициент пропускания составил 99%.

Так как прогресс не стоит на месте и технологии создания электропроводящих покрытий развиваются очень интенсивно, то и спрос на покрытия индия очень высок, а это в свою очередь приводит к высокому росту стоимости ИТО, а также к экономии природных запасов индия. Следовательно, поиск и создание подобного типа материалов для прозрачных проводящих покрытий является актуальным. Одним из таких материалов похожего типа является соединение на основе оксида олова. Хотя примеси в SnO_2 и ZnO увеличивают их проводимость, но она не достигает значений, получаемых для ИТО плёнок [3].

В зависимости от области применения плёнки нужны с различными характеристиками. Например, для светодиодов, фотоэлектрических устройств, электродов главным фактом является, чтобы плёнки были низкоомными, а для солнечных элементов важным является высокий коэффициент пропускания.

Достижение необходимых характеристик покрытий может осуществляться различными способами: 1 – управление внутренними характеристиками процесса осаждения (скорость осаждения, управление расходом газов, выбор рабочих параметров МРС, температура подложки и время отжига), 2 – использование внешних факторов воздействия в процессе осаждения или после его (внешние источники заряженных частиц, магнитные поля).

Влияние параметров осаждения, таких как скорость осаждения, температура подложки и отжига в различных средах, электрические характеристики магнетронного разряда, на оптические и электрические свойства тонких плёнок хорошо изучены. О чем свидетельствует большое количество публикаций, посвящённых изучению этих вопросов. Работ же по исследованию влияния внешних факторов воздействия в научной литературе практически отсутствует.

Данная магистерская диссертация посвящена исследованию влияния воздействия ионов Ag на оптические и электрические свойства предварительно осаждённых плёнок оксида олова методом магнетронного напыления.

Результатами магистерской диссертации является изучение механизмов взаимодействия ионного пучка с осажденной плёнкой оксида олова. Это позволит управлять оптическими и электрическими характеристиками уже осаждённых покрытий для технологических приложений

Целью работы является исследование влияния пучков ионов аргона на оптические и электрические характеристики плёнок оксида олова.

Для достижения заданной цели были поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Проанализировать имеющуюся литературу по заданной тематике.
2. Изучить принцип работы магнетронной распылительной системы и ионного источника с замкнутым дрейфом электронов.
3. Получить плёнки оксида олова методом магнетронного напыления
4. Выявить как влияет ионный пучок на электрические и оптические свойства тонких плёнок после осаждения в магнетронной распылительной системе.
5. Сделать выводы и подготовить соответствующие рекомендации.

Апробация результатов исследования. Основные материалы работы были представлены и обсуждались на научных конференциях:

1. VIII Всероссийская (с международным участием) научно-техническая конференция «Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий», Казань 2016.

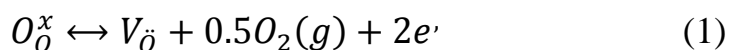
2. Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2016), международный конгресс, Томск 2016.

1 Прозрачные электропроводящие покрытия

Прозрачные проводящие плёнки представляют собой тонкие пленки оптически прозрачного и электропроводящего материала.

Носители заряда в этих оксидах n-типа возникают из трех основных источников: примеси металлических ионов, кислородные вакансии и легирующие ионы. Первые два источника всегда действуют как доноры электронов; на самом деле, на самом деле, некоторые TCOS изготовлены исключительно с использованием этих двух источников сущностных как генераторы носителей.

Когда в решетке присутствует кислородная вакансия, она действует как двухзарядный донор электронов. В ИТО, например, каждая вакансия кислорода вызывает соседние In^{3+} ионов 5s орбиталей стабилизироваться из зоны проводимости 5s отсутствующими связями с ионом кислорода, тогда как два электрона захватываются на участке из-за эффектов нейтральности заряда. Эта стабилизация 5s-орбиталей обуславливает формирование донорного уровня для иона кислорода, определяемого на 0,03 эВ ниже зоны проводимости [2]. Таким образом, эти дефекты действуют как мелкие доноры на объемный кристалл. Общими обозначениями для этого легирования являются обозначения Крёгера-Винка и записываются в виде:



Здесь «O» в нижних индексах указывает, что как первоначально связанный кислород, так и вакансия, которые производятся, лежат на узле кислородной решетки, а верхние индексы на кислороде и вакансии указывают на заряд. Таким образом, для повышения их электрических свойств пленки ИТО и другие прозрачные проводящие оксиды выращиваются в восстановительных средах, что способствует образованию вакансий кислорода.

Легирующая ионизация внутри оксида происходит таким же образом, как и в других полупроводниковых кристаллах. Неглубокие доноры вблизи зоны проводимости (n-типа) позволяют тепловому возбуждению электронов перейти

в зону проводимости, в то время как акцепторы вблизи валентной зоны (р-типа) позволяют электронам прыгать от валентной зоны до уровня акцептора, заполняя валентную зону с дырками. Важно отметить, что рассеяние носителей в этих оксидах возникает в основном из ионизованного рассеяния примесей при высоких уровнях легирующей примеси (> 1 ат.%). Заряженные ионы примеси и точечные дефекты имеют сечения рассеяния, которые намного больше, чем их нейтральные аналоги. Увеличение рассеяния уменьшает длину свободного пробега носителей в оксиде, что приводит к низкой подвижности электронов и высокому удельному сопротивлению. Эти материалы могут быть достаточно хорошо смоделированы теорией свободного электронного газа, предполагающей параболическую зону проводимости и уровни легирования выше Кривого Мотта. Этот критерий утверждает, что изолятор, такой как оксид, может испытывать переход, вызванный композицией, в металлическое состояние с минимальной легирующей концентрацией n_c , определяемой:

$$n_c^{1/3} * a_H^* = 0.26 \pm 0.05 \quad (2)$$

где a_H^* среднее значение борковского радиуса.

1.1 Материалы ТСО

Наиболее хорошо изученными и используемыми в электронике прозрачными проводящими оксидными материалами (ТСО) являются оксид индия, оксид индия легированный оловом (ИТО), оксид цинка и оксид олова.

ИТО имеет недостаток в том, что он является очень дорогим металлом. Индий, первичный металл пленки, он очень редок (6000 т³ во всем мире в 2006 году), и его цена колеблется из-за рыночного спроса (более 800 долларов за кг в 2006 году) [3].

По этой причине в качестве альтернативных материалов были предложены легированные бинарные соединения, такие как оксид цинка легированный алюминием (AZO) и оксид кадмия легированный индием. AZO состоит из алюминия и цинка, двух обычных и недорогих материалов, а оксид

кадмия легированный индием, использует только индий в низких концентрациях.

Следовательно, поиск и создание подобного типа материалов для прозрачных проводящих покрытий является востребованным. Одним из таких материалов похожего типа является соединение на основе оксида олова.

1.2 Требования к ТСО

Для прозрачных проводящих покрытий определяющими техническими параметрами являются удельное поверхностное сопротивление и коэффициент пропускания. Для ряда приложений существенное значение имеют также: спектр прозрачности (зависимость прозрачности от длины волны), химическая стойкость покрытия, его механическая гибкость и устойчивость к циклическим механическим деформациям, спектр материалов подложек, которые допустимы с точки зрения технологического процесса формирования покрытия, допустимые геометрия и размеры подложек и др. Основным экономическим параметром является себестоимость формирования единицы площади прозрачного покрытия.

1.3 Использование SnO_2 в качестве ТСО

1.3.1 Химические свойства SnO_2

Оксид олова представляет собой проводник n-типа, в котором сосуществуют широкая полоса и высокая проводимость. Как и в случае других бинарных оксидов металлов (например, ZnO , In_2O_3), кислородные вакансии ответственны за генерирование электронодонорных электронов в SnO_2 . Генерация электрона может быть описана следующим уравнением с использованием обозначения Крёгера-Винка и записываются в виде:



Согласно этому уравнению кислородные анионы, выходящие из кристаллической структуры ($0.5O_2$) с места занятого кислорода, создают двукратно ионизованный участок вакансий ($V_{\ddot{O}}$) и два свободных носителя электронов. Создание многократных носителей из одного дефекта крайне желательно из-за минимизации рассеяния носителей на кристаллических примесях. Наличие вакансий кислорода в объемном SnO_2 наблюдается с помощью рентгеновской дифракции [4] и кулонометрического титрования [5]. Эта нестехиометрия кислорода в объемном SnO_{2-x} находится в $x \approx 0,02-0,034$ [5] в интервале температур 700-990 К. Такая концентрация вакансий дает до $5 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$, предполагая, что все вакансии дважды ионизированы. Фактически, наиболее важный процесс химической диффузии в нелегированных и катион-допированных монокристаллах SnO_{2-x} обусловлен кислородными анионами [6], что указывает на низкую энергию образования кислородных вакансий. Этот уровень донора лежит примерно на 30 и 140 мэВ ниже зоны проводимости для одно- и двукратно ионизованных состояний соответственно [7, 8]. Дефицит кислорода можно легко контролировать в тонких пленках, регулируя парциальное давление кислорода во время распыления или другого осаждения PVD [например,]. Уменьшение концентрации носителей (и, следовательно, электропроводности) при более высоких парциальных давлениях кислорода

указывает на уменьшение количества вакансий кислорода в тонких пленках SnO_{2-x} .

1.3.2 Физические свойства SnO_2

1.3.2.1 Зонная структура

Расчет структуры нелегированных SnO_2 показан на рис. 1 [10-12].

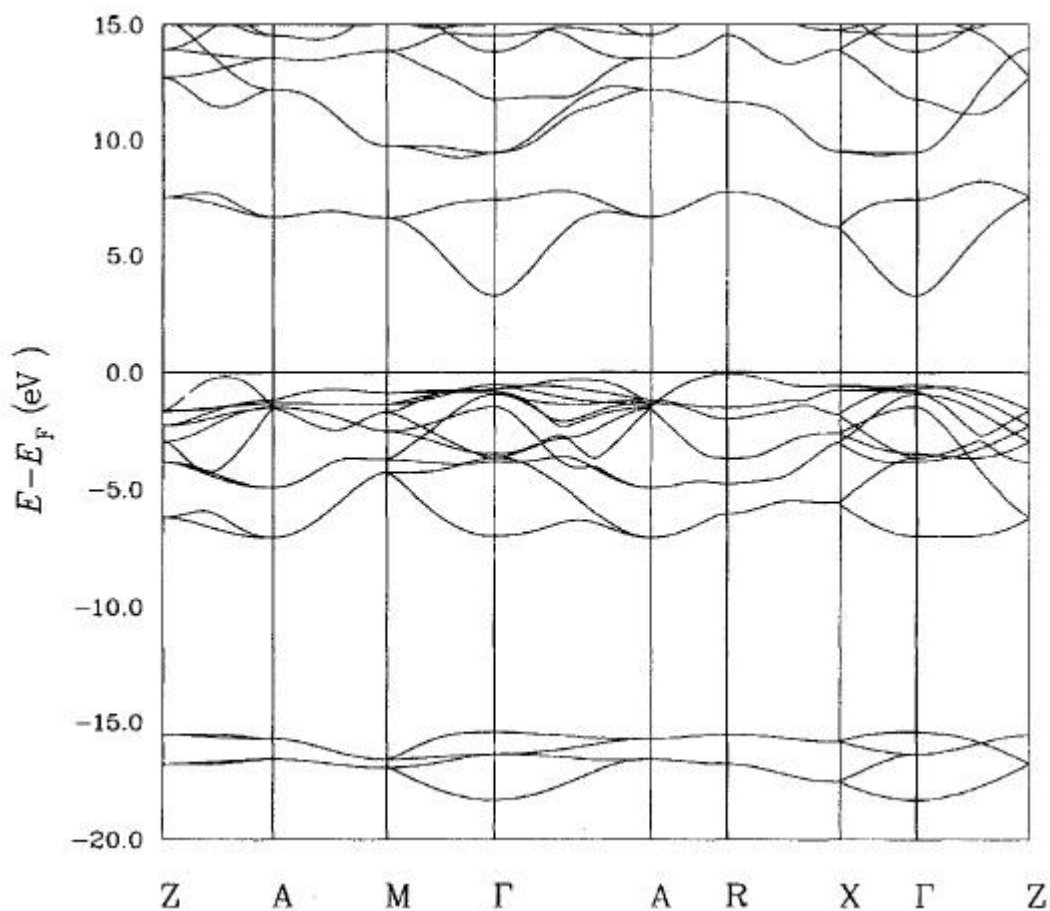


Рисунок 1. Структурные полосы нелегированного SnO_2

Сосредоточив внимание на свойствах нелегированного SnO_2 , зонная структура предсказывает прямой оптический зонный зазор в точке Γ [13], где происходит минимум зоны проводимости (CBM) и максимум валентной зоны (VBM). Низкая оценка оптической полосовой щели 1,08 эВ намного меньше, чем обычно наблюдаемое экспериментальное значение около 3,9 эВ. Это хорошо известная проблема с приближением локальной плотности в рамках теории

функционала плотности. Высокая дисперсия плотности состояний вблизи СВМ указывает на эффективную массу электронов с низкой проводимостью или, другими словами, высокую подвижность электронов. Расчетные электронные эффективные массы составляют 0,26 и 0,20 m_0 вдоль кристаллографических направлений $\Gamma - X$ и $\Gamma - Z$ [14]. Это связано с анизотропией в тетрагональной кристаллической структуре и хорошо согласуется с экспериментальными значениями [15].

Полная плотность состояний (DOS) и ее частичные вклады в состояниях Sn и O показаны на рис. 2. Основной вклад в СВМ приходится на Sn-5s, происхождение высокой степени дисперсии зоны проводимости и состояния O 2s и 2p. Сильный s-характер СВМ является общей чертой бинарных TCO, что приводит к сходству соответствующих полосовых структур [11].

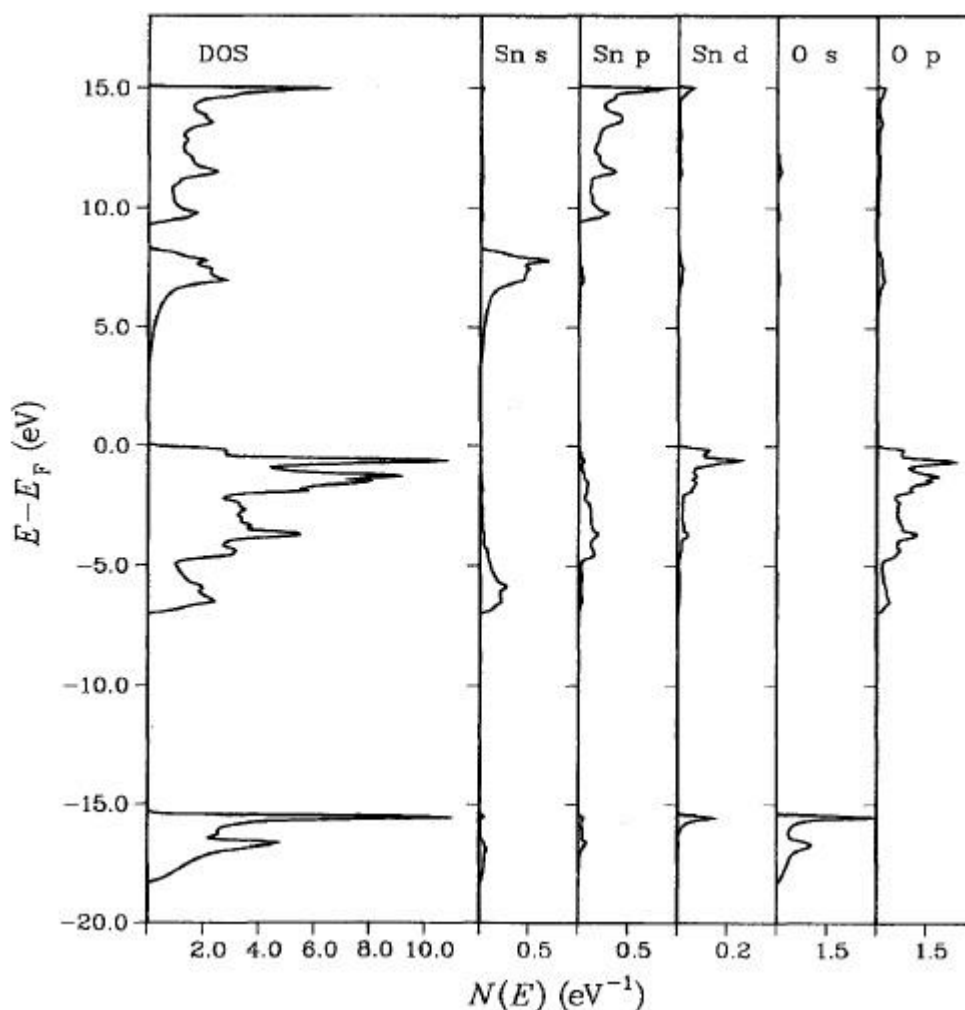


Рисунок 2. Полная и частичная плотность состояний нелегированного SnO₂

Валентная зона SnO_2 состоит в основном из O 2p-состояний и некоторого Sn 5d, что указывает на ионный характер этого оксида. Как следствие, дисперсия плотности состояний вблизи VBM мала, а эффективная масса дырки в p-типе SnO_2 намного выше, чем у электронов. Фактически, моделирование оптической полосовой щели в вырожденных пленках SnO_2 предполагает эффективную массу дырок $\approx 1,0 m_0$ [16].

1.3.2.2 Электропроводность SnO_2

Широкий диапазон электропроводности от $\approx 10^{-6}$ S / см [17] до $0,4-1,2 \cdot 10^4$ S / см [18, 19] может быть получен в SnO_2 , как того требует применение, например, датчик газа и TCO, соответственно. Известно, что существует несколько способов изменения проводимости в оксиде олова. А именно путем контроля концентрации носителей с помощью кислородного дефицита и катионного и / или анионного легирования. В следующем обсуждении представлены механизмы проводимости различных нелегированных и легированных монокристаллов, эпитаксиальных и поликристаллических тонких пленок.

Рассмотрим электропроводящие свойства поликристаллических пленок, нанесенных на стеклянные или полимерные подложки. Помимо упомянутых выше процессов рассеяния необходимо учитывать рассеяние электронов на границах заряженных зерен [8, 20, 21] как эффект, аналогичный заряженной поверхности в эпитаксиальных пленках. Отрицательный фронт поверхности накапливается вблизи границы зерен из-за захвата электронов, а электроны проводимости преимущественно туннелируют через область пространственного заряда [22]. Как правило, тонкие пленки с большими размерами зерен обладают более высокой подвижностью электронов [18, 21, 23, 24], в зависимости от условий роста тонкой пленки и легирования. Граничный потенциал зерна может быть уменьшен путем отжига в газе N_2 или в вакууме, что приводит к восстановлению подвижности до $60 \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{s}$ [7]. Увеличение толщины пленки

также помогает получить более высокую концентрацию носителей, подвижность и, следовательно, проводимость [25, 26].

Типичные значения подвижности, полученные в поликристаллических тонких пленках, варьируются от 1 до 20 см²/В*с [8, 24, 27]. При концентрациях носителей около 10²¹/см³ полученная тонкопленочная проводимость имеет порядок 10³S/см. Наибольшая проводимость 1,5*10⁴ S/см получается отжигом нелегированной пленки SnO₂ при 550°С, покрытой тонким слоем SiO₂ [28]. Это улучшает структуру пленки и помогает поддерживать стехиометрию кислорода. Высокая проницаемость и прозрачность пленки SnO₂ успешно выращиваются на гибких подложках [29] для новых легких и складных устройств.

1.3.2.3 Оптические свойства SnO₂

Интерес к покрытиям SnO₂ обусловлен существованием высокой проводимости и прозрачности в видимом диапазоне спектра электромагнитного излучения. Для применений ТСО требуется полосовой зазор не менее 3,1 эВ. Нелегированные проводящие пленки оксида олова демонстрируют большую полосу ширины запрещенной зоны, обычно более 3,6 эВ [9, 30, 31]. Переход по краю полосы запрещенной зоны устанавливается из расчетов зонной структуры [10, 11]. Кроме того, прямой зазор указывает на хорошую линейную подгонку зависимости $ahv(hv - E_g)^{\frac{1}{2}}$, показанной на рис.3. С добавлением различных донорных примесей (Sb и F), рис.4, энергия, необходимая для перехода электрона, увеличивается за счет заполнения зоны проводимости носителями свободных электронов. Этот эффект известен как сдвиг Бернштейна-Мосса [32], ответственный за расширение зоны зазора с увеличением концентрации носителей.

