

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

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 16.04.01 Техническая физика
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Влияние технологических параметров на термостабильность поверхностного сопротивления плёнок ИТО, осаждённых магнетронным распылением

УДК 621.793.1:539.216.2:621.385.64

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	К.Т.Н		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Т.Б.	К.Э.Н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	К.Т.Н		

Компетенции выпускников ООП «Пучковые и плазменные технологии» по направлению 16.04.01 Техническая физика

Код компетенции	Наименование компетенции
УК(У)-1	Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способность управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способность организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способность применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способность анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способность определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы её совершенствования на основе самооценки
ОПК(У)-1	Способность к профессиональной эксплуатации современного научного и технологического оборудования и приборов, предназначенных для использования в области технической физики
ОПК(У)-2	Способность демонстрировать и использовать углублённые теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, в том числе из области технической физики
ОПК(У)-3	Готовность руководить коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
ОПК(У)-4	Готовность к коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач профессиональной деятельности в области технической физики
ОПК(У)-5	Способность осуществлять научный поиск и разработку новых перспективных подходов и методов к решению профессиональных задач, готовность к профессиональному росту, к активному участию в научной деятельности, конференциях, выставках и презентациях
ПК(У)-1	Способность критически анализировать современные проблемы технической физики, ставить задачи и разрабатывать программу исследования, выбирать адекватные способы и методы решения экспериментальных и теоретических задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты
ПК(У)-2	Способность самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для оптимизации параметров объектов и процессов с

Код компетенции	Наименование компетенции
	использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств
ПК(У)-3	Готовность осваивать и применять современные физико-математические методы для решения профессиональных задач в области технической физики, составлять практические рекомендации по использованию полученных результатов
ПК(У)-4	Способность представлять результаты исследования в формах отчётов, рефератов, публикаций и презентаций
ПК(У)-5	Готовность принимать непосредственное участие в учебной и учебно-методической работе по направлению «Техническая физика», участвовать в разработке программ учебных дисциплин и курсов
ПК(У)-6	Способность проводить учебные занятия, лабораторные работы, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся
ПК(У)-7	Способность применять и разрабатывать новые образовательные технологии
ПК(У)-8	Способность разрабатывать и оптимизировать современные наукоёмкие технологии в областях технической физики, связанных с применением пучковых и плазменных технологий, с учетом экономических и экологических требований
ПК(У)-9	Способность разрабатывать, проводить наладку и испытания, эксплуатировать наукоемкое технологическое и аналитическое оборудование
ПК(У)-10	Готовность решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Сиделёв Д.В.
 (Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович

Тема работы:

Влияние технологических параметров на термостабильность поверхностного сопротивления плёнок ИТО, осаждённых магнетронным распылением	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ №47-1/с от 16.02.2022 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2022 г.
--	---------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе</p> <p><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>	<ul style="list-style-type: none"> - плёнки оксида индия олова на стекле - метод осаждения – магнетронное распыление керамической мишени $In_2O_3(90\%)SnO_2(10\%)$ - требуемое сопротивление поверхности плёнок - 2..10 кОм/квадрат, которое сохраняется в данных пределах, при их тепловой обработке на воздухе, в течение 1 ч при температурах +30..+150 °С
---	--

	<ul style="list-style-type: none"> - диапазон исследования температурной зависимости сопротивления поверхности плёнок - +30..+400 °С - коэффициенты пропускания системы «плёнка - стеклянная подложка» - 70-80% в диапазоне длин волн 400-800 нм
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><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>	<ul style="list-style-type: none"> - обзор сведений по свойствам оксида индия олова и его использованию в качестве антистатического покрытия космических аппаратов - обзор источников по теме зависимости параметров тонких плёнок оксида индия олова от характеристик процесса осаждения и тепловой обработки - постановка задач исследования - описание оборудования для получения опытных образцов и методик их измерения - обсуждение результатов исследования - формулировка заключения по работе
<p>Перечень графического материала</p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p>Название работы</p> <p>Актуальность работы</p> <p>Цель работы и требования к покрытиям ИТО</p> <p>Применение ИТО</p> <p>Методика экспериментов и оборудование</p> <p>Результаты экспериментов</p> <p>Положение, выносимое на защиту</p> <p>Заключение</p>
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН к.э.н. Якимова Татьяна Борисовна
Социальная ответственность	Профессор ТПУ д.т.н. Федорчук Юрий Митрофанович
Иностранный язык	ст. преп. кафедры ИЯФТ Кабрышева Оксана Павловна
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p> <p>Глава 1. Литературный обзор</p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	07.02.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер	Баинов Д. Д.	к.т.н		07.02.22 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович		07.02.22 г