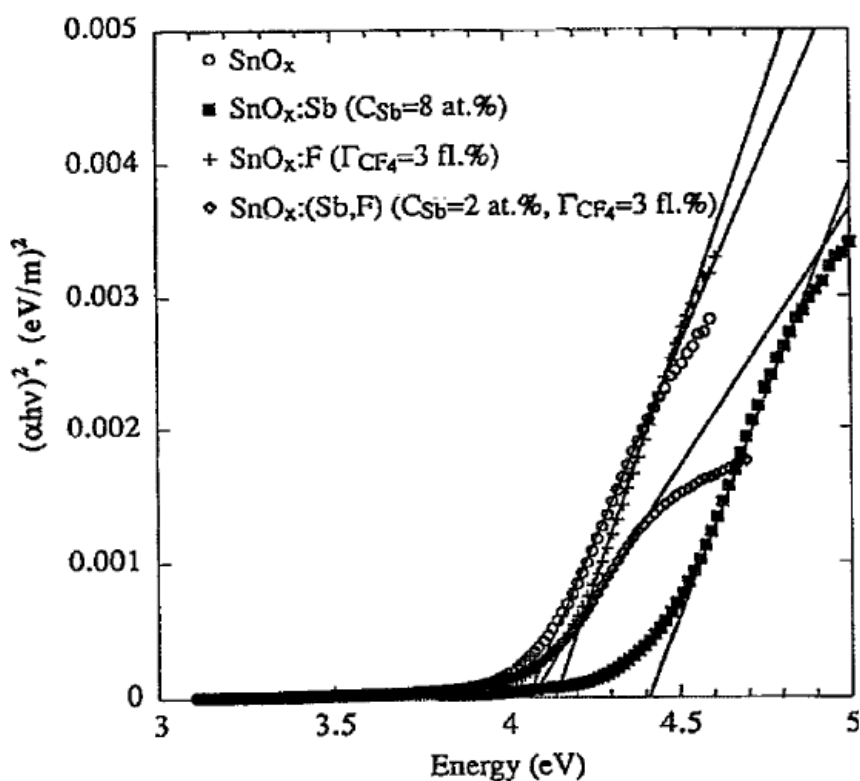


Рисунок.3. Прямая зонная эволюция и сдвиг Бернштейна-Мосса края полосы тонких пленок оксида олова:

α - коэффициент поглощения, $h\nu$ - энергия падающего фотона, E_g - энергия запрещенной зоны, необходимая для продвижения электрона от вершины валентной зоны до первого доступного незанятого состояния в зоне проводимости [9]

Нелегированные и легированные оксиды олова являются высокопрозрачными в диапазоне длин волн видимого света (400-800 нм) [9, 30, 33], как показано на рис. 4. Высокая прозрачность может быть объяснена низкой концентрацией состояний средней щели, обычно отвечающих за поглощение фотонов с энергией ниже величины запрещенной зоны. Показатели показателя преломления между 1,9 и 2 обычно наблюдаются в тонких пленках SnO_2 .

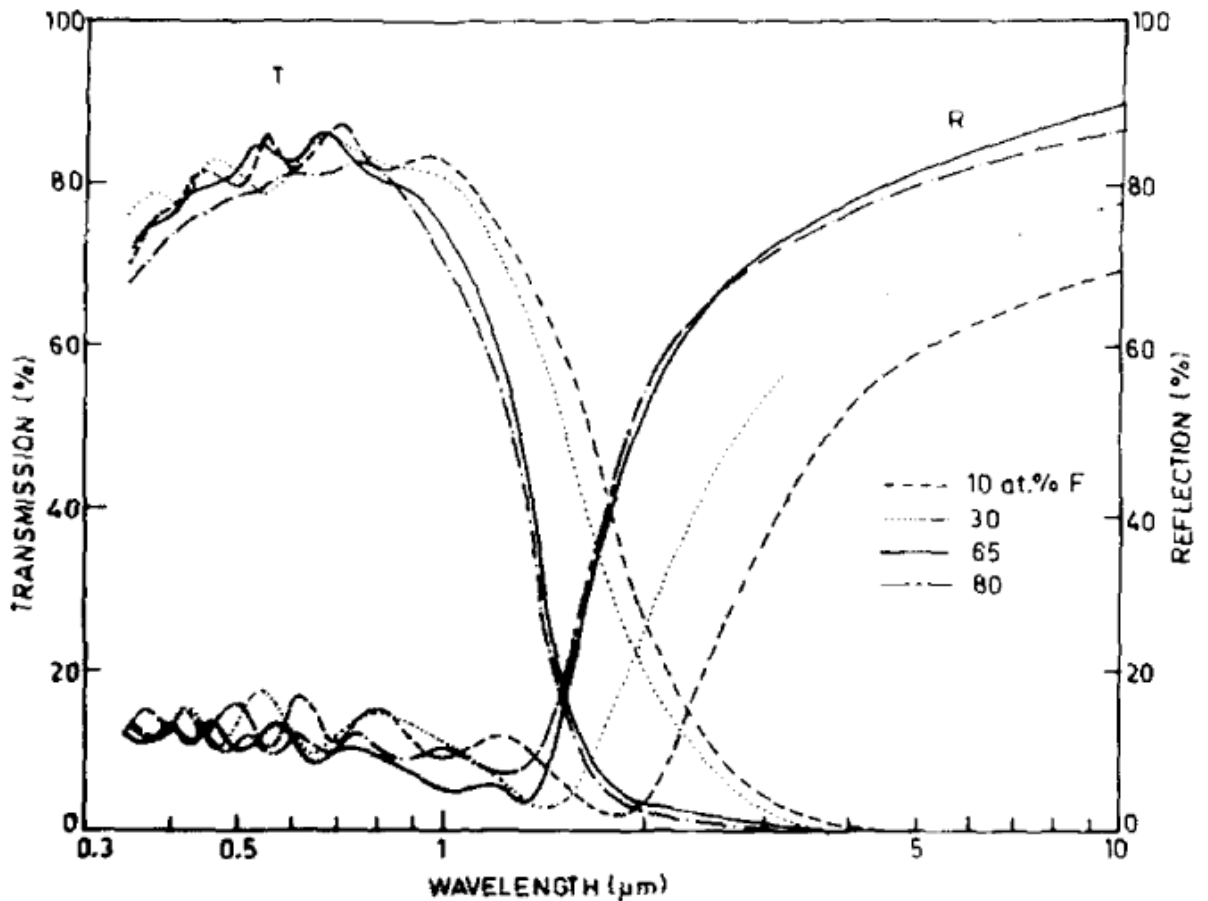


Рисунок 4. Спектры пропускания и отражения F-легированного SnO₂.

Точка пересечения между кривыми пропускания и отражения в ИК-диапазоне показывают положение плазменной длины волны [31]

Оптическое пропускание проводящих пленок SnO₂ ограничено в ближней инфракрасной (ИК) области. Эта плазменная длина волны (или, чаще, плазменная частота) зависит от концентрации носителей и эффективной массы. Таким образом, наблюдение плазменной частоты (ω_p) вместе с измеренной концентрацией носителей (N) позволяет определить эффективную массу носителя (m^*), которая выражается из классической теории Друде как:

$$\omega_p = \frac{4\pi N e^2}{\epsilon \epsilon_0 m^*}, \quad (4)$$

где e – заряд электрона, ϵ – высокочастотная диэлектрическая постоянная, ϵ_0 – диэлектрическая проницаемость свободного пространства. Электронные эффективные массы легированного SnO₂, полученные из этих измерений,

находятся в диапазоне 0,15-0,4 m_0 [9, 30, 33]. Это близко к среднему значению 0,25 m_0 для монокристалла [15]. Высокая отражательная способность в ближней ИК-области ниже плазменной длины волны позволяет использовать высоколегированные SnO₂ в качестве покрытий с низкой излучательной способностью.

Широкий полосовой зазор оксида олова может позволить применение в УФ-светодиодах. Высокая энергия связи экситонов 130 мэВ многообещающая [34], так как она намного выше, чем сообщаемое значение энергии связи 60 мэВ для ZnO [35]. Наблюдаются пики релаксации и акцепторной фотолюминесценции за счет спонтанного образования донорных уровней вакансий кислорода и интенциональных уровней акцептора из N-легирования [36].

1.3.2.4 Структурные свойства SnO₂

В настоящее время аморфные широкозонные полупроводниковые тонкие пленки заменяют кристаллические аналоги в приложениях ТСО из-за более низких температур обработки, снижения стоимости и способности наносить пленки ТСО на гибкие полимерные подложки. Успешные кандидаты демонстрируют оптико-электронные свойства, сравнимые с характеристиками кристаллической формы и высокой стабильностью при повышенных температурах. Хорошим примером аморфного ТСО являются тонкие пленки In₂O₃- (ZnO)_x с проводимостью около 1500 S/см и стабильность фазы до 500 °C [37].

Большинство современных материалов ТСО основаны на оксидах In, Zn, Sn и Cd. Эти элементы относятся к группе катионов тяжелых металлов (n-1)d¹⁰ ns⁰ электронной конфигурации [38]. Полоса проводимости этих бинарных оксидов и их смесей имеет сильный s-характер с большой изотропной пространственной шириной из-за сферической симметрии s-полос. Короткий диапазон похож как на аморфную, так и на кристаллическую фазы, за

исключением того, что в первом случае углы связи меняются, что не влияет на проводимость электронов. Отсутствие границ зерен исключает соответствующий механизм рассеяния носителей, поэтому ожидается более высокая производительность аморфных материалов. Носители обычно являются результатом анионных вакансий, и катионное легирование, как правило, не увеличивает концентрацию носителей, а скорее стабилизирует аморфную фазу.

Тонкие пленки оксида олова имеют кристаллическую, аморфную или смесь аморфной и кристаллической фаз [9, 39, 40]. Неупорядоченная фаза поддерживается после отжига на воздухе до 300°C [39], а высокая подвижность 22 см²/В*с достигается сравнима с таковой для кристаллической фазы. Наибольшая полученная проводимость составляет около 500-2000 S/см. Аморфные пленки SnO₂ примерно на 80% прозрачны в видимом диапазоне с запрещенной зоной около 3,65 эВ. Наблюдение за более низкой зонной щелью по сравнению с около 4,0 эВ кристаллической фазы с аналогичной концентрацией носителей обычно наблюдается в TCO, возможно, из-за размывания границ проводимости и валентной зоны. В той же работе [39] в качестве основного механизма рассеяния определяется ионизированное примесное рассеяние с экранированием свободным электроном.

Таким образом, аморфные пленки оксида олова, особенно с примесями, являются технологически важными и находят применение в приложениях TCO.

1.3.2.5 Механические свойства и поведение коррозии SnO₂

Тонкие пленки из оксида олова показывают хорошую адгезию на стеклянных подложках. Адгезия кристаллических пленок SnO₂ составляет >300 кг*Н/см², что измеряется методом выталкивания [41]. Его можно дополнительно увеличить с более высокими температурами подложки во время осаждения и с последующим отжигом.

SnO₂ встречается в природе, как правило, в руслах рек и поэтому обладает высокой устойчивостью к атмосферным воздействиям – хорош для

архитектурных покрытий с низким уровнем выбросов. Нелегированные пленки SnO₂ демонстрируют высокую устойчивость до 800°C в воздухе и инертной атмосфере [63]. Это делает их привлекательными для приложений, требующих низких изменений электрических свойств в широком температурном диапазоне.

1.4 Способы осаждения SnO₂

Тонкие плёнки оксида олова можно получить различными распылительными способами: электронно-лучевым испарением [43], вакуумно-дуговым испарением [44], магнетронным распылением [9, 26, 45].

1.4.1 Электронно-лучевое испарение

Электронно-лучевое испарение веществ является разновидностью способа термического испарения с использованием электронно-лучевых испарителей, позволяющих концентрировать энергию нагрева на небольшой поверхности испаряемого вещества. На рис. 5 представлен принцип электронно-лучевого испарения. Испаряемое вещество нагревается и испаряется в результате бомбардировки сфокусированным пучком ускоренных электронов, испускаемых нагретым катодом [46]. Затем происходит транспортировка пара от мишени до поверхности подложки, где начинает расти плёнка. Вакуум необходимый для электронно-лучевого испарения: 10^{-2} - 10^{-8} Па [47].

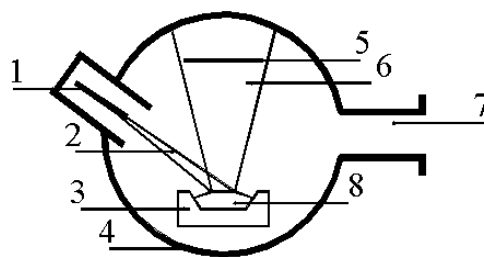


Рисунок.5. Принцип электронно-лучевого испарения:

1-электронная пушка, 2-электронный пучок, 3-водоохлаждаемый тигель, 4-кожух технологической камеры, 5-подложка, 6-поток пара, 7-насос, 8-испаряемый материал [47].

Преимущества электронно-лучевого испарения перед другими методами испарения состоят в следующем:

- высокая скорость осаждения 6-60 мкм/мин [48];
- возможность получения толстых покрытий (до 200 мкм) [49];
- при электронно-лучевом нагреве высокую температуру имеет только поверхность испаряемого вещества;
- имеется возможность управлять электронным пучком во времени и в пространстве, что позволяет регулировать поток энергии и скорость испарения;
- позволяет формировать покрытия с достаточно высокой производительностью и управлять их составом и свойствами [50].

Недостатки электронно-лучевого испарения:

- сравнительно низкий процент ионизированных частиц в общем потоке испаряемого материала, что влияет на прочность адгезионной связи осаждаемых покрытий;
- низкая равномерность толщины и стехиометрии пленок на изделиях сложной конфигурации;
- возникновение рентгеновского излучения и, как следствие, возможность появления радиационных дефектов [50];

1.4.2 Вакуумно-дуговое испарение

Принцип осаждения дуговым разрядом, схематично показанный на рис.6, осуществляется за счет эрозии распыляемого материала в сильноточных дуговых разрядах, переноса образования ионизированной паровой фазы (20-100% ионов) с большой скоростью (энергия частиц E -до 10 эВ) и конденсации поверхности подложки [44].

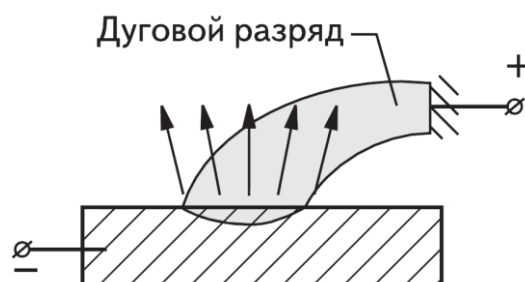


Рисунок 6. Схема принципа осаждения дуговым разрядом.

Основными преимуществами являются: электрическая мощность у этого метода практически неограниченна, универсальность, высокий коэффициент ионизации, максимально возможная скорость осаждения, для ионизации – отсутствие необходимости в дополнительном газе. Основными недостатками являются: относительная сложность конструкции дуговых источников, нерегулируемая энергия частиц, наличие капельной фазы в потоке осаждаемого материала.

1.4.3 Магнетронное распыление

В данной системе распыление материала мишени происходит за счет её бомбардировки ионами рабочего газа, такого как Ar, которые образуются в плазме аномального тлеющего разряда. Благодаря тому, что плотность ионного тока высока, системы характеризуются высокой скоростью распыления, так как плазма тлеющего разряда локализована у распыляемой поверхности сильным поперечным магнитным полем. Принцип действия МРС показан на рисунке 7 [9, 26, 45, 50]. Её основные элементы – магнитная система 2, анод 4, катод-мишень

1. Между полюсами магнитной системы замыкаются силовые линии магнитного поля 7.

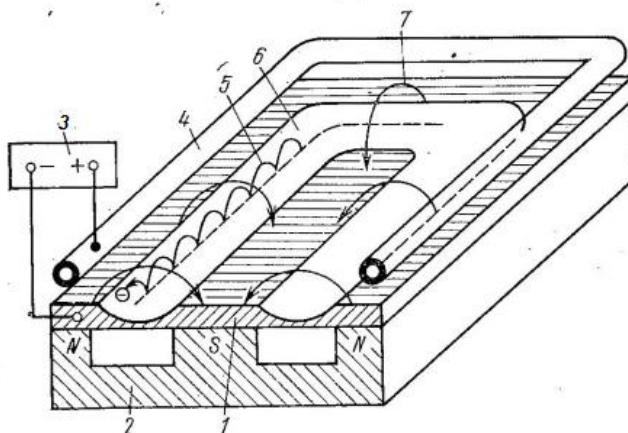


Рисунок 7. Схема MPC с плоским катодом:

3–источник питания, 5–траектория движения электронов, 6–область распыления.

Поверхность мишени, которая располагается между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы. Создается аномальный тлеющий разряд и возникает неоднородное электрическое поле при наличии постоянного напряжения между и мишенью (отрицательный потенциал). Электроны под действием ионной бомбардировки вырываются с поверхности катода 1. Они начинают совершать сложное циклоидальное движение у поверхности мишени, захватываясь и удерживаясь магнитным полем.

Электроны под действием магнитного поля, возвращаясь на катод, который их отталкивает, находятся в ловушке. Внутри этой ловушки они циклируют пока не произойдет несколько столкновений с атомами газа, и электроны не потеряют энергию, полученную от электрического поля.

В отличие от других способов нанесения тонкопленочных покрытий, способ магнетронного распыления позволяет достаточно тонко регулировать толщину покрытия, а значит, его сопротивление, что очень важно при создании структур с определенной проводимостью.

Основными преимуществами метода являются низкие температуры подложки, достаточно высокие скорости осаждения, высокая плотность и хорошая однородность по толщине покрытий, долговременная устойчивость процесса и хорошая управляемость, что связано с более высокой энергией конденсирующихся частиц при магнетронном распылении и дополнительной активацией поверхности действием плазмы. Метод магнетронного распыления относительно дешев и позволяет осаждать покрытия на подложки большой площади.

Недостатком магнетронной распылительной системы является возможная нестабильность процесса, возникающая при распылении металлов в присутствии реакционного газа. Взаимодействие атомов и ионов газа с материалом мишени может приводить в ряду проблем: проблема «исчезающего анода», возможность возникновения электрических пробоев, снижение скорости распыления из-за окисления мишени.

Эти проблемы могут быть решены как изменением конструкции магнетрона (дополнительный анод и т.д.), так и подбором параметров источника питания: частота, скважность и т.д.

1.5 Способы изменения оптических и электрических характеристик SnO₂

Достижение необходимых характеристик покрытий может осуществляться различными способами:

1 – управление внутренними характеристиками процесса осаждения (скорость осаждения, управление расходом газов, рабочие параметры МРС, температура подложки и время отжига),

2 – использование внешних факторов воздействия в процессе осаждения или после его (внешние источники заряженных частиц, магнитные поля).

Влияние параметров осаждения, таких как скорость осаждения, температура подложки и отжига в различных средах, электрические

характеристики магнетронного разряда, на оптические и электрические свойства тонких плёнок хорошо изучены. О чем свидетельствует большое количество публикаций, посвящённых изучению этих вопросов. Работ же по исследованию влияния внешних факторов воздействия в научной литературе практически отсутствует.

1.6 Факторы, влияющие на оптические и электрические свойства осаждаемых покрытий

В работе [51] авторы изучали влияния отжига пленок оксида олова на оптические и электрические свойства. После проведенных исследований были получены результаты и сделаны выводы, шероховатость слабо зависела от времени отжига и уменьшалась с толщиной пленки. Пропускание пленки в видимой области практически не зависит от времени отжига. Проводимость пленки увеличивалась с временем отжига, достигая максимального значения через 3-7 мин, что больше в 2,0-2,9 раза, чем измеренная до отжига. Отношение кислорода к олову на поверхности пленки уменьшилось относительно его значения до отжига достигло минимума после отжига в течение 7 мин. После отжига в течение 10 мин отношение O/Sn увеличивалось относительно минимального значения, но было ниже, чем отношение перед отжигом. Отношение O/Sn в объеме уменьшалось монотонно для времени отжига более 1 мин. Проводимость пленки до и после отжига зависела линейно от толщины пленки. Так же в работе [52] авторы показали, что сразу после осаждения, структура оксидов олова представляет собой смесь аморфных областей и кристаллитов β -Sn. Значительное снижение сопротивления пленки (около 25 раз) наблюдалось после ступенчатого отжига в вакууме до 200°C и объяснялось восстановлением оксидов кристаллитов β -Sn. При температурах, превышающих температуру плавления Sn, избыток олова образует агрегаты $\bar{\text{Sn}}$ на границе пленка-подложка, что приводит к значительному увеличению сопротивления пленки до 200 кОм.

В работе [53] авторы пришли к выводу, что в зависимости от параметров осаждения структура пленок может изменяться от аморфной до кристаллической, а также в результате уменьшается удельное сопротивление. Оптимизируя парциальное давление кислорода и температуру подложки, можно получить пленки SnO_x с удельным сопротивлением $6,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ с соответствующей оптической передачей около 95% и прямым оптическим зазором 4,13 эВ. Для пленок с относительно высокой проводимостью длительное воздействие атмосферы изменило их электронные свойства, которые можно было частично восстановить путем отжига.

Более детально изучили поверхностную структуру пленок оксида олова, авторы в работе [54] и [55], они сделали заключение, что главную роль в поверхностных свойствах оксида олова играет двойная валентность олова. Двойная валентность облегчает обратимое преобразование состава поверхности со стехиометрических поверхностей с поверхностными катионами Sn^{4+} в восстановленную поверхность с катионами Sn^{2+} в зависимости от химического потенциала кислорода системы. Изменение поверхностной структуры пленки происходит из-за уменьшения поверхности пленки за счет образования поверхностных состояний Sn 5s, которые лежат глубоко в запрещенной зоне, а также вызывают снижение работы выхода. Однако, чувствительный к газу механизм возникает лишь косвенно под влиянием поверхностного состава SnO_2 . Критическими для запуска реакции газа является не концентрация кристаллической решетки, а хемосорбированный (или ионсорбированный) кислород и другие молекулы с чистым электрическим зарядом. Изгиб зон, индуцированный заряженными молекулами, вызывает увеличение или уменьшение поверхностной проводимости, ответственной за сигнал отклика газа.

В работе [56] был изучен механизм осаждения пленок прозрачного проводящего оксида олова методом магнетронного распыления. Аморфная пленка SnO_{2-x} обладала минимальным удельным сопротивлением $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ и самой высокой подвижностью Холла $22 \text{ см}^2/\text{В}$, что сравнимо

с наблюдаемым в поликристаллических легированных пленках SnO_2 . Исследование температурной зависимости холловской подвижности показало, что зернограничное рассеяние является доминирующим механизмом рассеяния для кристаллизованных пленок SnO_{2-x} . Анализ, проведенный с использованием четырех коэффициентов, показал, что нелегированные пленки SnO_{2-x} имеют характеристики вырожденного полупроводника с непараболической зонной структурой и что доминирующим механизмом ограничения подвижности в аморфных пленках SnO_{2-x} является ионизованное примесное рассеяние со скринингом свободных электронов.

В работе [57] была изучена роль ионной бомбардировки (отрицательные ионы в магнетронных разрядах генерируются на поверхности мишени и ускоряются в сторону растущей пленки) тонких пленок прозрачного проводящего оксида, распыленных методом реактивного магнетронного распыления. Авторы пришли к выводу, что распределение радиального удельного сопротивления зависит от режима возбуждения магнетрона (постоянный ток или импульсный), от эрозионного состояния распыляемой мишени, и от плотности керамических мишеней. Энергия отрицательных ионов и их радиальное распределение зависят от напряжения разряда и формы излучающей поверхности, т.е. от эрозии канавки.

Отрицательные ионы приобретают максимальную энергию не в объеме магнетронного разряда, а на поверхности подложки. Только те отрицательные ионы, которые образуются на поверхности мишени, ускоряются через катодную оболочку к подложке, получая энергию, соответствующую полному потенциалу оболочки катода: $E_{\text{ион}}=e(V_p - V_t)$.

В работе [58] были получены прозрачные пленки в диапазоне 200-1200 нм для газочувствительных датчиков. Пленки отжигали на воздухе при температуре 550 °С в течение 0.5, 1, 2, 4 и 8 ч для стабилизации их параметров. Корреляции между удельным электрическим сопротивлением и оптическими и структурными свойствами пленок обнаружено не было.

В работе [59] методом магнетронного распыления были получены прозрачные проводящие пленки оксида олова. Наименьшее удельное сопротивление составило $1,9 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot \text{см}$.

В работе [60] и [61] тонкие пленки оксида олова были осаждены на стеклянные подложки при комнатной температуре с помощью реактивного магнетронного распыления. Соотношение O_2/Ar и напряжение разряда поддерживались в таком режиме, когда осаждаемые пленки являлись диэлектриками. После осаждения пленки подвергались облучению пучком ионов аргона. Среднее значение пропускания пленок в результате воздействия ионного пучка сначала уменьшается, а затем увеличивается до значений, превышающих исходное. Установлено что в результате воздействия ионов аргона диэлектрические пленки SnO_2 становятся электропроводными. Поверхностное электрическое сопротивление пленок с увеличением времени воздействия ионов сначала уменьшается, а затем начинает возрастать. Наблюдается хорошая прямая корреляция между оптическими и электрическими свойствами пленок.

В работе [62] исследовано влияние распределения магнитного поля. Исследования показали, что в зонах с повышенной индукцией магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона распыление идет более интенсивно как в случае распыления металлов ионами инертного газа, так и в случае реактивного распыления. Однако при реактивном магнетронном распылении зависимость скорости распыления от величины индукции магнитного поля существенно усиливается из-за эффекта «отравления» мишени реактивным газом.

Выравнивание величины индукции над поверхностью мишени в зоне распыления мишени магнетрона позволило снизить неравномерность толщины покрытия, получаемого методом реактивного магнетронного осаждения на подложке шириной 600 мм, – с 24 до 16,5%.

В то же время экспериментальное исследование показало, что даже при хорошей равномерности распределения магнитного поля над поверхностью мишени магнетрона может возникать значительная разница толщины покрытия

в верхней и нижней частях подложки. В данных исследованиях толщина покрытия в верхней части подложки была меньше, чем в нижней части как для первого, так и для второго варианта исполнения магнитной системы. Наблюдаемая в экспериментах разница толщины покрытия в верхней и нижней частях подложки, по-видимому, возникает из-за неравномерного распределения концентрации кислорода в области между катодом магнетрона и подложкой. Причиной этого может быть неравномерный поток рабочих газов (особенно – кислорода) в вакуумной камере, возникающий из-за асимметрии расположения технологической оснастки внутри рабочего объема.

В работе [63] были получены прозрачные проводящие пленки на основе оксида олова методом ВЧ магнетронного распыления при приложении внешнего постоянного магнитного поля. Полученное низкое удельное сопротивление составляет $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} \cdot \text{см}$. Для покрытий, нанесенных на подложку, могут быть получены пленки SnO_2 с поверхностным сопротивлением 200-300 Ом / \square и средним коэффициентом пропускания (от 400 до 700 нм) выше 85% (включая подложку из органической пленки).

В работе [64] было исследовано влияние парциального давления кислорода на оптические и электрические характеристики. Процент парциального давления кислорода варьировался в диапазоне 1% ~ 10%. Результаты показывают, что введение кислорода будет подавлять осаждение и рост пленок SnO_2 . Электрические измерения показывают, что удельное сопротивление пленки уменьшается с увеличением давления кислорода. Пленки SnO_2 с удельным сопротивлением 232 Ом*см были получены в чистой среде Ar. Средний коэффициент пропускания в видимой области варьировался от 83,18% до 88,63%.

В работе [65] изучались оптические свойства пленок оксида олова осажденных методом магнетронного напыления при различных температурах. Температура подложки изменялась в диапазоне от 53 до 243 °С, сохраняя при этом другие параметры осаждения.

Все осажденные тонкие пленки показали высокий коэффициент пропускания (85-90%) в видимой области, поглощающий в УФ-области. В качестве примера на рис.8 показан спектр пропускания при температуре 243°C для тонкой пленки SnO₂.

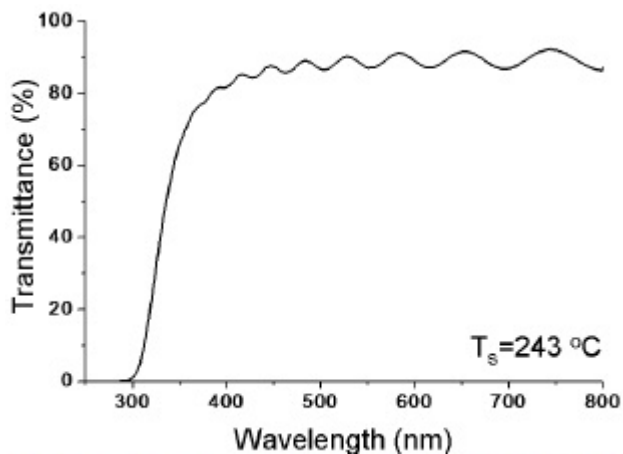


Рисунок 8. Спектр пропускания при температуре 243 °C

1.7. Выводы из литературного обзора и постановка задачи

Прозрачные проводящие оксиды относятся к группе полупроводников с широкой запрещенной зоной и используются для различных производственных технологий.

В работе подробно изучен метод магнетронного напыления. МРС является улучшенным устройством катодного распыления материала в вакууме с использованием источника постоянного тока для нанесения покрытий на изделия. Его принцип действия основан на явлении физического распыления материала мишени ускоренными ионами рабочего газа, которые бомбардируют поверхность мишени под действием приложенного отрицательного потенциала.

В отличие от других способов нанесения тонкопленочных покрытий, способ магнетронного распыления позволяет достаточно тонко регулировать толщину покрытия, а значит, его сопротивление, что очень важно при создании структур с определенной проводимостью. Так же для достижения необходимых характеристик покрытий может осуществляться различными способами: 1 –

управление внутренними характеристиками процесса осаждения (скорость осаждения, управление расходом газов, выбор рабочих параметров: мощность, давление), 2 – использование внешних факторов воздействия в процессе осаждения или после его (внешние источники заряженных частиц).

В представленном литературном обзоре приведены статьи по изменению свойств оксида олова. Из выше изложенного обзора можно сделать следующие выводы:

1. Проводимость пленки увеличивается со временем отжига. После осаждения покрытия, структура оксидов олова представляет собой кристаллическую, аморфную или смесь аморфной и кристаллической фаз. При температурах, превышающих температуру плавления Sn, избыток олова образует агрегаты -Sn на границе пленка-подложка, что приводит к значительному увеличению сопротивления пленки до 200 кОм.

2. Оптимизируя парциальное давление кислорода и температуру подложки, можно получить пленки SnO_x с удельным сопротивлением $6,1 \cdot 10^{-3}$ Ом · см с соответствующей оптической передачей около 95% и прямым оптическим зазором 4,13 эВ.

3. Главную роль в поверхностных свойствах оксида олова играет двойная валентность олова. Изменение поверхностной структуры пленки происходит из-за уменьшения поверхности пленки за счет образования поверхностных состояний Sn 5s, которые лежат глубоко в запрещенной зоне, а также это вызывает снижение работы выхода. Изгиб зон, индуцированный заряженными молекулами, вызывает увеличение или уменьшение поверхностной проводимости.

4. Распределение радиального удельного сопротивления зависит от режима возбуждения магнетрона (постоянный ток или импульсный), от эрозионного состояния распыляемой мишени, и от плотности керамических мишеней. Это объясняется тем, что отрицательные ионы в магнетронных

разрядах генерируются на поверхности мишени и ускоряются в сторону растущей пленки. Их энергия и их радиальное распределение зависят от напряжения разряда и формы излучающей поверхности, т.е. от эрозии канавки.

5. В результате воздействия ионов аргона диэлектрические пленки SnO_2 становятся электропроводными и происходит изменение оптических и электрических характеристик.

6. Повышение содержания кислорода уменьшает осаждение и рост пленок SnO_2 . Электрические измерения показывают, что удельное сопротивление пленки уменьшается с увеличением давления кислорода.

2 Описание экспериментального оборудования и методик исследования

2.1 Установка ионно-плазменного осаждения покрытий «Яшма-4»

Для экспериментов использовалась установка «Яшма-4», разработанная и изготовленная в лаборатории 23 кафедры ВЭПТ ФТИ ТПУ, предназначена для нанесения модифицирующих покрытий с помощью потоков распыленных частиц и ускоренных ионов.

Конструктивно она состоит из рабочей и шлюзовой камер, вакуумной системы, автоматизированной системы управления, системы контроля толщины покрытий.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 9.

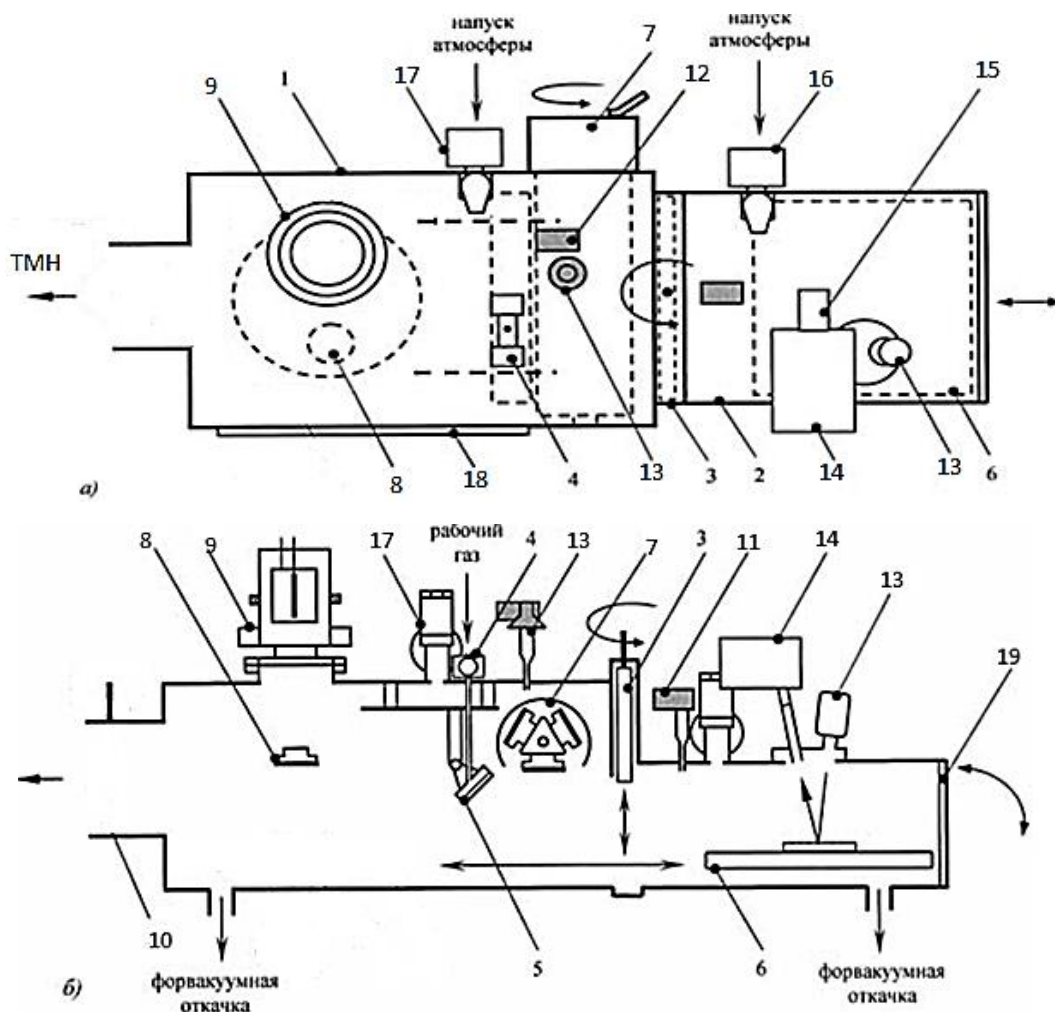


Рисунок 9. Схема установки «Яшма-4»:

1-рабочая камера; 2-шлюзовая камера; 3-высоковакуумный затвор; 4-управляемый натекаТЕЛЬ системы напуска газа; 5-источник ионной очистки; 6-столик; 7-револьверная головка с тремя магнетронами; 8-дополнительный магнетрон; 9-источник высокоэнергетичных ионов; 10-термопарный вакуумметр; 11-ионизационный вакуумметр; 12-источник света; 13-монохроматор; 14-фотоэлектронныйумножитель; 15, 16-клапаны напуска атмосферы; 17, 18-дверь рабочей и шлюзовой камеры, соответственно.

Установка состоит из рабочей 1 и шлюзовой 2 камеры, между которыми установлен высоковакуумный затвор 3 необходимый для отсечения рабочей камеры от шлюзовой при загрузке в нее образцов. Напуск газа (Ar, O₂) в рабочую камеру осуществляется с помощью управляемого натекателя 4 системы напуска газа. Для регулирования давления в рабочей камере предусмотрена дроссельная заслонка 10. Клапаны 16, 17 служат для напуска атмосферы в рабочую и шлюзовую камеры. Загрузка образцов в установку и техническое обслуживание производится через двери 19 и 18.

В рабочей камере расположены источник ионный очистки 5, револьверная головка 7 с тремя магнетронами и дополнительный магнетрон 8. Источник высокоэнергетичных ионов 9 предназначен для проведения технологических операций, связанных с имплантацией.

Для перемещения обрабатываемых изделий установка снабжена столиком, совершающие возвратно-поступательное 6 движения.

Магнетроны 7 и 8 служат для осаждения необходимого материала на поверхность образцов.

Контроль оптической толщины неметаллических покрытий (оксидных, нитридных и других) осуществляется фотометрическим методом, при помощи осветителя 12, фотоэлектронного умножителя 14 и монохроматора 13.

Контроль давления в рабочей камере производится при помощи термопарного 10 и ионизационного 11 вакуумметров.

2.2 Ионный источник с замкнутым дрейфом электронов

Источник имеет магнитную систему из постоянных магнитов, которая создает магнитное поле между внутренним и внешним полюсами магнитопровода. После подачи положительного потенциала на анод между ним и катодом загорается электрический разряд со скрещенными аксиальным электрическим и радиальным магнитным полями [66]. В этом случае электроны дрейфуют в азимутальном направлении по замкнутым траекториям, многократно ионизуя атомы рабочего газа и постепенно диффундируя к аноду. Образовавшиеся ионы ускоряются сильным электрическим полем, создающимся за счет пространственного заряда электронов, и покидают ионный источник через щель ускоряющего канала. Конструктивными особенностями ионного источника с анодным слоем являются проводящие стенки ускоряющего канала, и длина этого канала, меньшая, чем его ширина. В данном ионном источнике не существует процесса, ограничивающего температуру электронов. Поэтому происходит ее увеличение при движении электронов к аноду. Это увеличение температуры приводит к резкому повышению потенциала в области анода. Тонкий слой у анода, в котором происходит образование и ускорение ионов, стал основой названия данного типа ионного источника [67,68].

Ионный источник относится к типу «ускоритель с анодным слоем» и работает в диапазоне питающих напряжений на аноде в интервале 0,5- 3 кВ. Как правило, такой источник используется в варианте «расходной машины» и работает на потоке рабочего газа через рабочий зазор ионного источника. Регулировка рабочего тока при этом легко производится изменением расхода газа через ионный источник.

Типичный расход газа через ионный источник составляет 0.44 л/мин, Соответственно, в таком варианте использования ионный источник не реагирует на давление в вакуумной камере в диапазоне от высокого вакуума до примерно 0,3 Па, и давление в вакуумной камере установки определяется скоростью откачки вакуумной системы установки.

На рис.10 представлен использованный в работе [69] ионный источник с холловским дрейфом электронов, состоящий из водоохлаждаемого анода (1), магнитной системы (2) и катода (3), являющегося магнитопроводом.

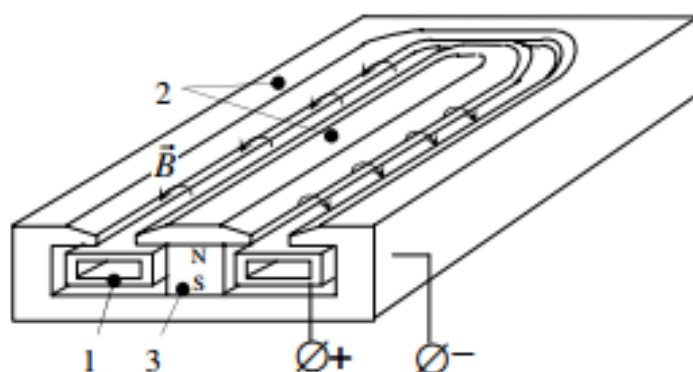


Рисунок 10. Конструкция ионного источника:

1) анод, 2) катод, 3) магнитная система

К аноду прикладывается положительный потенциал, а катод и стенки вакуумной камеры заземлены. Магнитное поле замыкается в зазоре между полюсными наконечниками. Конструкция электродов и конфигурация магнитного поля таковы, что плазма разряда локализуется непосредственно над анодом. Электроны совершают сложные циклоидальные движения вдоль его поверхности, создавая замкнутый холловский ток и ионизируя атомы рабочего газа. Ионы ускоряются приложенной разностью потенциалов [70-72]

Источник работает в диапазоне напряжений 0,5...3,5 кВ и обеспечивает разрядный ток до 500 мА. Типичные значения индукции магнитного поля в зазоре между полюсными наконечниками составляют 200...250 мТл. Рабочий газ подаётся в камеру через разрядный промежуток устройства с расходом 20...50 норм. см³ /мин.

Выбор рабочих режимов ионного источника практически всегда сопряжен с задачей повышения скорости травления [73]. Одним из определяющих параметров является величина расхода газа.

Полный ионный ток источника определяется расходом рабочего газа и ускоряющим напряжением. Вольтамперные характеристики ионного источника длиной 500 мм приведены на рис. 11.

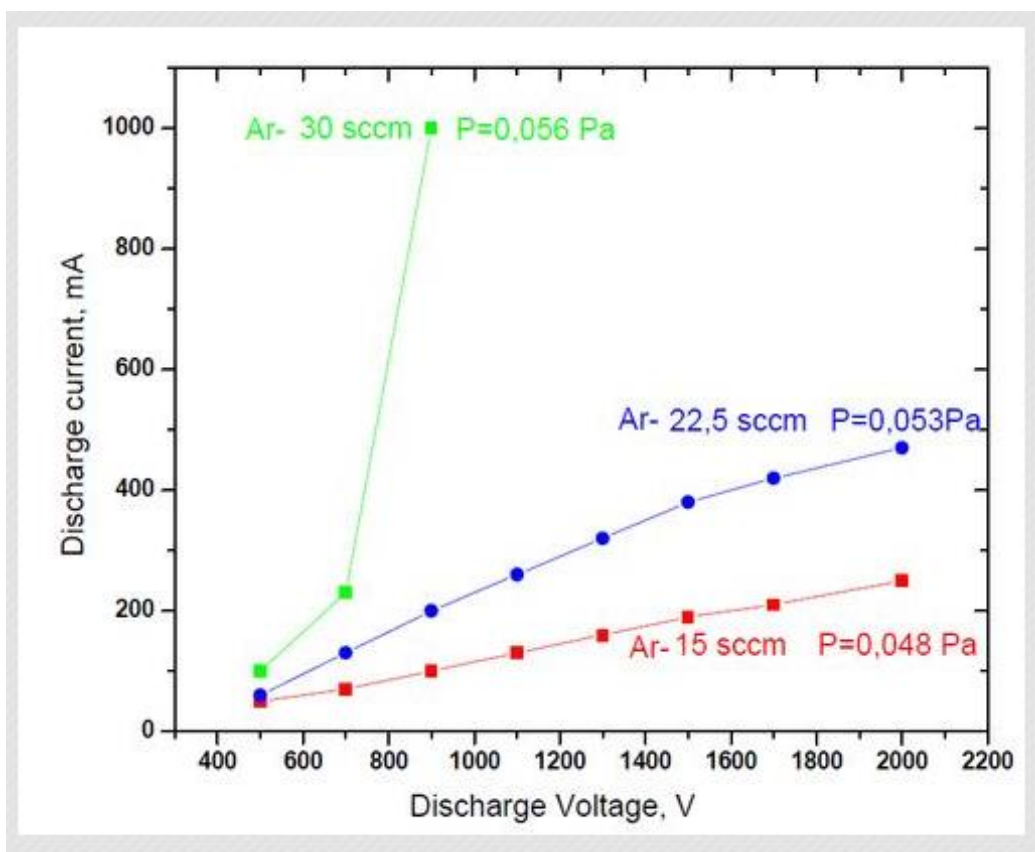


Рисунок 11. Вольтамперные характеристики ионного источника длиной 500мм

2.3 Измерение коэффициента пропускания

Для измерения спектра пропускания в диапазоне 300-1100 нм использовался спектрофотометр СФ-2000 рис 12.