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович

ШКОЛА	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ Б. П. Вейнберга
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

Тема дипломной работы: «Влияние технологических параметров на термостабильность поверхностного сопротивления плёнок ITO осаждённых магнетронным распылением»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Комплекс оборудования для измерения и распыления покрытия Работы проводились на базе НОЦ Б. П. Вейнберга
--	---

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов</p> <ul style="list-style-type: none"> • Природа воздействия • Действие на организм человека • Нормы воздействия и нормативные документы (для вредных факторов) • СИЗ коллективные и индивидуальные <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Термические источники опасности • Электробезопасность • Пожаробезопасности 	<p>1. Вредные факторы:</p> <p>1.1 Недостаточная освещенность;</p> <p>1.2 Нарушения микроклимата, оптимальные и допустимые параметры;</p> <p>1.3 Шум, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.4 Повышенный уровень электромагнитного излучения, ПДУ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.5 УФИ, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.6. ИК излучение, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.7. Наличие токсикантов, ПДК, класс опасности, СКЗ, СИЗ;</p> <p>1.8. Ионизирующее излучение, ПДД, критические органы, СКЗ, СИЗ;</p> <p>2. Опасные факторы:</p> <p>2.1 Электроопасность; класс электроопасности помещения, безопасные номиналы I, U, R_{заземления}, СКЗ, СИЗ; Проведен расчет освещения рабочего места; представлен рисунок размещения светильников на потолке с размерами в системе СИ;</p> <p>2.2 Пожароопасность, категория пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение и ограничение применения; Приведена схема эвакуации.</p>
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Выбросы в окружающую среду • Решения по обеспечению экологической безопасности 	<p>Наличие промышленных отходов (бумага-черновики, вторцвет- и чермет, пластмасса, перегоревшие люминесцентные лампы, оргтехника, обрезки монтажных проводов, бракованная строительная продукция) и способы их утилизации;</p>
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> • перечень возможных ЧС при разработке и 	<p>Рассмотрены 2 ситуации ЧС:</p> <p>1) природная – сильные морозы зимой,</p>

<ul style="list-style-type: none"> эксплуатации проектируемого решения; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	(аварии на электро-, тепло-коммуникациях, водоканале, транспорте); 2) техногенная – несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место (возможны проявления вандализма, диверсии, промышленного шпионажа), представлены мероприятия по обеспечению устойчивой работы производства в том и другом случае.
4. Перечень нормативно-технической документации.	– ГОСТы, СанПиНы, СНиПы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.05.2022 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ТПУ	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.05.2022 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович		26.05.2022 г.

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	НОЦ им. Б.П. Вейнберга
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика / Пучковые и плазменные технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска, Томской области. Тарифная ставка руководителя и исполнителя определена штатным расписанием НТИ ТПУ.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - коэффициент дополнительной заработной платы -1,12; - накладные расходы – 20%; - норма амортизации 15%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ и оценка конкурентоспособности НТИ; SWOT-анализ.
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	1.Цели и результат проекта. 2.Организационная структура проекта. 3.Ограничения и допущения проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика разработки: - организация работ НТИ; - определение структуры работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование
1. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	1.Определение интегрального финансового показателя разработки; 2.Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3.Определение интегрального показателя эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Сегментирование рынка</i>
2. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
3. <i>Матрица SWOT</i>
4. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>
5. <i>Потенциальные риски</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2022
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	к.э.н.		15.03.2022

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Рахимов Кирилл Александрович		15.03.2022

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 122 с., 54 рис., 23 табл., 41 источников.

Ключевые слова: оксид индия, легированный оловом, прозрачный проводящий оксид, магнетронная распылительная система, отжиг

Объектом исследования являются плёнки оксида индия, легированные оловом, полученные методом плазменного магнетронного распыления керамической мишени.

Цель работы – исследование влияния параметров осаждения на термостабильность получаемых покрытий ИТО при магнетронном осаждении.

В процессе исследования проводилось получение зависимостей поверхностного сопротивления образцов в зависимости от изменяемых параметров, а также отслеживалось влияние режимов осаждения на оптические и морфологические параметры получаемых покрытий.

В результате исследования были разработаны методики получения плёнок ИТО, при которых они сохраняют свою термостабильность в диапазоне температур от 20 до 150 °С.

Обозначения и сокращения

МРС – магнетронная распылительная система

ИТО – Indium Tin Oxide (оксид индия, легированный оловом)

КА – космический аппарат

XPS – X-ray Photoelectron Spectroscopy, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

АСМ – атомно-силовой микроскоп

Содержание

1 Литературный обзор	15
1.1 Оксид индия-олова.....	15
1.2 Применение оксида индия-олова в элементах тепловой защиты космического аппарата	16
1.3. Принцип действия магнетронной распылительной системы.....	20
1.4 Получение плёнок ИТО магнетронным распылением	23
2 Уточнение задач исследования.....	34
3 Оборудование для проведения эксперимента и методики анализа образцов	37
3.1 Установка магнетронного осаждения.....	37
3.2 Измерение толщин получаемых плёнок	38
3.4 Установка для отжига образцов	42
3.5 Измерение спектров пропускания.....	42
3.7 Исследование шероховатости поверхности.....	45
4 Проведение экспериментов.....	47
5 Результаты экспериментов	50
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 63	
6.1 Предпроектный анализ.....	63
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	63
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений	65
6.1.3 SWOT-анализ	67
6.1.4 Инициация проекта	68
6.2 Организационная структура проекта.....	69
6.3 Ограничения и допущения проекта	70
6.4 План проекта.....	71
6.5 Разработка графика проведения НИОКР	72
6.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	73
6.7 Основная заработная плата исполнителей темы	76
6.8 Реестр рисков.....	79

6.9	Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....	80
7	Социальная ответственность.....	83
7.1	Производственная безопасность.....	84
7.1.1	Отклонение показателей микроклимата в помещении	84
7.1.2	Превышение уровней шума	85
7.1.3	Повышенный уровень электромагнитных излучений	85
7.1.4	Освещенность	87
7.1.5	Пожарная опасность	91
7.2	Электробезопасность	94
7.3	Экологическая безопасность.....	96
7.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях	98
	Заключение	101
	Список использованных источников	102
	Приложение А	108

Введение

Последние несколько десятков лет тонкие плёнки ITO остаются актуальным объектом научных исследований и практического применения. Сочетание высокого уровня пропускания света и низкого сопротивления делают их основным материалом для прозрачных проводящих контактов. Важным приложением является и их использование в виде антистатического покрытия элементов тепловой защиты космических аппаратов. Здесь, большое экономическое значение имеет усовершенствование процесса их осаждения. Одним из путей достижения этой цели может быть исключение из технологического маршрута длительного (от 0,5-1 ч до 3 ч) этапа их отжига. Данная возможность недостаточно отражена в научной литературе, что стало одной из основных причин проведения представленного исследования.

Таким образом, работа посвящена изучению влияния параметров процесса осаждения на базе магнетронного распыления, на поведение сопротивления поверхности осаждённых на стекло слоёв ITO толщиной порядка 10 нм, в диапазоне температур до 400 С, с целью уточнения характера этой зависимости и определения возможности получения плёнок, сохраняющих поверхностное сопротивление в диапазоне 2..5 кОм/кв, при нагреве до 150 С.