Рисунок 12. Спектрофотометр СФ-2000

Спектрофотометр СФ-2000 предназначен для определения спектров пропускания, отражения, оптической плотности твердых материалов и жидкости в диапазоне длин волн 190-1100 нм. Оптическая схема – однолучевая,

фиксированная. Конструкция прибора такова, что УФ- и видимый каналы работают совершенно отдельно, что исключает их взаимное влияние. Все элементы, влияющие на фокусировку, выделение спектрального интервала и детектирование индивидуально оптимизированы для каждого из каналов. В спектрофотометре используются высококлассные оптические элементы с кварцевым покрытием для получения качественных характеристик пропускания с минимальным светорассеянием.

Основным показателем прибора является коэффициент пропускания:

$$T = \frac{I}{I_0}, \quad (5)$$

где I – прошедший через образец световой поток, I_0 – упавший на образец световой поток

В качестве источников УФ-излучения используются качественные дейтериевые лампы Hamamatsu, а в канале видимого света - галогеновые лампы Philips, имеющие превосходные характеристики свечения и надежности. Детекторами излучения служат ПЗС-линейки с высокими параметрами по чувствительности и разрешению. Маленькая спектральная ширина щели 1 нм позволяет фиксировать практически любой спектр без искажений. Высокоскоростной интерфейс связи с компьютером (USB) обеспечивает быстрый двунаправленный обмен данными с компьютером [74].

Итогом измерений является полученный спектр пропускания в диапазоне 300-1100 нм.

2.4. Измерение поверхностного сопротивления

Измерение электрических характеристик проводилось следующим образом, с помощью мультиметра и двух электродов замерялось поверхностное сопротивление образцов рис 13.

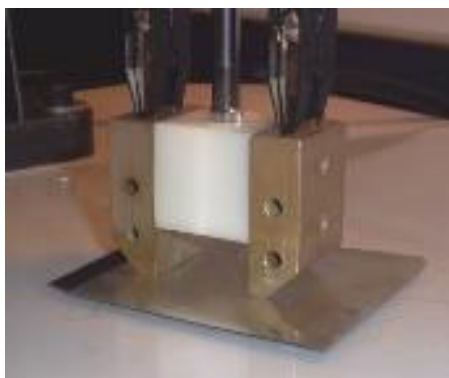


Рисунок 13. Измерение поверхностного сопротивления с помощью двух электродов [75].

Результатом измерений, с помощью прибора, является зависимость поверхностного сопротивления от времени облучения.

2.5 Исследование фазового состава образцов

Исследование фазового состава образцов осуществляют с помощью рентгенофазового анализа (РФА). В основе метода лежит получение и анализ дифракционной картины, которую получают в результате интерференции рентгеновских лучей, рассеянных на атомах облучаемого объекта [76].

Основная задача рентгенофазового анализа это определение фаз в смеси при анализе дифракционной картины исследуемого образца. Вещество определяют по набору межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям линий на рентгенограмме, которые получают при когерентном рассеянии рентгеновских лучей интерферирующих между собой, при этом дифракционной решеткой для рентгеновского излучения служит кристаллическая решетка. При этом интенсивные пики рассеяния наблюдаются тогда, как выполняется условия Вульфа - Брэгга (рис. 14):

$$2d \cdot \sin 2\theta = n\lambda, \quad (6)$$

где d – расстояние между соседними кристаллографическими плоскостями, м; θ – угол, под которым наблюдается дифракция, град.; n – порядок дифракции; λ – длина волны монохроматических рентгеновских лучей, падающих на кристалл, м.

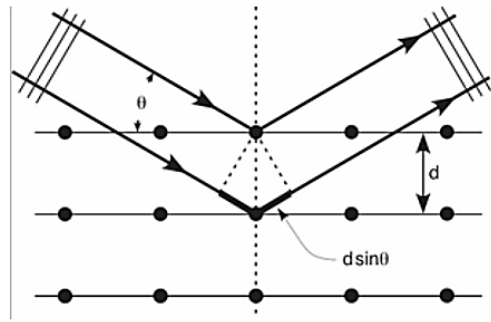


Рисунок 14. Схема падения θ и отражения рентгеновского луча.

Каждая фаза обладает своей кристаллической решеткой и характеризуется только ей присущим набором межплоскостных расстояний d_{hkl} , которые определяются по формуле (6).

Для выполнения качественного и количественного фазового анализа используется современная рентгеновская аппаратура – рентгеновские дифрактометры, что позволяет проводить анализ быстро и с большой точностью.

Схема дифрактометра изображена на рис.15 [77].

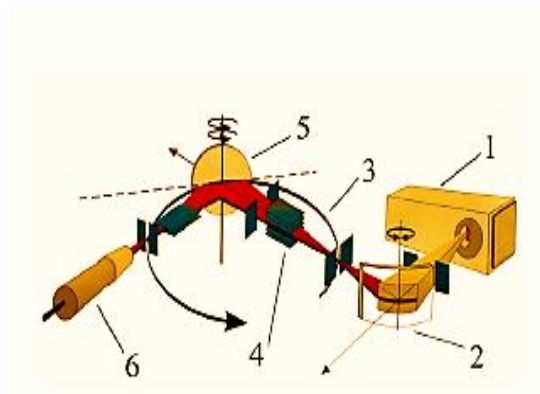


Рисунок 15. Принципиальная схема дифрактометра:

1 – рентгеновская трубка, 2 – монохроматор, 3 – гониометр, 4 – щели Соллера, 5 – образец, 6 – детектор.

К основным компонентам дифрактометра относятся рентгеновская трубка и детектор, размещенный на подвижном устройстве (гонометр). Это представляет собой систему точной установки и определения угла излучения по отношению к поверхности образца. Одно из плеч гониометра задает угол облучения образца рентгеновской трубкой, другое определяет угол брэгговского отражения излучения от образца (детектируемый сигнал). Детектор

регистрирует интенсивность рентгеновского излучения. Щели Соллера используются для ограничения вертикальной и горизонтальной расходимости излучения. Остальные части оптической схемы дифрактометра оптимизируют излучения для решения тех или иных задач дифрактометрических исследований.

3 Изменение оптических и электрических характеристик пленок оксида олова под действием пучка ионов аргона

3.1 Схема эксперимента

Подложки из стекла ГОСТ 9284-75 предварительно обрабатывались изопропиловым спиртом для удаления загрязнений. После образец размещался на каретке в рабочей камере.

Затем была произведена откачка рабочей камеры до давления 0,004 Па, после чего осуществлялся напуск рабочего газа Ar и O₂ (O₂ – 60%, Ar – 40%). Рабочее давление составляло 0,3 Па. Затем инициировался разряд при рабочем напряжении магнетрона 275 В и производилось напыление до необходимой толщины. После этого были измерены значения электрических и оптических характеристик плёнок оксида олова.

После образец вновь помещался на каретку в рабочей камере и производилась откачка до рабочего давления 0,004 Па, после чего производился напуск рабочего газа Ar. Рабочее давление составляло 0,166 Па.

Плётки оксида олова подвергались облучению ионами аргона при различных временах. Пучок ионов располагался под углом 90° к поверхности подложки. Ионы генерировались источником ионов с замкнутым дрейфом электронов при напряжении до 2800 В и токе разряда до 0,28 А, плотность тока на поверхности образцов составляла $2,4 \cdot 10^{-3}$ А/см². После этого были измерены значения электрических и оптических характеристик плёнок оксида олова.

3.2. Исследование коэффициентов пропускания от времени облучения пучком ионов Ar

Все полученные плёнки оксида олово являлись прозрачными диэлектриками. Это связано с тем, что осаждение реактивным магнетронным распылением осуществлялось в атмосфере с избытком кислорода. Таких условий было достаточно для того чтобы весь металл успевал окислиться и все вакансии кислорода которые создают проводимость оказывались занятыми. В результате плёнка оксида олово осаждалась в виде диэлектрика.

После осаждения образец подвергся облучению ионами аргона. По методике, указанной в пункте 2.3 были измерены коэффициенты пропускания пленок оксида олова после облучения ионами Ar. Результаты измерений представлены на рис. 16.

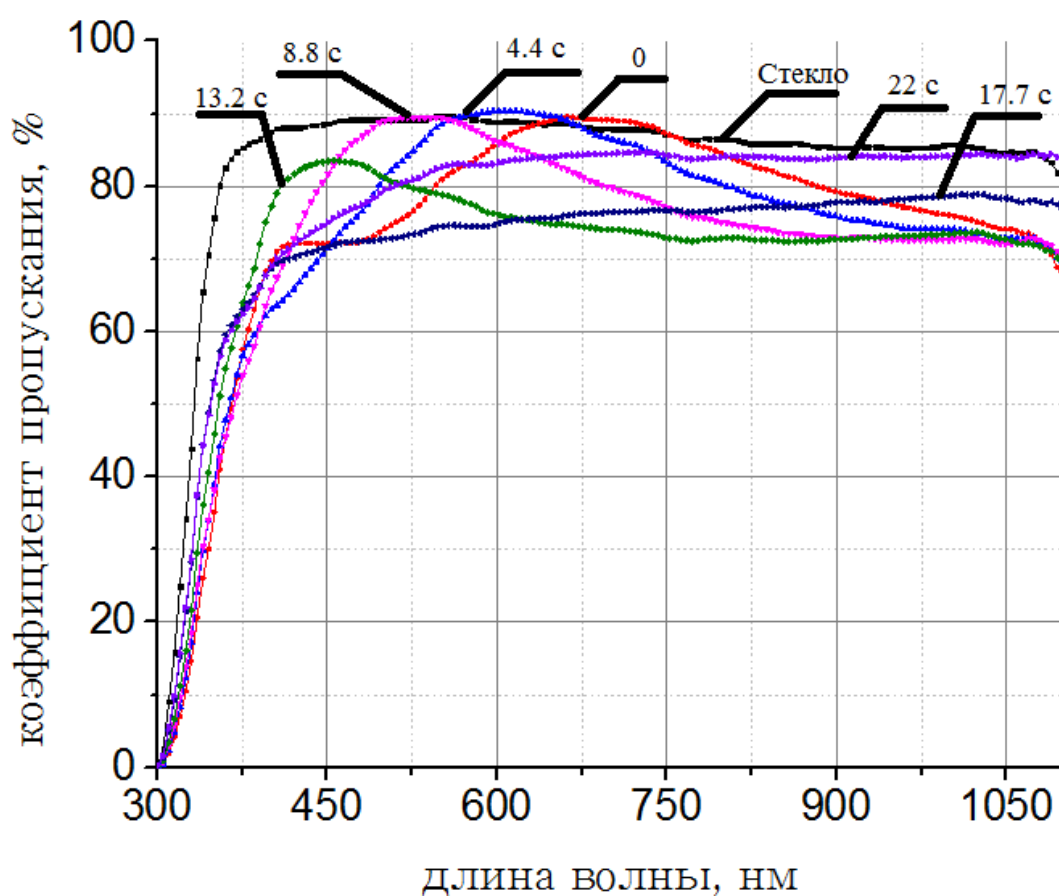


Рисунок 16. Зависимость коэффициентов пропускания от времени облучения

Как видно из рис. 16 при временах воздействия до 13,2 сек. зависимости $T(\lambda)$ имеют один схожий качественный характер. Для этих времен характерно наличие области максимума пропускания. В этом диапазоне наблюдается сдвиг главных максимумов пропускания в коротковолновую область. При этом величина максимумов пропускания с ростом времени облучения сначала слабо уменьшается, но с увеличением времени происходит более существенное ее уменьшение. Это на наш взгляд обусловлено с постепенным увеличением содержания микрочастиц металлического олова, которые образуются в результате диссоциации части SnO_2 под действием ионов Ar и соответственно изменением стехиометрии. Хотя линий металлической фазы Sn на дифрактограммах не наблюдалось. Это вероятно связано с тем, что сегрегация металлического олова в плёнке приводит к образованию частиц олова, размеры которых являются недостаточными для формирования кристаллических зерен Sn и соответствующих линий на рентгенограммах. Подобные явления наблюдались в работах [60], [61] и [78].

При дальнейшем воздействии ионов на плёнку (более 13,2 сек.) зависимость $T(\lambda)$ имеет иной характер – достаточно монотонный рост пропускания без осцилляций. При этом пропускание улучшается с увеличением времени облучения. Наблюдаемый вид зависимости $T(\lambda)$ связан образованием металлического Sn в приповерхностном слое плёнки. Косвенным подтверждением является то, что плёнка остается прозрачной, но появляется легкий серый оттенок. Прозрачность плёнки в видимом диапазоне при этом меньше прозрачности стекла. При дальнейшем облучении прозрачность плёнки возрастает. Это происходит в результате распыления металлического Sn.

Для полученных образцов были построены зависимости среднего коэффициента пропускания от времени облучения ионами аргона, рис.17.

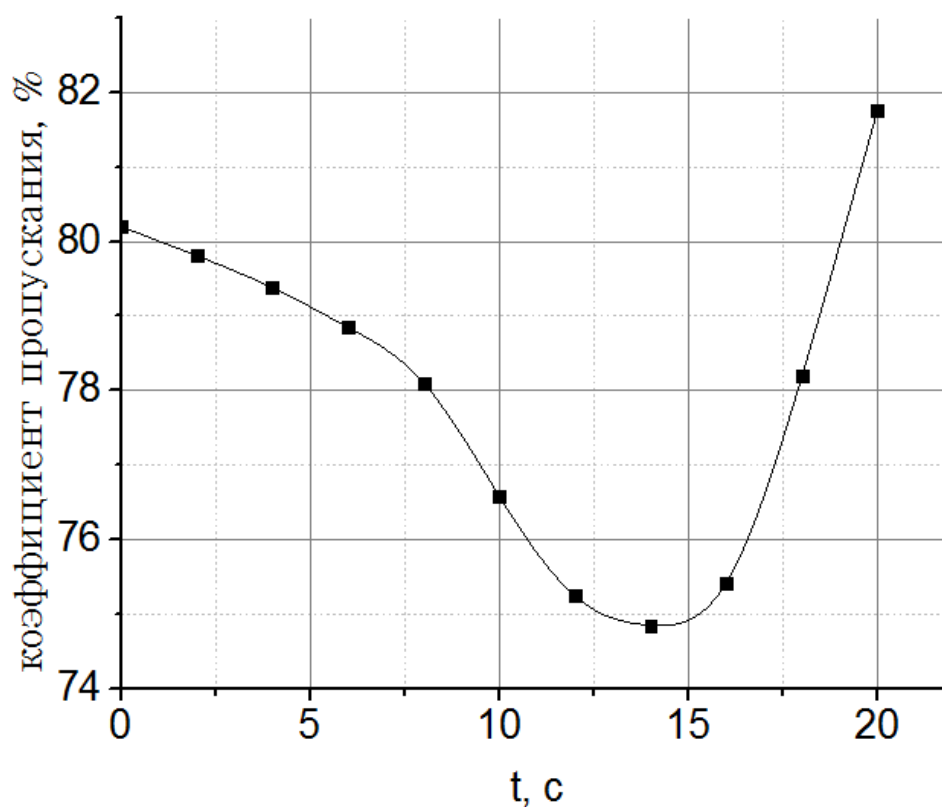


Рисунок 17. Зависимость среднего значения пропуска от времени облучения ионами Ar.

Как видно из рис. 18 пропускание с увеличением времени воздействия ионов сначала уменьшается, а затем увеличивается. Минимум пропуска наблюдается при (времени воздействия пучка ~ 13,2 сек).

3.3 Исследование изменения поверхностного сопротивления от времени облучения ионами Ar

Измерения поверхностного сопротивления образцов проводились по методике, описанной в п. 2.4.

На рис. 18 представлена зависимость поверхностного сопротивления от времени облучения ионами Ar.

Поверхностное сопротивление пленок определяться следующими факторами, подробно описанными в пункте 2.4.

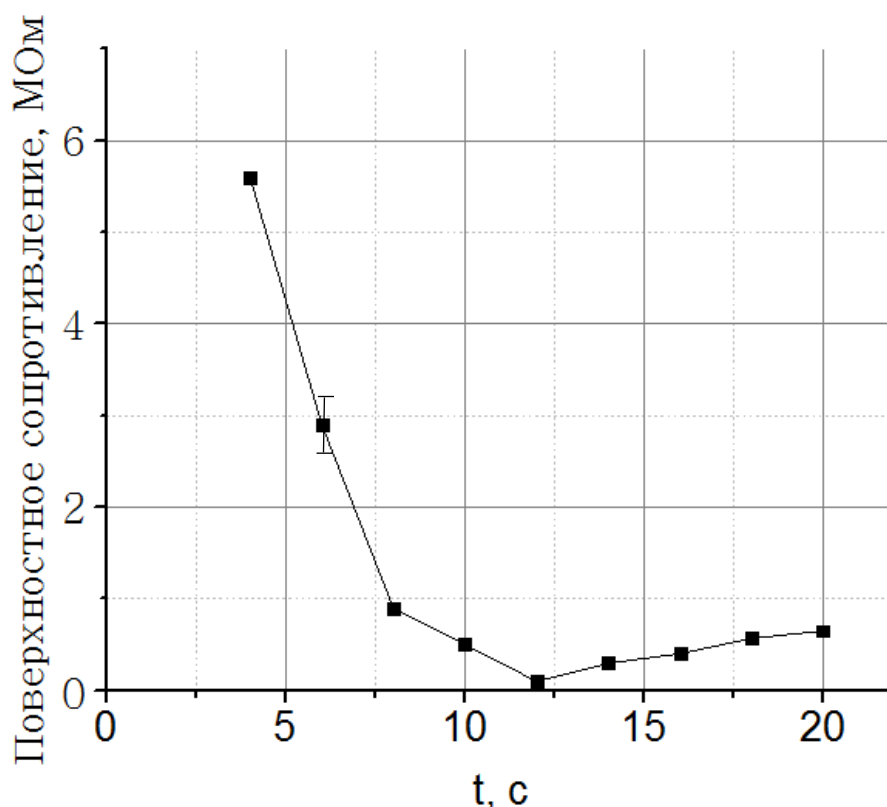


Рисунок 18. Зависимость поверхностного сопротивления от времени облучения ионами Ar

Из рис.18 видно, что диэлектрическая плёнка оксида олова с увеличением времени облучения становится проводящей. Электропроводность прозрачных проводящих оксидов обусловлена их отклонением от стехиометрии. Электроны проводимости в таких плёнках доставляются из донорных состояний, связанных с кислородными вакансиями или избытком ионов металла.

Это обусловлено тем, что осаждение плёнок оксида олова производилось в среде с избытком кислорода (60% - O₂, 40% - Ar). Поскольку осаждение проводилось при избыточном содержании кислорода, плёнки осаждались в стехиометрической форме SnO₂ являющейся хорошим изолятором.

В процессе облучения ионами Ar происходит взаимодействие с поверхностью плёнки и передачей энергии атомам в кристаллические решетки. В результате этого протекают физико-химические процессы, приводящие к разрыву и воссозданию химических связей, что вызывает десорбцию

(происходит выбивание атомов кислорода и появления вакансий) или химическую реакцию, изменяющую структуру покрытия.

Увеличение концентрации электронов связано как с разрывом химической связи Sn-O и десорбцией кислорода, что приводит к образованию нестехиометрического оксида олова. Таким образом, облучение плёнки приводит к увеличению числа кислородных вакансий, что в свою очередь приводит к уменьшению электрического сопротивления плёнок. Однако дальнейшее увеличение времени облучения приводит к возрастанию сопротивления плёнки. Это связано с образованием собственных точечных дефектов Sn. Поскольку точечные дефекты взаимодействуют со всеми электронами проводимости, то электроны, расположенные вблизи дефектов, оказываются «связанными» и не принимают участия в проводимости. В результате чего сопротивление плёнки увеличивается.

3.4 Исследование фазового состава SnO₂

Исследование фазового состава образцов производилось по методике, описанной в п. 2.5.

Результаты рентгенодифракционного анализа представлена на рисунок 19.

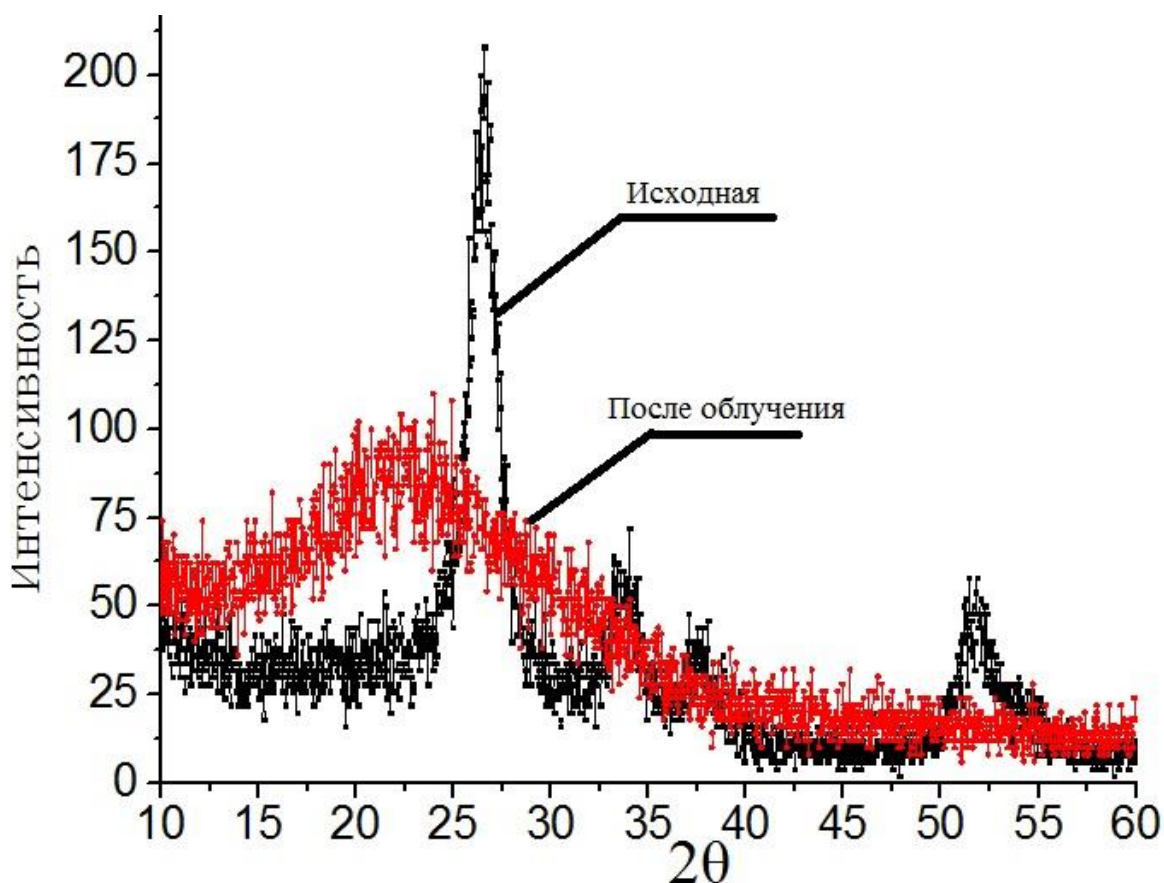


Рисунок 19. Дифрактограмма плёнок оксида олова

На рис.19 показаны дифрактограммы плёнок оксида олова до и после облучения ионами Ar. Как видно из рисунка плёнки оксида олова после магнетронного осаждения имеют кристаллическую структуру с долей аморфной (квазикристаллической) фазы. Анализ XRD данных показал, что осажденные плёнки состоят из чистого SnO₂ тетрагональной структуры без присутствия других фаз – SnO и Sn. Размер кристаллитов осажденных плёнок составляет ~ 10 нм и определялся на основе дифрактометрических измерений. После облучения структура становится квазикристаллической (аморфной).

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований[79].

Необходимо понимать, что коммерческая привлекательность научного исследования определяется не только превышением технических параметров над предыдущими разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сумеет найти ответы на такие вопросы – будет ли продукт востребован рынком, какова будет его цена, каков бюджет научного проекта, какой срок потребуется для выхода на рынок и т.д. [79].

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;

– оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;

– определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе проведено исследование изменения свойств тонких плёнок в результате воздействия ионного источника.

4.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования являются тонкие плёнки с регулируемыми параметрами сопротивления и коэффициентов пропускания.

Целевым рынком данного исследования будут являться микроэлектронные предприятия, космическая промышленность и смежные научные отрасли.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результаты сегментирования представлены на рисунке 20.

		Расчетная оценка дозовых характеристик в системе хранения ОЯТ	
		Микроэлектронная промышленность	Научная отрасль
Потребность	Сильная		
	Слабая		

Рисунок 20. Карта сегментирования рынка услуг по использованию проведенных расчетов

4.1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценивать сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Оценочная карта анализа представлена в таблице 2. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (7)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;
 B_i – вес показателя (в долях единицы);
 B_i – балл i -го показателя.

Таблица 2 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_{ϕ}	B_{k1}	B_{k2}	K_{ϕ}	K_{k1}	K_{k2}
	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Помехоустойчивость	0,1	5	4	3	0,5	0,4	0,3
2. Экологичность	0,18	5	3	3	0,9	0,54	0,54
3. Надежность	0,05	5	4	3	0,25	0,2	0,15
4. Простота эксплуатации	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
5. Экономичность	0,09	5	3	3	0,45	0,27	0,27
Экономические критерии оценки эффективности							

1.Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
2.Уровень проникновения на рынок	0,07	4	5	5	0,28	0,35	0,35
3. Цена	0,07	5	4	4	0,35	0,28	0,28
4.Предполагаемый срок эксплуатации	0,08	5	5	5	0,4	0,4	0,4
5. Послепродажное обслуживание	0,06	5	3	2	0,3	0,18	0,12
6.Финансирование научной разработки	0,03	4	5	4	0,12	0,15	0,12
7. Срок выхода на рынок	0,04	5	4	4	0,2	1,16	0,16
8.Наличие сертификации разработки	0,06	4	5	4	0,24	0,3	0,24
Итого	1	62	52	46	4,84	3,81	3,44

На основании представленного выше анализа можно сделать вывод, что использованный в данной магистерской диссертации метод по изменению характеристик тонких плёнок является наиболее оптимальным для использования в практических целях. Конкурентные методы создания тонких плёнок с помощью химических и катодных систем осаждения являются экономически невыгодными и не могут учитывать всех факторов таких как изменение свойств с помощью ионного источника.

4.2. SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или

возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3 – Матрица SWOT

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. Экологичность технологии</p> <p>С3. Квалифицированный персонал</p> <p>С4. Маленький срок готовых результатов при проведении научного исследования</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки</p> <p>Сл2. Недостаток финансовых средств</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В3. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ</p>		
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Отсутствие спроса на новые технологии производства</p> <p>У2. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У3. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением</p>		

После того как сформулированы четыре области SWOT переходим к реализации второго этапа.

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.

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями

взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильных сторон возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Пример интерактивной матрицы проекта представлен в табл. 4.

Таблица 4 - Интерактивная матрица проекта

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	-
	B2	+	-	0
	B3	+	0	-

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3
	B1	0	+	-
	B2	0	-	0
	B3	+	+	0

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

Слабые стороны проекта				
Угрозы проекта		Сл.1	Сл.2	Сл.3
	У1	+	-	-
	У2	0	-	-
	У3	0	-	0

Анализ интерактивных таблиц представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей, или слабых сторон и возможностей и т.д. следующего вида: B1C2C5; B2C3C4; B3C1C3. Каждая из записей представляет собой направление реализации проекта.

В рамках третьего этапа должна быть составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в магистерской диссертации (таблица 5).

Таблица 5 - Итоговая матрица SWOT – анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Заявленная экономичность и энергоэффективность технологии С2. Экологичность технологии С3. Квалифицированный персонал С4. Маленький срок готовых результатов при проведении научного исследования С5. Отсутствие прототипа научной разработки</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Недостаток финансовых средств Сл2. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности: В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт В2. Повышение стоимости конкурентных разработок В3. Использование научно-исследовательские достижения ТПУ В4. Отсутствие прототипа научной разработки дает возможность на появление дополнительного спроса на новый продукт.</p>	<p>1. Получить результаты НТИ 2. Продвинуть НТИ на рынок</p>	<p>1. разработать календарный план 2. создать команду единомышленников 3. обеспечить финансовую среду 4. Привлечь базу научно-исследовательских достижений ТПУ, что в свою очередь дает возможность дополнительного финансирования.</p>
<p>Угрозы: У1. Отсутствие спроса на нти У2. Развитая конкуренция технологий производства У3. У руководства НИР проблемы с материально-техническим обеспечением</p>	<p>1. создать спрос на НТИ 2. создать календарный план НТИ 3. Устранить проблемы с материально техническим обеспечением 4. Найти инвесторов 5. Подготовить презентацию НТИ, провести рекламный</p>	<p>Недостаток финансовых средств приводит к отсутствию спроса на новые технологии производства.</p>

4.3. 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 таблице 6.

Таблица 6. 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	5	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	5	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	5	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	1	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	3
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	1	1
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	47	36

Итого получилось суммарное количество баллов по каждому направлению: 47 баллов – по степени проработанности научного проекта; 36 балла – по уровню, имеющихся знаний у разработчика. Согласно этим баллам, можно сказать, что перспективность данной разработки выше среднего.

4.4. Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (а это, как правило, владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности), преследует вполне определенную цель, которая во многом зависит от того, куда в последующем он намерен направить (использовать, вложить) полученный коммерческий эффект. Это может быть получение средств для продолжения своих научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и т.д.), одноразовое получение финансовых ресурсов для каких-либо целей или для накопления, обеспечение постоянного притока финансовых средств, а также их различные сочетания.

При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности. Для того чтобы это сделать необходимо ориентироваться в возможных вариантах.

Выделяют следующие методы коммерциализации научных разработок.

1. *Торговля патентными лицензиями*, т.е. передача третьим лицам права использования объектов интеллектуальной собственности на лицензионной основе. При этом в патентном законодательстве выделяющие виды лицензий: исключительные (простые), исключительные, полные лицензии, сублицензии, опционы.

2. *Передача ноу-хау*, т.е. предоставление владельцем ноу-хау возможности его использовать другим лицом, осуществляемое путем раскрытия ноу-хау.

3. *Инжиниринг* как самостоятельный вид коммерческих операций предполагает предоставление на основе договора инжиниринга одной стороной, именуемой консультантом, другой стороне, именуемой заказчиком, комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, строительством и вводом объекта в эксплуатацию, с разработкой новых технологических процессов на предприятии заказчика, усовершенствованием имеющихся производственных процессов вплоть до внедрения изделия в производство и даже сбыта продукции.

4. *Франчайзинг*, т.е. передача или переуступка (на коммерческих условиях) разрешения продавать чьи-либо товары или оказывать услуги в некоторых областях.

5. *Организация собственного предприятия.*

6. *Передача интеллектуальной собственности* в уставной капитал предприятия.

7. *Организация совместного предприятия*, т.е. объединение двух и более лиц для организации предприятия.

8. *Организация совместных предприятий*, работающих по схеме «российское производство – зарубежное распространение».

Перспективность данного научного исследования выше среднего, поэтому не все аспекты рассмотрены и изучены. Таким образом, для организации предприятия этого не достаточно (пункт 4 – 8 не подходят). Но так как основной научно-технический задел определен, этого достаточно для коммерциализации для следующих методов (пункты 1 - 3): Торговля патентной лицензией; передача ноу-хау и инжиниринг. Степени проработанности научного проекта и уровень знаний разработчика достаточно для реализации пунктов, которые были выбраны.

4.5 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. 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. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

Устав научного проекта магистерской работы должен иметь следующую структуру:

1. Цели и результат проекта. В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представить в табл. 7.

Таблица 7. Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
НИТПУ «Лаборатория №23»	Оптимизация/усовершенствование существующей технологии.

Таблица 8. Цели и результаты проекта.

Цели проекта:	Исследование влияния внешних источников заряженных частиц (ионов Ag) на оптические и электрические свойства
---------------	---

	тонких плёнок оксида олова в магнетронно распылительной системе в процессе осаждения и после него.
Ожидаемые результаты проекта:	Данное исследование поможет заменить ИТО плёнки на более экономичные и более доступные, так же благодаря исследованию в изменении свойств плёнок ионным источником можно будет создавать плёнки оксида олова с определённым набором оптических и электрических параметров для производства плоских дисплеев, прозрачных электродов, катализаторов и детекторов и т.д.
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность результатов
Требования к результату проекта:	Получение плёнок с нужными электрофизическими и оптическими свойствами

2. Организационная структура проекта. На данном этапе работы необходимо решить следующие вопросы: кто будет входить в рабочую группу данного проекта, определить роль каждого участника в данном проекте, а также прописать функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информацию представить в табличной форме (таблица 9).

Таблица 9. Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо-затраты, час.
1	Умнов С.П. Старший сотрудник лаборатории 23	Руководитель	Координирует деятельность участников проекта	6
2	Теменков В.С. Магистр	Исполнитель	Выполнение НИР	6
3	Зяблова Н.Н. Старший преподаватель ТПУ	Эксперт проекта	Консультирование	2
4	Гоголева Т.С. кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры прикладной физики № 12 ФТИ ТПУ	Эксперт проекта	Консультирование	2
5	Рыжакина Т.Г. Кандидат экономических наук, доцент ТПУ	Эксперт проекта	Консультирование	2
ИТОГО:				

4.6 Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 10. Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	150 тыс. рублей
3.1.1. Источник финансирования	НИТПУ
3.2. Сроки проекта:	10.01.2017-31.05.2017
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	10.01.2017
3.2.2. Дата завершения проекта	31.05.2017

4.7 Планирование управления научно-техническим проектом

4.7.1 Иерархическая структура работ проекта

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя следующие элементы:

- иерархическая структура работ проекта;
- контрольные события проекта;
- план проекта;
- бюджет научного исследования.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. На рис. 21 представлен шаблон иерархической структуры.



Рисунок 21. Иерархическая структура по ВКР

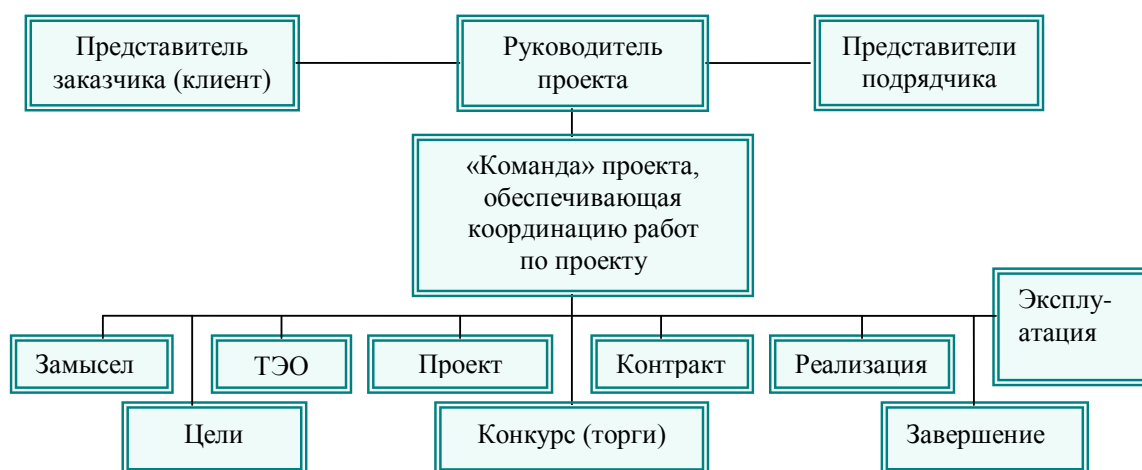


Рисунок 22. Проектной структуры проекта

Будем использовать проектную структуру проекта, так как она подходит больше, потому что технология является новая и не исследуемой ранее, сложность проекта высока.

4.7.2 Контрольные события проекта

В рамках данного раздела необходимо определить ключевые события проекта, определить их даты и результаты, которые должны быть получены по состоянию на эти даты. Эту информацию необходимо свести в таблицу (таблица 11).

Таблица 11. Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка ТЗ на ВКР	17.03.2014	Приказ о ВКР
1.1	Составление и утверждение технического задания	27.03.2014	Техническое задание
2	Выбор направления исследования и способов решения задач	31.03.2014-03.04.2014	Методы решения задач
2.1	Сбор и изучение научно-технической литературы	04.04.2014-21.04.2014	Список литературы
2.2	Моделирование технологического процесса на компьютере	24.04.2014-8.05.2014	Графики
3	Разработка методики экспериментальных исследований	12.05.2014-14.05.2014	Методика
3.1	Проведение экспериментальных Исследований	15.05.2014-20.05.2014	Отчет
3.2	Анализ и обработка полученных результатов	21.05.2014-23.05.2014	Графики
4	Обобщение и оценка результатов	24.05.2014	Расчеты и графики
4.2	Оформление пояснительной записки	25.05.2014-02.06.2014	Пояснительная записка
4.3	Подготовка к защите ВКР	02.06.2014-15.06.2014	Презентация

4.7.3 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (таблица 12).

Таблица 12. Календарный план проекта

Код работ-ты	Название	Длительность, дни	Дата начало работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка ТЗ на ВКР	2	17.03.2014	18.03.2014	Умнов С.П.
1.1	Составление и утверждение технического задания	2	19.03.2014	20.03.2014	Умнов С.П.
2	Выбор направления исследования и способов решения задач	5	21.03.2014	26.03.2014	Умнов С.П., Теменков В.С.
2.1	Сбор и изучение научно-технической литературы	15	27.03.2014	12.04.2014	Теменков В.С.
2.2	Моделирование технологического процесса на компьютере	12	14.04.2014	26.04.2014	Теменков В.С.
3	Разработка методики экспериментальных исследований	3	28.04.2014	30.04.2014	Умнов С.П., Теменков В.С.
3.1	Проведение экспериментальных исследований	12	2.05.2014	16.05.2014	Умнов С.П., Теменков В.С.
3.2	Анализ и обработка полученных результатов	4	17.05.2014	21.05.2014	Теменков В.С.
4	Обобщение и оценка результатов	3	22.05.2014	24.05.2014	Умнов С.П., Теменков В.С.
4.2	Оформление пояснительной записки	6	26.05.2014	31.05.2014	Теменков В.С.
4.3	Подготовка к защите ВКР	12	02.06.2014	15.06.2014	Теменков В.С.
Итого:		76			

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 13 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 13. Календарный план-график проведения ВКР

Код работ	Вид работ	Исполнители	Тк, кал, дн.	Продолжительность выполнения работ										
				март			апрель			май			июнь	
				3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Разработка ТЗ на ВКР	Руководитель	2	■										
1.1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	2	■										
2	Выбор направления исследования и способов решения задач	Руководитель, дипломник	5	■										
2.1	Сбор и изучение научно-технической литературы	Дипломник	15		■	■								
2.2	Моделирование технологического процесса на компьютере	Дипломник	12				■	■						
3	Разработка методики экспериментальных исследований	Руководитель, дипломник	3						■	■				
3.1	Проведение экспериментальных исследований	Руководитель, дипломник	12						■	■				
3.2	Анализ и обработка полученных результатов	Дипломник	4								■			
4	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, дипломник	3									■	■	
4.2	Оформление пояснительной записки	Дипломник	6										■	■
4.3	Подготовка к защите ВКР	Дипломник	12											■

■ руководитель ■ дипломник

4.7.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением [24]. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

Расчёт материальных затрат

Этот пункт включает в себя стоимость всех материалов, необходимых для выполнения НИР.

К категории материалов относят:

- 1) сырьё, основные и вспомогательные материалы;
- 2) покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- 3) электроэнергия и вода на технологические цели.

Все материалы: ВЧ-генератор, масла и реагенты являются собственностью кафедры Технической физики, поэтому в расчет показателей затрат не берутся.

Эксперименты проводились 9 дней по 2 часа (18 часов), мощность установки 100 КВт/час и расход охлаждающей воды (не менее) 1,8 м³/час

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{эл}} = C_{\text{эл}} \times P \times F_{\text{об}}, \quad (8)$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (2,5 руб за 1 кВт-ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{\text{эл}} = 2,5 \times 100 \times 18 = 4500 \text{ руб.}$$

Затраты на водоснабжение рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{вд}} = C_{\text{вд}} \times Q \times F_{\text{об}}, \quad (9)$$

где $C_{\text{вд}}$ – тариф на промышленное водоснабжение (8 руб за 1 м³);

Q – расход воды, м³;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

$$C_{\text{вд}} = 8 \times 1,8 \times 18 = 259,2 \text{ руб.}$$

Материальные затраты находятся по формуле:

$$C_{\text{м}} = C_{\text{эл}} + C_{\text{вд}}, \quad (10)$$

$$C_{\text{м}} = 4500 + 259,2 = 4759,2 \text{ руб.}$$

Материальные затраты	Сумма, руб
Затраты на электроэнергию	4500
Затраты на водоснабжение	259,2
Итого	4759,2

Основная заработная плата

В настоящую статью включена основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, 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 14.

Таблица 14. Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Зарботная плата, приходящаяся на один чел.-дн., тыс.руб.	Всего зарботная плата по тарифу (окладам), тыс. руб.
1		Руководитель	1	23264	23264
2		Магистр	1	2650	2650
Итого:				25914	25914

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (11)$$

где $Z_{осн}$ – основная зарботная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная зарботная плата.

Основная зарботная плата $Z_{осн}$ руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб} \quad (12)$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 14);

$Z_{дн}$ – среднедневная зарботная плата работника, руб.