1 Литературный обзор

1.1 Оксид индия-олова

Оксид индия – олова (Indium Tin Oxide - ИТО) одним из широко используемых материалов для производства прозрачных проводящих покрытий. Он представляет собой полупроводник с проводимостью n-типа и шириной запрещенной зоны порядка 3,6 эВ, благодаря чему обладает высокой прозрачностью в видимой области [1].

Проводимость в этом оксиде, в основном, обусловлена кислородными вакансиями и легирующей примесью, роль которого в данном случае играет олово. Кислородная вакансия, дает два электрона проводимости, а при введении легирующей примеси происходит замещение атома In^{3+} в узлах кристаллической решетки на Sn^{4+} , в результате чего возникает дополнительный свободный электрон [2]. Структура оксида индия сохраняется при легировании оловом до предела растворимости (6 ± 2 ат.%). В целом, концентрация электронов проводимости в ИТО может достигать 10^{20} см^{-3} [1].

ИТО, как собственно и сам оксид индия, в основном, имеет сложную объёмно-центрированную структуру с параметром ячейки 10,1 Å [8]. Существует также гексагональная решетка с параметрами ячейки 5,487 Å и 14,510 Å, соответственно, однако для её синтеза требуются специфические условия, такие как высокое давление и температура. Известна и метастабильная объёмно-центрированная кубическая структура оксида индия [9]. Плотность ИТО, практически, не отличается от плотности чистого In_2O_3 (7,12 г/см³) [8].

Характер проводимости ИТО обычно связан с изменением его структуры и фазового состава [10].

При малом уровне легирования, сопротивление оксида высокое из-за малого количества электронов проводимости. Затем, с увеличением примеси сопротивление снижается. Однако после определённого порога, связанного,

скорее всего с пределом растворимости, атомы примеси начинают занимать междоузлия и уже не добавляют электронов проводимости. Т.е. они становятся центрами рассеяния электронов, вследствие чего уменьшается время их свободного пробега и, соответственно, снижается проводимость материала.

Кроме того, атомы примеси, расположенные в междоузлиях, начинают связываться с атомами кислорода в результате чего, в оксиде индия образуются кластеры оксида олова. Это еще больше увеличивает дефектность In_2O_3 .

Также, проводимость прозрачного оксида (при фиксировано значении концентрации легирующей примеси) зависит и от потока кислорода, используемого при его осаждении, например, магнетронным распылением сплава In-Sn. В начале, с увеличением количества O_2 , образуется оксид индия. С ростом потока кислорода, его атомы начинают занимать не только узлы, компенсируя кислородные вакансии, но междоузлия. Частицы кислорода в такой позиции связываются с близкими атомами олова через его валентный электрон. Поэтому последние перестают быть донорами электронов проводимости. Всё это приводит к тому, что получаемый слой ИТО становится менее проводящим.

Помимо широкого применения в виде прозрачных контактов [], ИТО является единственным материалом для антистатического покрытия элементов тепловой защиты спутников. Это покрытие вносит значительный вклад в обеспечение его нормального функционирования в течение всего срока эксплуатации.

1.2 Применение оксида индия-олова в элементах тепловой защиты космического аппарата

Находясь на орбите, космический аппарат (КА) постоянно испытывает влияние потоков электромагнитного излучения и заряженных частиц. Под

действием этих факторов КА, в частности, приобретает электрический заряд, величина которого зависит от свойств среды, в которой проходит полет, электрофизических характеристик материалов и геометрических особенностей его поверхности [4].

На рисунке 1.1 приведена оценка величины потенциала, приобретаемого поверхностью спутника в зависимости от широты и высоты его расположения [5]. Специфический вид этой зависимости обоснован тем, что КА в околоземном пространстве занимают только определенные позиции.

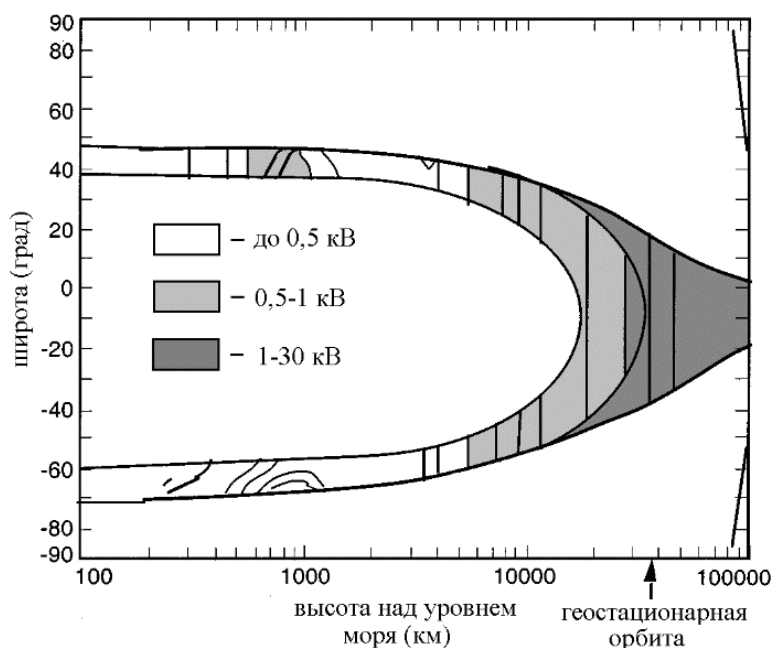


Рисунок 1.1. Оценочная зависимость величины потенциала, приобретаемого поверхностью КА от широты и высоты его местоположения [5].

Потенциал на поверхности аппарата увеличивается с высотой и достигает наибольших значений в области геостационарной орбиты. Данная орбита лежит на высоте 36 000 км в экваториальной плоскости и является местоположением многих современных телекоммуникационных спутников, т.к. позволяет одному спутнику непрерывно обслуживать абонентов на весьма большой площади поверхности Земли.

В принципе, для металлических частей поверхности КА проблема накопления заряда не стояла бы так остро, если бы их не надо было охлаждать.

Тепло, вырабатываемое бортовым оборудованием, передаётся корпусу и в дальнейшем нуждается в утилизации. Единственным способом сброса тепла является его эмиссия в окружающее пространство. Однако алюминий, из которого сделана большая часть корпуса КА, хорошо отражает солнечное излучение, но обладает низкой эмиссионной способностью в ИК диапазоне. В условиях космоса, конвективный теплообмен практически отсутствует и, со временем, температура металлический корпуса повышается. Происходит нагрев КА, что может привести, как минимум, к его некорректной работе.

Одним из решений данной проблемы могло бы быть нанесение на корпус КА плёнки, повышающей коэффициент эмиссии в ИК области. Однако, учитывая сложность рельефа поверхности и большие размеры корпуса, это становится экономически и технологически нецелесообразным. В такой ситуации, оптимальным является создание, отвечающих поставленным требованиям, отдельных малых элементов с простой конструкцией, которые затем закрепляются на поверхности КА. Например, такие элементы можно создать на основе тонких пластин стекла, которое обладает высоким коэффициентом эмиссии в ИК диапазоне. Чтобы предотвратить нагрев участков корпуса под действием солнечного света на одной стороне пластины можно осадить отражающую алюминиевую или серебряную плёнку. Там, где не нужно отражать излучение, например, на солнечных панелях, стекло можно использовать без отражающего слоя.

Однако поверхность стекла диэлектрическая, и на ней происходит накопление заряда, что приводит к возникновению электрических пробоев на поверхности КА. В результате пробоя ухудшаются характеристики или происходит выход из строя функциональных элементов и даже целых узлов, установленных на поверхности спутника. Например, это показано на рис. 1.3, где разряд возник на панели солнечных батарей в зазоре между защитными стёклами батарей и корпусом панели [6, 7].