Значит, для руководителя:

$$Z_{осн} = 23264 * 1,3 = 30243,2 \text{ рублей}$$

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = (Z_m \cdot M) / F_d \quad (13)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2100руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл.14). Тогда,

Для руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{30243,2 * 10,4}{254} = 1238,3 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

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

Баланс рабочего времени представлен в таблице 15.

Таблица 15. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Дипломник
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

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} * k_{\text{р}} \quad (14)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3.

Заработная плата профессора, доктора наук составляет 31434 руб., согласно «Положению об оплате труда» ТПУ.

Для руководителя: $Z_{\text{м}} = 23264 * 1,3 = 30243,2$ руб.

Результаты расчета основной заработной платы представлены в таблице 16.

Таблица 16. Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{б}}$,руб.	$k_{\text{р}}$	$Z_{\text{м}}$,руб	$Z_{\text{дн}}$,руб.	$T_{\text{раб.раб. дн.}}$	$Z_{\text{осн}}$,руб.
Руководитель	23264	1,3	30243,2	1238,3	48	30243,2
Дипломник	2650		2650	127	76	2650
Итого $Z_{\text{осн}}$						32893,2

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:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} Z_{\text{осн}} \quad (15)$$

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

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

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

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 30243,2 * 0,1 = 3024,32 \text{ рублей}$$

В таблице 17 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 17. Заработная плата исполнителей ВКР

Заработная плата	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	30243,2	2650
Дополнительная зарплата	3024,3	–
Зарплата исполнителя	33267,5	2650
Итого по статье $C_{\text{зн}}$	35917,5	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (30243,2 + 3024,3) = 9980,25 \text{ руб.} \quad (16)$$

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

Научные и производственные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов научного и производственного персонала. Для данной работы, затраты по этой статье нулевые.

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

На эту статью относится стоимость контрагентных работ, т.е. работ, выполненных сторонними организациями и предприятиями по заказу данной научно-технической организации, результаты которых используются в конкретном НИИ. Затраты равны нулю, т.к. все работы осуществляются своими силами.

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 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \quad (17)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (30243,2 + 3024,3) = 9980,25 \text{ руб.}$$

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В ходе выполнения НИИ никакое дополнительное оборудование не приобреталось. Все использованное оборудование являлось собственностью кафедры. Таким образом затраты на оборудование не учитываем.

4.7.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 18 – Бюджет затрат НТИ

Затраты по статьям						
Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
4759,2	0	32893,2	35917,5	9980,25	9980,25	93530,4
10000	23500	50000	5000	16500	16500	121500

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит 95530,4 руб. При этом затраты у конкурентов составляют 121500 рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

4.8. Организационная структура проекта

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

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 19.

Таблица 19. 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

4.9 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 20.

Таблица 20. Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				

Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Расчет радиационных характеристик ОЯТ в ORIGEN-ARP					И
Расчет 3D модели ТУК в MCU					И
Расчет спектральных и интегральных характеристик поля нейтронного излучения в ТУК	О				И
Анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

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

Эффективность научного ресурсосберегающего проекта включает в себя социальную эффективность, экономическую и бюджетную эффективность. Показатели общественной эффективности учитывают

социально-экономические последствия осуществления инвестиционного проекта как для общества в целом, в том числе непосредственные результаты и затраты проекта, так и затраты и результаты в смежных секторах экономики, экологические, социальные и иные внеэкономические эффекты.

Показатели экономической эффективности проекта учитывают финансовые последствия его осуществления для предприятия, реализующего данный проект. В этом случае показатели эффективности проекта в целом характеризуют с экономической точки зрения технические, технологические и организационные проектные решения.

Бюджетная эффективность характеризуется участием государства в проекте с точки зрения расходов и доходов бюджетов всех уровней.

Кроме выше перечисленных видов эффективности можно выделить ресурсный эффект (характеризуется показателями, отражающими влияние инновации на объем производства и потребления того или иного вида ресурса), научно-технический (оценивается показателями новизны и полезности) и др.

4.10.1 Динамические методы экономической оценки инвестиций

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DPP**);
- 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.

4.10.2. 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

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0, \quad (18)$$

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

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$); 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 21. Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб	0	112,2	112,2	112,2	112,2
2.	Итого приток	0	112,2	112,2	112,2	112,2
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-93.5	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб	0	23,3	23,3	23,3	23,3

	С+Ам+ФОТ					
4. 1	Налогооб прибыль=1-4		88,9	88,9	88,9	88,9
5.	Налоги Выр-опер=донал.приб*20%	0	17,7	17,7	17,7	17,7
6.	Итого отток Опер.затр+налоги	-93.5	41	41	41	41
7.	Чистый денежный поток ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-93.5	71,2	71,2	71,2	71,2
8.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=0,20$)	1,0	0,833	0,694	0,578	0,482
9.	Дисконтированный чистый денежный поток ($c7*c8$)	-93.5	59,31	49,42	41,15	34,32
1 0.	То же нарастающим итогом (NPV =90,7	-93.5	-34,19	15,23	56,38	90,7

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 90700 д. ед., что позволяет судить о его эффективности.

4.10.3. 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. табл. 22).

Таблица 22. Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-93.5	59,31	49,42	41,15	34,32
2.	То же нарастающим итогом	-93.5	-34,19	15,23	56,38	90,7
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + 34,19 / 49,42 = 1,69 \text{ месяцев}$				

4.10.4. 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. Эта зависимость следует из таблицы 24 и графика, представленного на рис. 23.

Таблица 23. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

№ п/п	Наименование показателя	0	1	2	3	4	NPV
1	Чистые денежные потоки	-93.5	59,31	49,42	41,15	34,32	
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	
	$i=0,4$	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	0,390	0,244	0,095	
	$i=0,7$	1	0,588	0,335	0,203	0,070	
3	Дисконтированный денежный поток						
	$i=0,1$	-93,5	53,91279	40,82092	30,90365	23,44056	55,57792

	i=0,2	-93,5	49,40523	34,29748	23,7847	16,5422 4	30,5296 5
	i=0,4	-93,5	42,34734	25,2042	14,9786	8,9232	-2,04666
	i=0,5	-93,5	39,55977	21,94248	12,13925	6,79536	-13,0631
	i=0,6	-93,5	37,06875	19,2738	10,0406	3,2604	-23,8565
	i=0,7	-93,5	34,87428	16,5557	8,35345	2,4024	-31,3142

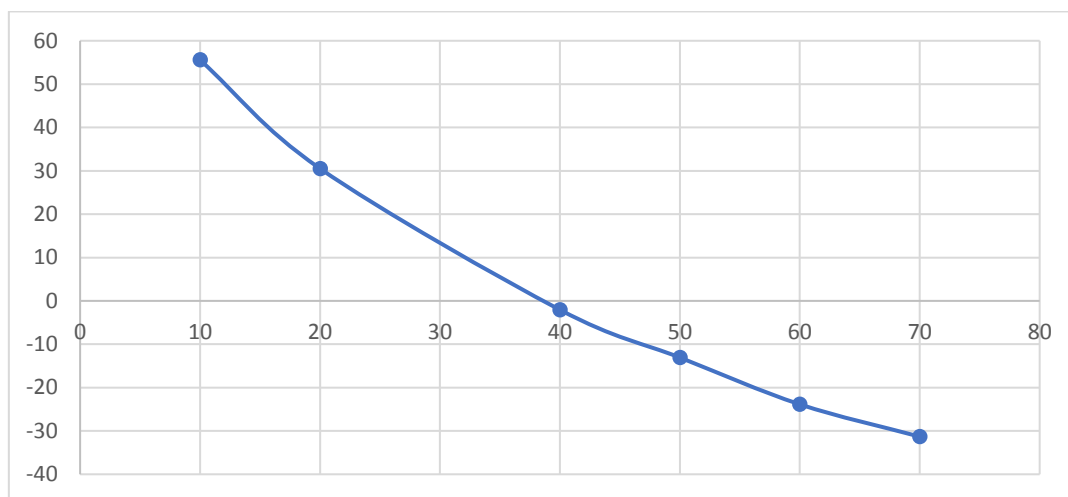


Рисунок 23. Зависимость NPV от ставки дисконтирования

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». Из графика получаем, что IRR составляет 0,39.

4.10.5 Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0, \quad (19)$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{184,19}{93,5} = 1,96$$

$PI=1,96 > 1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$; $NPV=90,7$ тыс

4.10.6 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

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 соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (20)$$

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).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{93530,4}{93530,4} = 1;$$

Для аналогов (с использованием дополнительного оборудования, которое стоит 10000 руб и 15000 руб) соответственно:

$$I_{\text{фин1}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (21)$$

$$I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{103530,4}{93530,4} = 1,09; \quad I_{\text{финал}}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{108530,4}{93530,4} = 1,13;$$

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (22)$$

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 – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 24.

Таблица 24. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО / Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,4	5	3	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	2	2
3. Помехоустойчивость	0,1	5	4	4
4. Надёжность	0,25	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	5	3,1	2,9

$$I_{\text{итп}} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,45;$$

$$\text{Аналог 2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,2.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{финр}^p$) и аналога ($I_{финаi}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p}; \quad I_{финаi}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{финаi}^{ai}}; \quad (23)$$

В результате:

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{финр}^p} = \frac{5}{1} = 5; \quad I_{фина1}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{фина1}^{a1}} = \frac{3,45}{1,09} = 3,16;$$

$$I_{фина2}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{фина2}^{a2}} = \frac{3,2}{1,13} = 2,83.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_{финаi}^{ai}} \quad (24)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 25.

Таблица 25. Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,09	1,13	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,45	3,2	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,16	2,83	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,58	1,76	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

5 Социальная ответственность

В современных условиях труда для снижения производственного травматизма и профессиональной заболеваемости важным является внедрение системы целенаправленных действий по защите и охране труда на всех стадиях производственного процесса.

В данной работе эксперимент производился на вакуумной установке, состоящей из источника электромагнитного излучения, ЭВМ, баллонов с газами аргоном и азотом, форвакуумного пластинчато-роторного и турбомолекулярного насосов, и блоков питания высокого напряжения. Следовательно, для внедрения определенных правил и мер предосторожности требуется разработать комплекс мероприятий технического, организационного, режимного и правового характера, минимизирующих негативные последствия.

5.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Согласно [80] при работе с вакуумной установкой и ПЭВМ на сотрудников могут воздействовать опасные и вредные факторы, приведенные в таблице 26.

Таблица 26. Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы.

Наименование видов работ	ФАКТОРЫ ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с ЭВМ, работа на вакуумной установке	Повышенный уровень воздействия электромагнитного излучения		СанПиН 2.2.2.542-96
		Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность

	Повышенный уровень шума		ГОСТ 12.1.029-80
		Пожаровзрывоопасность (сосуды, находящиеся под высоким давлением)	ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84) ССБТ; ПБ 10-115-96; ГОСТ 12.2.085-82

На инженера, работающего с вакуумной установкой и ПЭВМ, воздействуют следующие факторы:

1. физические: температура и влажность воздуха, шум, статическое электричество, электромагнитное излучение, освещённость;
2. психофизиологические: физические перегрузки (статические, динамические), нервно-психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

5.2 Требования безопасности при работе на ПЭВМ и вакуумной установке

5.2.1 Организационные мероприятия

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать правил техники безопасности. Обучение персонала техник безопасности и производственной санитарии состоит и вводного инструктажа, и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальная удостоверение.

К работе с вакуумной установкой и всеми узлами данной установки допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющих медицинских противопоказаний, прошедших вводный инструктаж и инструктаж по

безопасности труда на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы с данной установкой, ознакомленные с инструкцией по эксплуатации прибора имеющие не менее II группы по электробезопасности и получившие допуск к работе с газовыми баллонами, работающими под давлением.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности, правил безопасной работы с газовыми баллонами проводится с работниками не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

При введении в эксплуатацию нового оборудования сотрудники, которые будут работать на нем, должны пройти внеплановый инструктаж по правилам эксплуатации и безопасной работе на данном оборудовании.

5.2.2 Организация рабочего места при работе на ПЭВМ

Управление установкой осуществляется с помощью ЭВМ. Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рис. 24

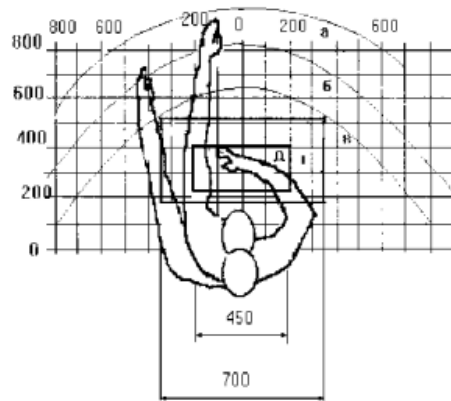


Рисунок 24. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке – зона легкой досягаемости ладони; в – оптимальное пространство для грубой ручной работы; г – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования. Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и

глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглаблённым передним краем. Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15 градусов. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветочные оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека.

5.2.3 Требования безопасности при работе на вакуумной установке

Перед началом работы на установке оператор обязан:

1. проверить у всех приборов и оборудования наличие надежного заземления;
2. проверить состояние соединительных кабелей, проводов, шлангов для подвода воды;
3. проверить наличие и состояние ограждений, предупредительных знаков и клапанов;
4. убедиться в готовности средств пожаротушения и средств оказания первой помощи.

Во время работы с установкой оператор обязан:

1. включить электропитание установки;
2. открыть воду системы охлаждения диффузионных насосов;
3. включить механический насос;
4. включить и вывести на рабочий режим диффузионные насосы;
5. произвести загрузку и откачку вакуумной камеры;
6. выполнить цикл обработки образцов.

После окончания работы оператор обязан:

1. закрыть вакуумную камеру и произвести ее откачку;
2. остудить и выключить диффузионные насосы;
3. выключить механический насос;
4. отключить электропитание установки;
5. перекрыть воду системы охлаждения.

5.3 Условия безопасной работы на вакуумной установке и ПЭВМ

Основные параметры, характеризующие условия труда это: микроклимат, шум и вибрация, излучение, освещённость.

Микроклимат помещения играет большую роль в здоровье сотрудника. При работе с установкой приходится проводить много времени в данном помещении. Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная

влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с и приведены в таблице 27.

Таблица 27. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

Период года	Температура °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23–25	40–60	0,1
Теплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция. Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемом помещении регулируются системой центрального отопления и системой кондиционирования воздуха, установленной в помещении, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20–25 °С, зимой – 20–25 °С. В помещении осуществляется естественная и механическая вентиляция. Воздух поступает и удаляется вентиляцию, окна, двери.

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим

оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне

При работе механических и электромеханических изделий часто возникают шумы и вибрации. Шумы и вибрации, возникающие при работе вакуумной установки, связаны с вращением движущихся частей форвакуумного насоса.

В соответствии с [83] допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях лабораторий с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Следовательно, средства и методы защиты от шума должны обеспечивать уровень шума на рабочем месте не выше 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно [83,84].

Снижение шума, воздействующего на человека на рабочих местах до значений, не превышающих допустимые, достигается применением средств и методов коллективной защиты, применением средств индивидуальной защиты. Работающих в шумоопасных зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумовые каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

Согласно [85] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 25 В/м;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц – 250 нТл;
- в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц – 25 нТл.

Конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

При работе с компьютером источником ионизирующего излучения является дисплей. Под влиянием ионизирующего излучения в организме может происходить нарушение нормальной свертываемости крови, увеличение хрупкости кровеносных сосудов, снижение иммунитета и др. Доза облучения при расстоянии до дисплея 20 см составляет 50 мкбэр/час. По нормам конструкция ЭВМ должна обеспечивать мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения в любой точке на расстоянии 0,05 м от экрана не более 100 мкР/час.

Дисплей ЭВМ является источником электромагнитного излучения. Так же управление установкой характеризуется монотонностью работы и умственным перенапряжением. Нервно-психические перегрузки приводят к переутомляемости, снижению внимания и могут привести к ухудшению здоровья человека. При регулярной непрерывной работе с компьютером могут возникать заболевания органов зрения, сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта.

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

5.4 Электробезопасность

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Безопасной для человека является величина переменного тока - 10 мА, постоянного - 50 мА, безопасное напряжение 12 В.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ПЭВМ или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока; продолжительности воздействия.

При работе на ПЭВМ существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Работа установки предполагает использование высокого напряжения блока питания разряда (до 1 кВ, ток до 5 А) и напряжения сети 380\220 В, которое необходимо для питания электродвигателей форвакуумных насосов, электрических измерительных систем и других элементов установки, может привести к поражению электрическим током. Источником поражения электрическим током могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, не заземленное оборудование и др. Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное

поражение тканей и органов, так и общее поражение организма [86]. Самый опасный – переменный ток частотой 50 – 60 Гц.

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками, от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты.

К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии; – изолирующие устройства и покрытия;

- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;

- устройства дистанционного управления;

- предохранительные устройства и др.

В соответствии с инструкцией [85], ПУЭ для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$;

- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В;

- ограждение электронного источника, исключаяющее возможность прикосновения к токоведущим частям;

- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;

– отключение всех источников питания установки общим рубильником.

При поражении работника электрическим током необходимо:

1. освободить пострадавшего от действия электрического тока и оценить состояние пострадавшего;

2. вызвать скорую медицинскую помощь или врача, либо принять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение;

3. если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока или продолжительное время находился под действием тока, ему до прибытия врача необходимо обеспечить полный покой и в дальнейшем медицинское наблюдение в течение 2-3 часов;

4. если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием, его следует ровно и удобно положить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой, дать понюхать нашатырный спирт. Если пострадавший плохо дышит, необходимо сделать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца;

5. при отсутствии признаков жизни (отсутствие дыхания, пульса, реакции зрачка на свет) нельзя считать пострадавшего мертвым. Ему должна быть оказана первая медицинская помощь в виде искусственного дыхания и непрямой массаж сердца. Искусственное дыхание и непрямой массаж сердца следует делать непрерывно до прибытия врача;

6. переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда ему или лицу, оказывающему помощь, продолжает угрожать опасность или когда оказание помощи на месте невозможно.

5.5 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно [87] помещение, в котором производится работа с вакуумной установкой и прочими ее узлами относится к категории «В», т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами.

Для получения экспериментальных образцов требуется газ аргон (Ar), который находится в баллонах под высоким давлением. Наполненный сжатым газом баллон обладает большой энергией, и если в нем образуется отверстие, то газ истекает из него с критической скоростью. Разрушение баллонов может явиться причиной взрыва образовавшейся в нем взрывной среды. При утечке газа из баллона возможно удушье, отравление, а также возгорание и взрыв, поэтому необходимо знать и неукоснительно соблюдать правила пользования газовыми приборами.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны в [86,87].

В целях безопасности, необходимо выполнение общих правил эксплуатации баллонов:

- баллоны должны быть установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, цепью, тросом и так далее, а также защищены от падения на них сверху каких-либо предметов;

- баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0,1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей;

- выпуск газов из баллона должен производиться через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в

соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора должна иметь манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости;

– во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

Для обеспечения пожарной безопасности необходимо выполнение следующих требований:

– к работе в лаборатории допускаются лица, прошедшие инструктаж по противопожарной безопасности;

– ответственным за противопожарную безопасность является руководитель лаборатории;

– средства пожаротушения (огнетушители, находящиеся в каждой комнате лаборатории) должны быть в постоянной готовности и проходить своевременную техническую проверку;

– в лаборатории должен быть план эвакуации работников в случае пожара;

– в целях предупреждения ожогов запрещается курить, пользоваться открытым огнем, применять электронагреватели открытого исполнения и с несгораемым основанием;

– легко испаряющиеся горючие жидкости должны храниться в плотно закрытых сосудах, вдали от нагревательных приборов, в специально отведенных местах;

– уметь пользоваться средствами пожаротушения и своевременно применять их;

– уходя из лаборатории, отключать свет;

– в случае возникновения пожара звонить по телефону 01, сообщить о случившемся администрации университета, одновременно принять меры к ликвидации пожара с помощью первичных средств огнетушения (огнетушители), находящихся в корпусе.

Заключение

В результате исследования были получены тонкие плёнки оксида олова методом реактивного магнетронного напыления. Все полученные плёнки оксида олова являлись прозрачными диэлектриками. После облучения их ионами аргона, плёнки становились электропроводящими.

Были получены следующие **выводы**:

- ✓ Зависимости $T(\lambda)$ имеют схожий качественный характер при временах до 13.2 с

- ✓ Величина максимумов пропускания с ростом времени облучения сначала слабо уменьшается, но с увеличением времени происходит более существенное ее уменьшение. Это на наш взгляд обусловлено с постепенным увеличением содержания микрочастиц металлического олова, которые образуются в результате диссоциации части SnO_2 под действием ионов Ar.

- ✓ При воздействии более 13.2 с зависимости имеют монотонный рост пропускания без осцилляций. Наблюдаемый вид зависимости $T(\lambda)$ связан образованием металлического Sn в приповерхностном слое плёнки.

- ✓ Средний коэффициент пропускание с увеличением времени воздействия ионов изменяется немонотонно. Минимум пропускания наблюдается при (времени воздействия пучка $\sim 13,2$ сек).

- ✓ С увеличением времени облучения, плёнка становится проводящей.

- ✓ Облучение плёнки приводит к увеличению числа кислородных вакансий, что в свою очередь проводит к уменьшению электрического сопротивления плёнок. Однако дальнейшее увеличение времени облучения приводит к возрастанию сопротивления плёнки. Это связано с образованием собственных точечных дефектов Sn.

- ✓ Плёнки оксида олова после магнетронного осаждения имеют кристаллическую структуру с долей аморфной фазы. Размер кристаллитов осажденных плёнок составляет ~ 10 нм.

- ✓ После облучения ионами аргона структура становится аморфной.

Список публикаций

1. Influence irradiation argon ion SnO₂ on optical and electrical characteristics [Электронный ресурс] / O. Kh. Asainov, S. P. Umnov, V. Temenkov // IOP

- Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2017. - Vol. 168 : Radiation-Thermal Effects and Processes in Inorganic Materials (RTEP2016). - [012007, 5 p.].
2. Осаждение прозрачных электропроводящих покрытий на основе оксида олова [Электронный ресурс] / В. С. Теменков, С. П. Умнов, О. Х. Асаинов // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник тезисов докладов VIII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 1-3 июня 2016 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) ; под ред. О. Ю. Долматова [и др.]. - Томск: Изд-во ТПУ, 2016. - [С. 168-169].
 3. Modification of optical and electrical properties SnO₂ under the influence of argon ion beam [Electronic resource] / S. P. Umnov, O. Kh. Asainov, V. Temenkov // Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2016) : International Congress, October 2–7, 2016, Tomsk, Russiaabstracts / National Research Tomsk Polytechnic University (TPU) ; eds. B. M. Kovalchuk [et al.].
 4. The change in optical and electrical characteristics of tin oxide films under the action of argon ion beam [Electronic resource] / O. Kh. Asainov, S. P. Umnov, V. S. Temenkov // Journal of Physics: Conference Series. - 2016. - Vol. 669 : Low temperature Plasma in the Processes of Functional Coating Preparation. - [012059, 4 p.].
 5. Radiation-induced deposition of transparent conductive tin oxide coatings [Electronic resource] / S. P. Umnov, O. Kh. Asainov, V. Temenkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016. - Vol. 124: Mechanical Engineering, Automation and Control Systems (MEACS2015). - [012148, 5 p.].

Список литературы

1. Hecht, D. S; Hu; Irvin, G. (2011). "Emerging Transparent Electrodes Based on Thin Films of Carbon Nanotubes, Graphene and Metallic Nanostructures". *Advanced Materials*. 23: 1482–1513.
2. Edwards, P. P.; Porch, A.; Jones, M. O.; Morgan, D. V.; Perks, R. M. (2004). "Basic materials physics of transparent conducting oxides". *Dalton Transactions* (19): 2995–3002
3. Minami, Tadatsugu (2005). "Transparent conducting oxide semiconductors for transparent electrodes". *Semiconductor Science and Technology*.
4. P. Kofstad, *Non-stoichiometry, diffusion and electrical conductivity of binary metal oxides*. Wiley, New York (1972) p. 335.
5. L.-Z. Yang, Z.-T. Sui and C.-Z. Wang, *Solid State Ionics* 50 (1992) 203.
6. B. Kamp, R. Merkle, R. Lauck, and J. Maier, Chemical diffusion of oxygen in tin oxide: effects of dopants and oxygen partial pressure, *J. Solid State Chem.* 178 (2005) 3027
7. C. G. Fornstad, and R. H. Rediker, Electrical properties of high-quality stannic oxide crystals, *J. Appl. Phys.* 42 (1971) 2911.
8. R. Y. Korotkov, A. J. E. Farran, T. Culp, D. Russo, and C. Roger, Transport properties of undoped and NH₃-doped polycrystalline SnO₂ with low electron background concentrations, *J. Appl. Phys.* 96 (2004) 6445.
9. B. Stjerna, E. Olsson, and C. G. Granqvist, Optical and electrical properties of radio frequency sputtered tin oxide films doped with oxygen vacancies, F, Sb, or Mo, *J. Appl. Phys.* 76 (1994) 3797.
10. E. L. Peltzer y Blanca, A. Svane, N. E. Christensen, C. O. Rodriguez, O. M. Cappannini, and M. S. Moreno, Calculated static and dynamic properties of b-Sn and Sn-O compounds, *Phys. Rev. B Condens. Matter* 48 (1993) 15712.
11. K. C. Mishra, K. H. Johnson, and P. C. Schmidt, Electronic structure of antimony-doped tin oxide, *Phys. Rev. B* 51 (1995) 13972.
12. G. W. Watson, The origin of the electron distribution in SnO, *J. Chem. Phys.* 114 (2001) 758.

13. X. Q. Pan, L. Fu, Tin Oxide thin films grown on the (1-012) sapphire substrate, *J. Electroceram.* 7 (2001) 35.
14. Y. Mi, H. Odaka, and S. Iwata, Electronic structure and optical properties of ZnO, SnO₂ and In₂O₃, *Jpn. J. Appl. Phys.* 38 (1999) 3453.
15. K. J. Button, C. G. Fonstad, and W. Dreybrodt, Determination of electron masses in stannic oxide by submillimeter cyclotron resonance, *Phys. Rev. B* 4 (1971) 4539.
16. G. Sanon, R. Rup, A. Mansingh, Band gap narrowing and band structure in degenerate tin oxide (SnO₂) films, *Phys. Rev. B* 44 (1991) 5672.
17. S.-K. Song, J.-S. Cho, W.-K. Choi, H.-J. Jung, D. Choi, J.-Y. Lee, H.-K. Baik, and S.-K. Koh, Structure and gas-sensing characteristics of undoped tin oxide thin films fabricated by ionassisted deposition, *Sens. Actuators* 46 (1998) 42.
18. C. Agashe, B. R. Marathe, M. G. Takwale, and V. G. Bhide, *Thin Solid Films* 164 (1988) 261.
19. H. S. Randhawa, M. D. Matthews, and R. F. Bunshah, *Thin Solid Films* 83 (1981) 267.
20. E. Shanti, V. Dutta, A. Banerjee, and K. L. Chopra, Electrical and optical properties of undoped and antimony-doped tin oxide films, *J. Appl. Phys.* 51 (1980) 6243.
21. M. Kojima, H. Kato, A. Imai, Electronic conduction of tin oxide thin films prepared by chemical vapor deposition, *J. Appl. Phys.* 64 (1988) 1902.
22. J. E. Dominiguez, L. Fu, and X. Q. Pan, Effect of crystal defects on the electrical properties in epitaxial tin dioxide thin films, *Appl. Phys. Lett.* 81 (2002) 5168.
23. C. Agashe, and S. S. Major, Effect of F, Cl and Br doping on the electrical properties of sprayed SnO₂ films, *J. Mater. Sci. Lett.* 15 (1996) 497.
24. J. E. Dominiguez, X. Q. Pan, L. Fu, P. A. van Rompay, Z. Zhang, J. A. Nees, and P. P. Pronko, Epitaxial SnO₂ films grown on (-1012) sapphire by femtosecond pulsed laser deposition, *J. Appl. Phys.* 91 (2001) 1060.

25. T. R. Giraldi, M. T. Escote, M. I. B. Bernardi, V. Bouquet, E. R. Leite, E. Longo, and J. A. Varela, Effect of thickness on the electrical and optical properties of Sb-doped SnO₂ (ATO) thin films, *J. Electroceram.* 13 (2004) 159.
26. H.-L. Ma, X.-T. Hao, J. Ma, Y.-G. Yang, J. Huang, D.-H. Zhang, X.-G. Xu, Thickness dependence of properties of SnO₂:Sb films deposited on flexible substrates, *Appl. Surf. Sci.* 191 (2002) 313.
27. C. Kilic, and A. Zunger, Origins of coexistence of conductivity and transparency in SnO₂, *Phys. Rev. Lett.* 88 (2002) 095501.
28. T. Isono, T. Fukuda, K. Nakagawa, R. Usui, R. Satoh, E. Morinaga, and Y. Mihara, High conductivity SnO₂ thin films for flat panel displays, *SID Digest* (2006) 1874.
29. S.-Y. Lee, and B. O. Park, Structural electrical and optical characteristics of SnO₂:Sb thin films by ultrasonic spray pyrolysis, *Thin Solid Films* 510 (2006) 154.
30. E. Shanti, V. Dutta, A. Banerjee, and K. L. Chopra, Electrical and optical properties of undoped and antimony-doped tin oxide films, *J. Appl. Phys.* 51 (1980) 6243.
31. R.J. Choudhary, S.B. Ogale, S.R. Shinde, V.N. Kulkarni, T. Venkatesan, K.S. Harshavardhan, M. Strikovski, and B. Hannoyer, Pulsed-electron-beam deposition of transparent conducting SnO₂ films and study of their properties, *Appl. Phys. Lett.* 84 (2004) 1483.
32. E. Burstein, *Phys. Rev.* 104 (1954) 632.
33. E. Shanthi, A. Banerjee, V. Dutta, and K. L. Chopra, Electrical and optical properties of tin oxide films doped with F and (Sb+F), *J. Appl. Phys.* 53 (1982) 1615.
34. B. Yu, C. Zhu, and F. Gan, *Opt. Mater. Amsterdam, Neth.* 7 (1997) 15.
35. Z. K. Tang, G. K. L. Wong, P. Yu, M. Kawasaki, A. Ohtomo, H. Koinuma, and Y. Segawa, *Appl. Phys. Lett.* 72 (1998) 3270.

36. S. S. Pan, C. Ye, X. M. Teng, L. Li, and G. H. Li, Localized exciton luminescence in nitrogen-incorporated SnO₂ thin films, *Appl. Phys. Lett.* 89 (2006) 251911.
37. Flexible flat panel displays, edited by G. P. Crawford, Wiley, Chichester, England (2005), pp.79–98.
38. H. Hosono, M. Yasukawa, and H. Kawazoe, Novel oxide amorphous semiconductors: transparent conducting amorphous oxides, *J. Non-Cryst. Solids* 203 (1996) 334.
39. I. H. Kim, J. H. Ko, D. Kim, K. S. Lee, T. S. Lee, J.-H. Jeong, B. Cheong, Y.-J. Baik, and W. M. Kim, Scattering mechanism of transparent conducting tin oxide films prepared by magnetron sputtering, *Thin Solid Films* 515 (2006) 2475.
40. S. Shirakata, A. Yokoyama, and S. Isomura, Preparation of SnO₂ thin films by plasma-assisted metalorganic chemical vapor deposition, *Jpn. J. Appl. Phys.* 35 (1996) L722.
41. J. B. Yadav, R. B. Patil, R. K. Puri, and V. Puri, Studies on undoped SnO₂ thin film deposited by chemical reactive evaporation method, *Mater. Sci. Eng. B* 139 (2007) 69.
42. T. Minami, T. Miyata, and T. Yamamoto, Stability of transparent conducting oxide films for use at high temperatures, *J. Vac. Sci. Technol. A* 17 (1999) 1822.
43. Vacuum Technology, *Thin Film Sputtering* / R.V. Stuart // Acad. Press, 1983.
44. J.A. Thornton “Deposition Technologies for Films and Coatings”, R.F. Bunshah (Ed.), Publ. Noyes, Park Ridge, NJ, 1982.
45. R. E. Cavicchi, S. Semancik, M. D. Antonik, and R. J. Lad, Layer-by-layer growth of epitaxial SnO₂ on sapphire by reactive sputter deposition, *Appl. Phys. Lett.* 61 (1992) 1921.

46. Robbie, K., and M. J. Brett. "Sculptured thin films and glancing angle deposition: Growth mechanics and applications." *Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films* 15.3 (1997): 1460-1465
47. George, J., "Preparation of thin films", Marcel Dekker, Inc., New York (1992), p.13-19
48. A. G. Dirks and H. J. Leamy. Columnar microstructure in vapor-deposited thin films. *Thin Solid Films*, 47:219–233, 1977.
49. N. G. Nakhodkin and A. I. Shaldervan. Effect of vapour incidence angles on profile and properties of condensed films. *Thin Solid Films*, 10:109–122, 1972.
50. Кривобоков В.П., Соловьев А.А., Сочугов Н.С. Плазменные покрытия (методы и оборудования): учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.
51. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 36 (2003) 552–558 B Alterkop, N Parkansky, S Goldsmith¹ and R L Boxman, Effect of air annealing on opto-electrical properties of amorphous tin oxide films.
52. *Materials Science and Engineering: B Volume 118, Issues 1–3, 25 April 2005, Pages 164–169* B.N. Mukashev¹, S.Zh. Tokmoldin², N.B. Beisenkhanov³, S.M. Kikkarin⁴, I.V. Valitova.
53. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 24 (1991) 719-726, Abhijit De and Swati Ray, A study of the structural and electronic properties of magnetron sputtered tin oxide films.
54. *Progress in Surface Science* 79 (2005) 47–154, the surface and materials science of tin oxide, Matthias Batzill *, Ulrike Diebold.
55. Cetin Kılıċel and Alex Zunger, Origins of Coexistence of Conductivity and Transparency in SnO₂, 2002.
56. *Thin Solid Films* Volume 515, Issue 4, 5 December 2006, Pages 2475–2480, I.H. Kim¹, J.H. Ko, D. Kim, K.S. Lee, T.S. Lee Scattering mechanism of transparent conducting tin oxide films prepared by magnetron sputtering.

57. J. Mater. Res., Vol. 27, No. 5, Mar 14, 2012 p.765-779, Klaus Ellmera and Thomas Welze, Reactive magnetron sputtering of transparent conductive oxide thin.

58. Surface and Coatings Technology Volumes 151–152, 1 March 2002, Pages 76–81, I.A. Karapatnitski, K.A. Mit', D.M. Mukhamedshina, N.B. Beisenkhanov, Optical, structural and electrical properties of tin oxide films prepared by magnetron sputtering.

59. Copyright (c) 1988 The Japan Society of Applied Physics • Japanese Journal of Applied Physics, Volume 27, Part 2, Number 3, Tadatsugu Minami, Hidehito Nanto and Shinzo Takata, Highly Conducting and Transparent SnO₂ Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering on Low-Temperature Substrates.

60. Journal of Physics: Conference Series 652 (2015) 012046, Magnetron deposition of TCO films using ion beam, O. Asainov, A.Chinin.

61. Journal of Physics: Conference Series 669 (2016) 012059, O. Asainov V. Temenkov, The change in optical and electrical characteristics of tin oxide films under the action of argon ion beam.

62. Ю. А. Хохлов, В. А. Богатов, А. Г. Крынин, Влияние распределение магнитного поля на свойства покрытия, получаемого на полимерной пленке методом реактивного магнетронного осаждения.

63. Highly Conducting and Transparent SnO₂ Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering on Low-Temperature Substrates, Tadatsugu Minami, Hidehito Nanto and Shinzo Takata, Copyright (c) 1988 The Japan Society of Applied Physics, Japanese Journal of Applied Physics, Volume 27, Part 2, Number 3.

64. Preparation and Properties of SnO₂ Film Deposited by Magnetron Sputtering, Dan Leng, Lili Wu, Hongchao Jiang, Yu Zhao, Jingquan Zhang, Wei Li, and Lianghuan Feng, College of Materials Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610064, China, Received 21 March 2012; Revised 15 June 2012; Accepted 15 June 2012.

65. Characterization of nanostructured SnO₂ films deposited by reactive DC-magnetron sputtering, Camacho-López M. A.1, Galeana-Camacho J. R.2, Esparza-García A.3, Sánchez-Pérez C.3, Julien C. M.4

66. Development of a stationary plasma thruster and its testing on the earth artificial satellite 'meteor' / L.A. Artsimovich, I.P. Andronov, Iu.V. Esipchuk, A.I. Morozov, R.K. Snarsky and K.N. Kozubsky // Kosmicheskie Issledovania, 1974, V.12, p. 451-468.

67. Stationary plasma thrusters / N.V. Belan, V.P. Kim, A.I. Oransky and V.B. Tikhonov // Kharkov, 1989, p.142.

68. 20. Accelerator with extended anode layer / E.A. Ljapin and A.V.Semenkin // 7th AllUnion Conf. on Plasma Accelerators and Ion Injectors, Kharkov, 1989, p. 210-211.

69. Финк Е.Е, Исследование режимов работы ионного источника с холловским дрейфом электронов, XV Международная научно-практическая конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ».

70. Кривобоков В.П., Соловьев А.А., Сочугов Н.С. Плазменные покрытия (методы и оборудования): учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.

71. Ионные источники с замкнутым дрейфом электронов [Электронный ресурс]. Режим доступа http://www.pronika.ru/ionsource_ru.htm

72. Технология ионных источников, В.В. Коткин, Москва, Учебное пособие МИФИ, 1990г, 86 стр.

73. Интенсивные электронные и ионные пучки. С.И. Молоковский А.Д.Сушков, Москва, Энергоатомиздат 1991г , 302 стр.

74. Ломофотоника. Приборы и инструменты для оптической спектроскопии. [Электронный ресурс] // "ЛОМО-ФОТОНИКА". [сайт] – Режим доступа: <http://www.lomophotonica.ru/catalog/download>.

75. . Martin Rowe, Resistivity is the key to measuring electrical resistance, EDN network, May 21, 2012.

76. Пущаровский Д.Ю. Рентгенография минералов: Учеб. для геол. спец. ВУЗов. – М.: ЗАО "Геоинформмарк", 2000. – 296с
77. Бокий Г.Б., Порай-Кошиц М.А. Рентгеноструктурный анализ. – М. Изд-во МГУ, 1964, т. 1. – 490 с.
78. Thin Solid Films Volume 495, Issues 1–2, 20 January 2006, Pages 316–320, D.M. Mukhamedshina, N.B. Beisenkhanov, K.A. Mit', I.V. Valitova, V.A. Botvin, Investigation of properties of thin oxide films SnO_x annealed in various atmospheres.
79. Гаврикова Н.А., Тухватулина Л.Р., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С.73.
80. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
81. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2004.
82. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы». – Москва: Минздрав России, 2003.
83. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. – 1988.
84. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. – Москва: Стандартинформ, 2008.
85. Инструкция №22 по охране труда при работе с электроустановками лаборатории №23 НИИ ЯФ ПБ10-115-96 ГОСТ 12.2.085-82
86. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к ПЭВМ и организации работы». – Москва: Минздрав России, 2003.

87. ГОСТ 12.1.019-79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2000.

88. НПБ 105-03. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – 2003.

Приложение А
(обязательное)

Experimental Part

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ51	Теменков Владимир Сергеевич		

Консультант кафедры ЭФ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Блейхер Г.А.	д.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ФТИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Зяблова Н. Н.	к.ф.н		

Experimental Part

2.1. Materials and equipment

Yashma-4, produced and developed in the laboratory No. 23 of the Department of Hydrogen Energetics and Plasma Technology of the Institute of Physics and Technology Institute of National Research Tomsk Polytechnic University, designed for application of modifying coatings using streams of sputtered particles and accelerated ions, has been used for the experiment.

Structurally, it consists of working and airlock chambers, vacuum system, automated control system, coating thickness control system.

The layout of the experimental unit is shown in Figure 6.

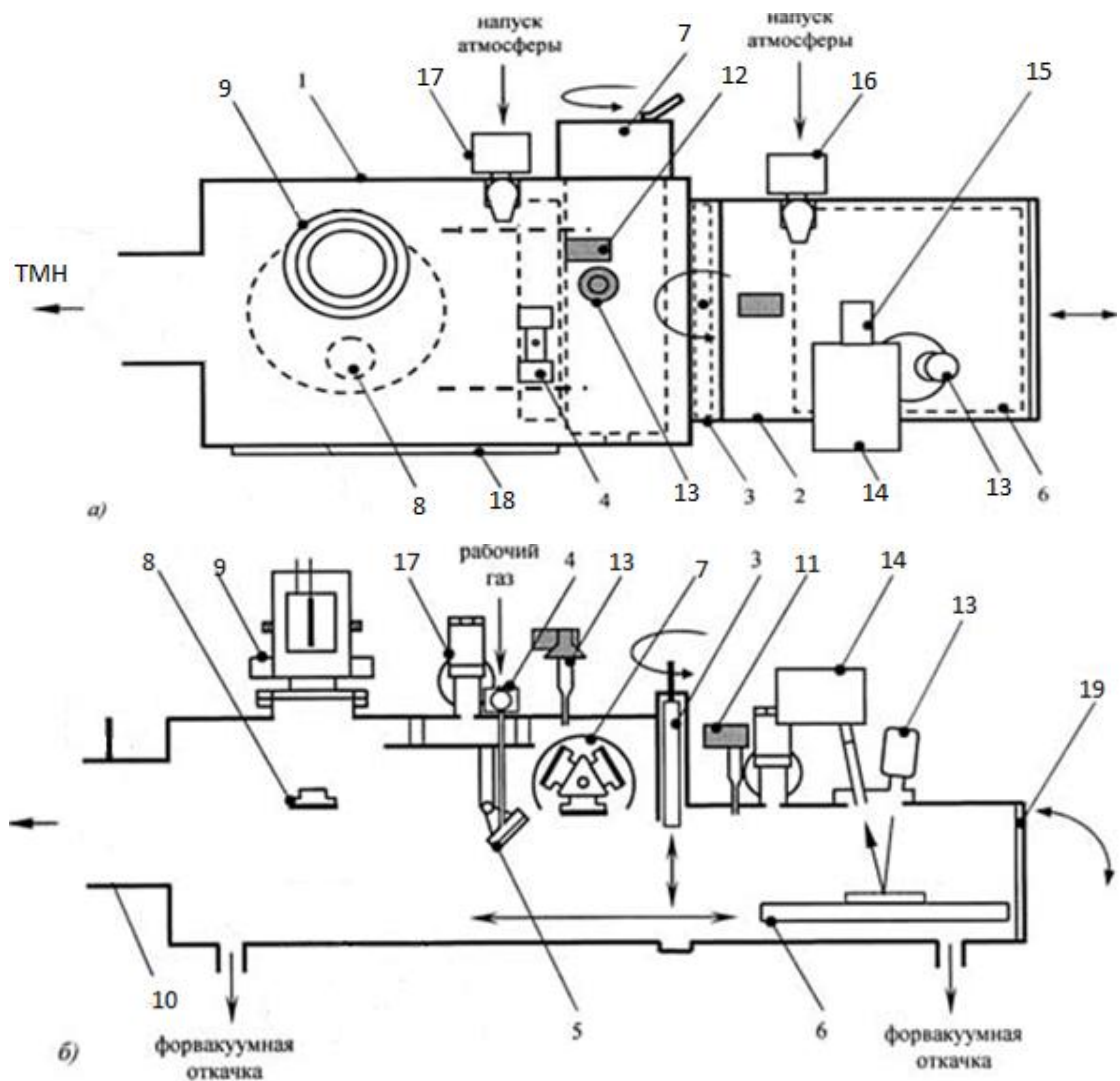


Figure 6. Yashma-4 Unit Layout Turbo-Molecular Pump:

1- working chamber; 2- airlock chamber; 3 - highly-vacuum shutter; 4 - controlled inlet valve of gas puffing system; 5 - ionic cleaning source; 6 - table; 7 - turret with three magnetrons; 8 - additional magnetron; 9 - source of high-energy ions; 10 - thermocouple vacuum gauge; 11 - ionization vacuum gauge; 12 - light source; 13 - monochromator; 14 - photoelectronic multiplier; 15, 16 - air puffing valves; 17, 18 - door of working and airlock chambers, respectively.

The unit consists of 1 working and 2 airlock chambers, among which high-vacuum valve No. 3 is installed, required for isolation of the working chamber from the airlock chamber during the loading of samples into it. Gas puffing (Ar, O₂) into the working chamber is carried out using controlled inlet valve No. 4 of the gas puffing system. Butterfly valve No. 10 is designed for control of the pressure in the working chamber. Valves No. 16 and 17 are used for puffing of air into the working and the airlock chambers. Loading of samples into the unit and maintenance is carried out through the doors No. 17 and 18.

Ionic cleaning source No. 5, turret No. 7 with three magnetrons and additional magnetron No. 8 are located in the working chamber. Source of high-energy ions No. 9 is intended for performance of technological operations, related to implantation.

For re-location of work pieces, the unit is equipped with table No. 6, performing reciprocal movements.

Magnetrons No. 7 and 8 are used for precipitation of the required material onto the surface of the samples.

Control of optical thickness of non-metallic coatings (oxide, nitride etc.) is carried out by the photometric method using illuminator No. 12, photoelectronic multiplier No. 14 and monochromator No. 13.

Control of pressure in the working chamber is carried out using the thermocouple vacuum gauge No. 10 and ionization vacuum gauge No. 11.

2.2 Schematic Course of Experiment

The glass base sheet (GOST 9284-75) has been preliminary processed with isopropyl alcohol for removal of dirt. Afterwards, the sample was placed on the carriage in the working chamber.

The pumping of working chamber to the pressure of 0.004 Pa was performed, whereafter the puffing of working gas of Ar and O₂ (O₂-60%, Ar-40%) was carried out. Working pressure was 0.3 Pa. Then, the discharge under the working voltage of magnetron of 275 V was initiated and spraying to the required thickness was performed.

After that, the sample was again placed on the carriage in the working chamber, and pumping to the working pressure of 0.004 Pa was carried out, after which process the working Ar gas puffing was performed. Working pressure was 0.166 Pa.

Tin oxide film was subjected to irradiation with ions of argon at various times irradiations. The beam of ions was located at an angle of 90° to the base sheet surface. Ions were generated by source of ions with electrons drift closed under the voltage of 2,800 V and current level of up to 0.28 A, the current density on the surface of samples was $2.4 \cdot 10^{-3} \text{ A/cm}^2$.

2.3 The results of the study

All tin oxide films, which had been obtained, were transparent dielectrics. This is due to the fact that the precipitation by reactive magnetron sputtering was carried out in the atmosphere with an excess of oxygen. Such conditions were enough for all metal to oxidize and all oxygen vacancies, which create conductivity, to be occupied. As a result, tin oxide film was precipitated as dielectric.

After the precipitation, the sample was subjected to argon ion irradiation. Fig. 1 shows the results of film transmission measurement before and after irradiations

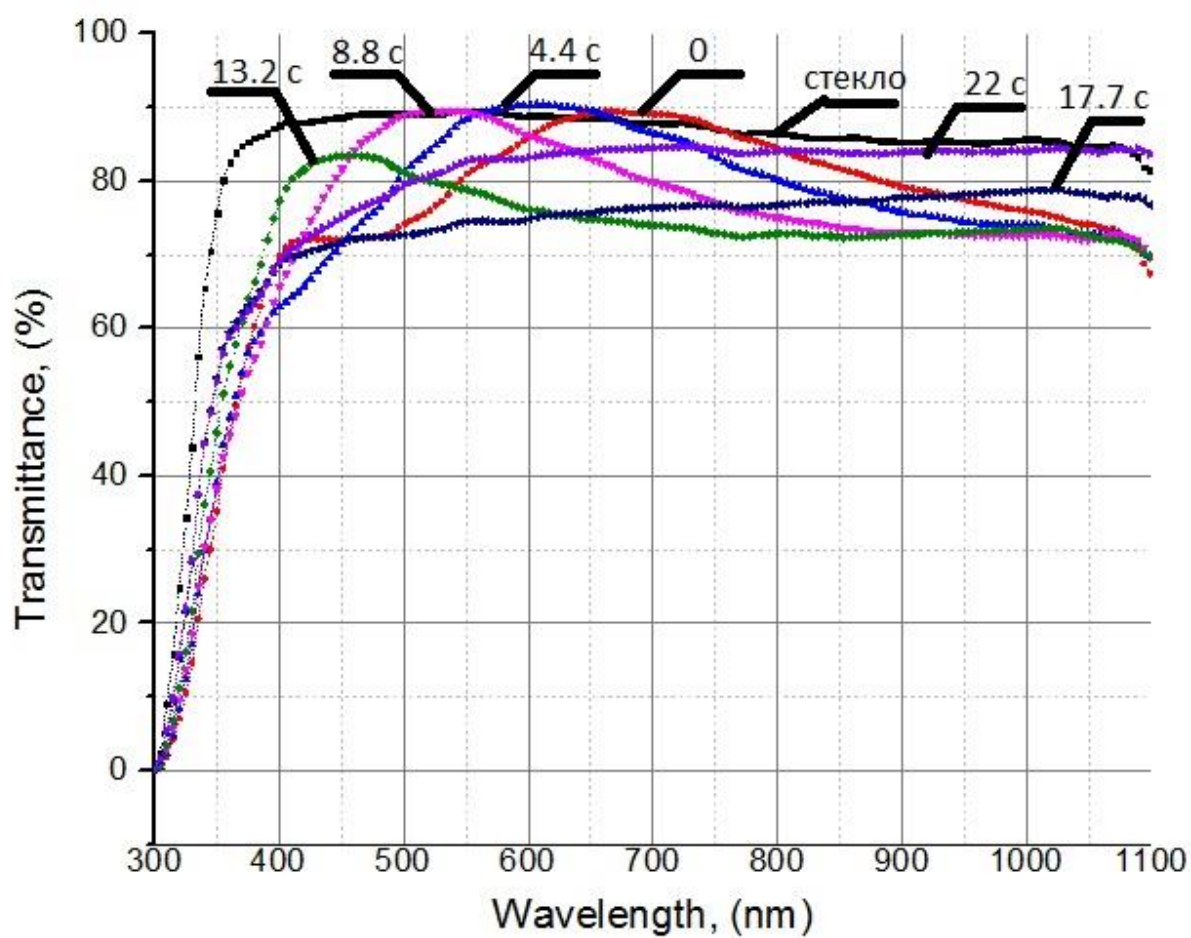


Figure. 1 - Dependence of transmission coefficient on the number of passages

As can be seen from Fig. 1 the maximums of transmission coefficients were observed throughout the entire range of 380-1080 nm.

Thus, at times of the impact up to 14 sec. Dependencies $t(\lambda)$ have similar qualitative nature. Figure 1. Presence of the area of transmission maximum is typical for these times. In this range there is a shift of the main transmission maximums into short-wave area. In this case, at first the value of transmission maximums with an increase of irradiation time weakly decreases, but its more substantial decrease occurs with an increase of time. In our opinion, this is due to the gradual increase in the content of tin metal microparticles, which are formed as a result of the dissociation of part of SnO_2 under the influence of Ar ions and, consequently, change in the stoichiometry. Although no lines of metal phase Sn in the diffraction pattern were observed. This is probably due to the fact that the segregation of tin

metal in the film leads to formation of tin particles, the sizes of which are insufficient for the formation of Sn crystalline grains and relevant lines on X-ray patterns.

During the future impact of ions on film (more than 13.2 sec), the dependence $T(\lambda)$ has a different nature - quite monotonous increase of transmission without oscillations. In this case, the transmission improves with an increase of the irradiation time. The observed type of dependence $T(\lambda)$ is related to the formation of metal Sn on the near-surface layer of the film. Indirect confirmation is that the film remains transparent, but the light gray tint appears. In this case, the transparency of the film in the visible range is less than the transparency of glass. During the further irradiation, transparency of the film increases. This is a result of spraying of metal Sn.

The following dependencies were created for the images received - dependence of the average value of transmission on the time of irradiation by Ar ions.

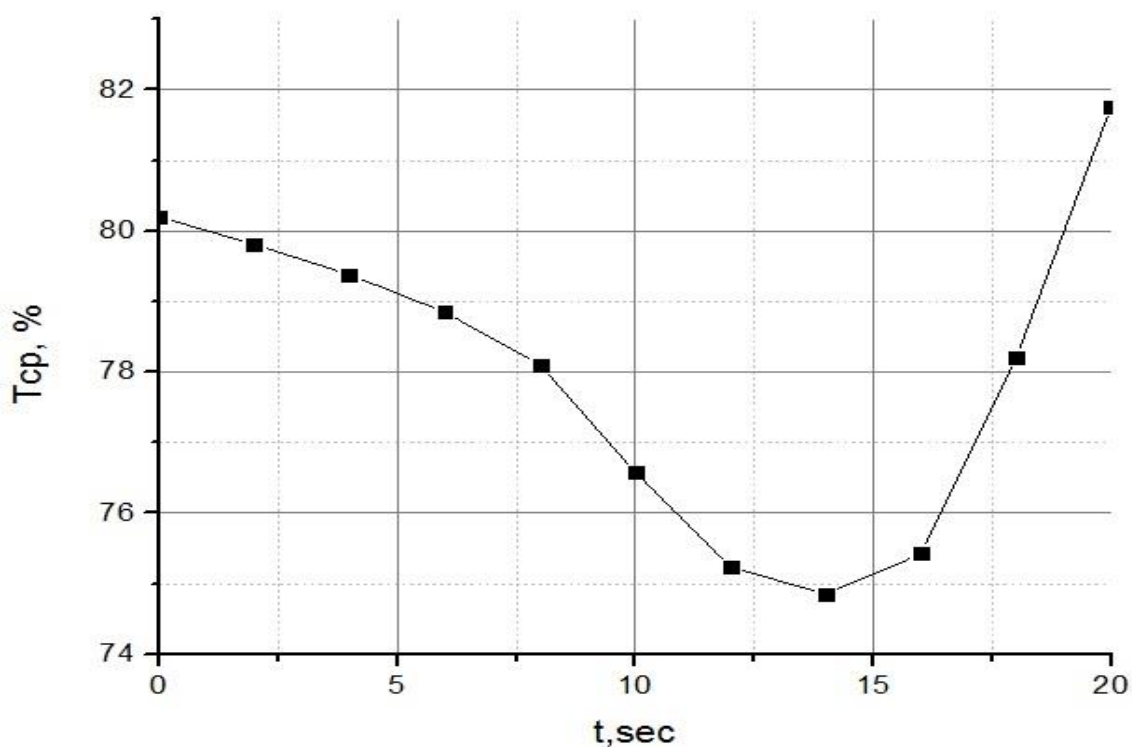


Fig. 2 - Dependence of the average value of transmission on the time of irradiation by Ar ions.

As can be seen from Fig.2 the change in the mean values of transmission of samples with the precipitated film SnO₂ in the range of 380-1,100 nm, depending on the time of irradiation with Ar ions. It is clearly seen from the figure that at first transmission decreases with an increase (of ion exposure time) and then increases. The minimum of transmission is observed at (time of beam exposure ~ 14 sec).

During the study, the measurement of resistance of the surface of tin oxide films, as well as the dependence of the influence of time of irradiation with Ar ion on the surface resistance were performed. Figure 3.

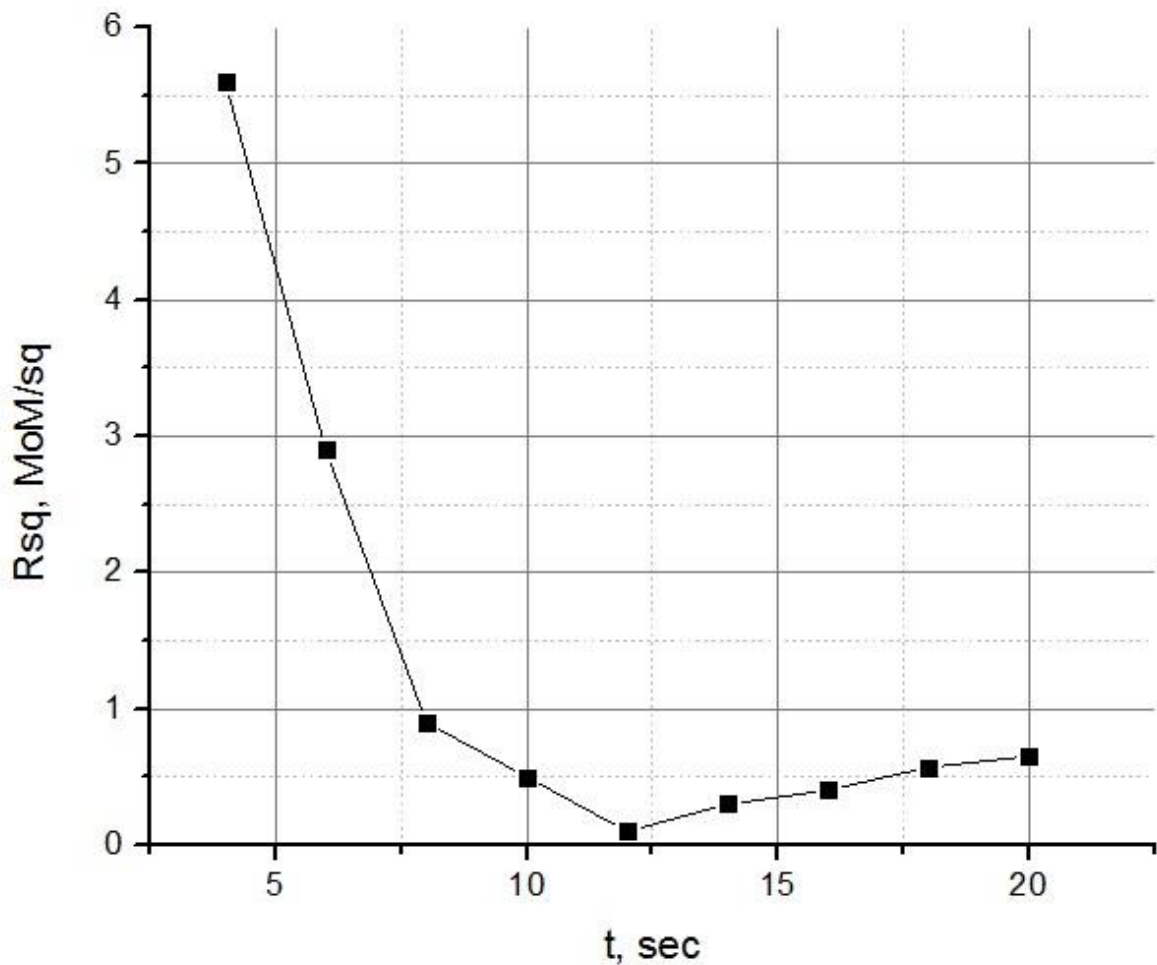


Fig. 3 - Dependence of the Surface Resistance on the Time of Irradiation with Ar Ions.

As can be seen from fig. dielectric tin oxide film is with increase. Time area becomes conductive. Electrical conductivity of transparent conducting oxides is due to its deviation from stoichiometry. Conduction electrons in such films are delivered from donor conditions, associated with oxygen vacancies or excess of metal ions.

This is due to the fact, that the precipitation of tin oxide films has been performed in the medium with an excess of oxygen (60% - O₂, 40% - Ar). Whereas precipitation was performed under the excess oxygen content, the films were precipitated in the stoichiometric form of SnO₂, which is a good insulator.

Interaction with the surface of the film and the transfer of energy to atoms in the crystal lattice occurs during the process of Ar ions irradiation. As a result, the physical and chemical processes occur, which lead to rupture and reconstruction of chemical bonds, causing the desorption (dislodging of oxygen atoms and the emergence of vacancies occur) or chemical reaction, modifying the structure of the coating.

Increased concentration of electrons is due to the rupture of Sn-O chemical bonds and desorption of oxygen, which leads to formation of non-stoichiometric tin oxide. Therefore, irradiation of the film causes an increase in the number of oxygen vacancies, which in turn leads to the reduction of electrical resistance of the films. However, further increase of the irradiation time leads to increased resistance of the film. This is due to the formation of own point Sn defects. As point defects interact with all the electrons of conductivity, electrons, located near the defects, are "bound" and do not participate in conductivity. As a result, the film resistance increases.

X-ray diffraction analysis has also been performed; its results are presented in Figure 4.

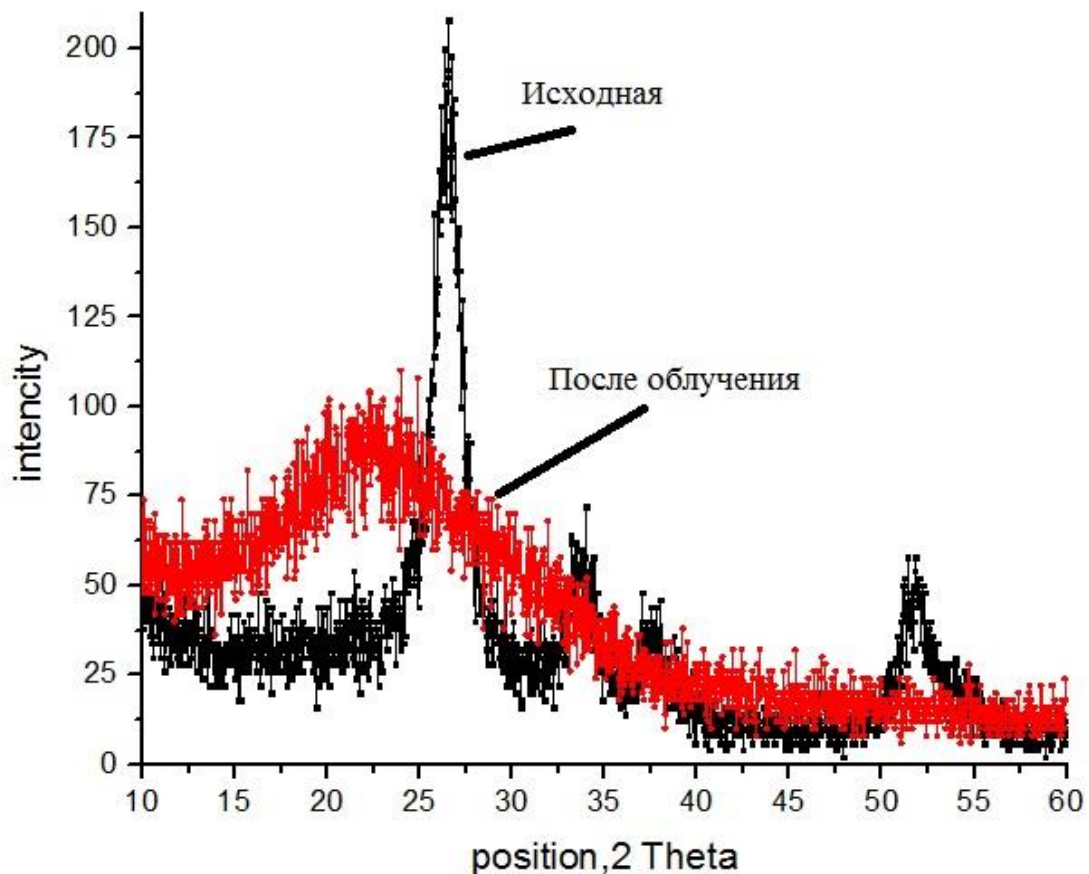


Fig. 4 - Diffraction Pattern of Tin Oxide Films. 1 - initial, 2 - after irradiation

Fig. 4 shows the diffraction patterns of tin oxide films before and after irradiation with Ar ions. As can be seen from the figure, tin oxide films after magnetron precipitation have a crystalline structure, with the proportion of amorphous (quasicrystalline) phase. XRD analysis of data showed that the precipitated films consist of pure SnO_2 of tetragonal structure without the presence of other phases - SnO and Sn . The size of crystallites of precipitated films is ~ 10 nm and has been determined on the basis of diffractometric measurements. After irradiation, the structure becomes quasicrystalline (amorphous).