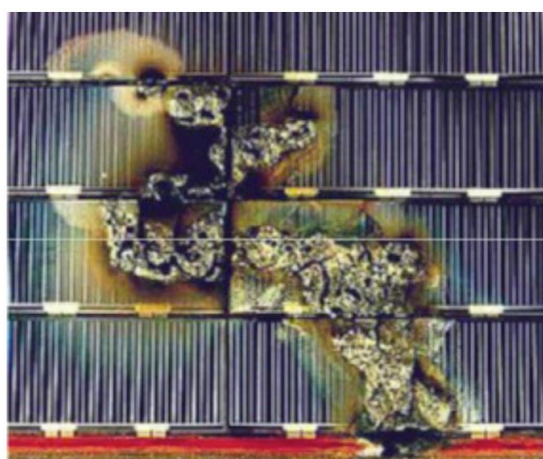
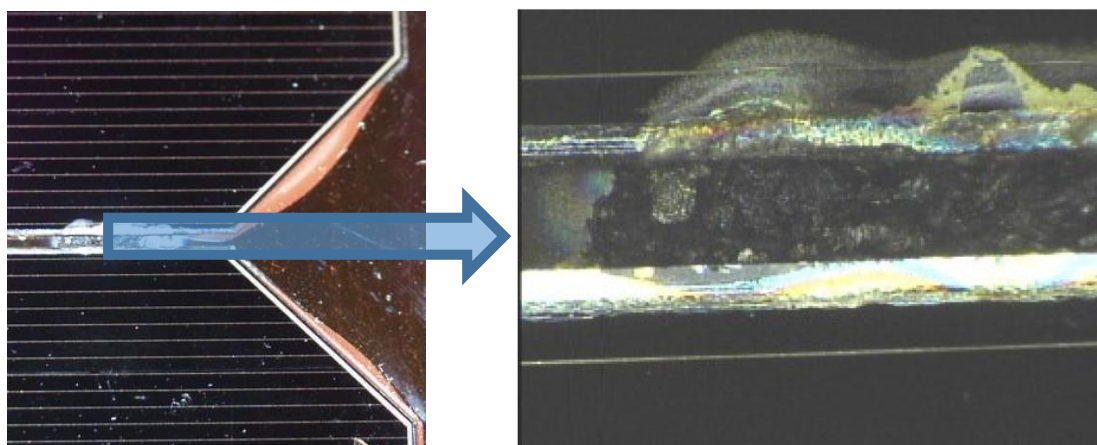


Рисунок 1.3 – Последствия пробоя и последующего горения дуги на солнечной панели: верхний рисунок, слева – общий вид, справа - увеличенный участок (расстояние между солнечными батареями 0,6 мм) [6]; нижний рисунок – более тяжелые последствия горения дуги [7].

Таким образом, для предотвращения накопления заряда, поверхность быть электропроводной, иметь высокий коэффициент пропускания в солнечном спектре и большой коэффициент эмиссии в ИК области. Для придания таких свойств на поверхность стекла осаждают покрытие из ИТО. Оно обеспечивает указанные требования, а также обладает высокой механической прочностью и адгезией к подложке. Данный материал широко используется в космической технике, т.к. успешно прошел лётные испытания [8].

Одним из основных электрических параметров слоя ИТО, как антистатического покрытия элементов тепловой защиты КА, является поверхностное сопротивление. Обычно оно должно быть в диапазоне 2..5 кОм/квadrat, при этом толщина ИТО составляет 10 нм и менее. Оптические свойства покрытия оцениваются по коэффициенту поглощения солнечного света всем изделием. В целом, наличие на его поверхности слоя ИТО такой толщины, повышает данный коэффициент на 5% .

На 90% поверхности современных КА находятся элементы тепловой защиты, поэтому для обеспечения большого объема производства этих изделий, на этапах осаждения его функциональных слоёв используется магнетронное распыление. Длина мишени магнетронной распылительной системы, равномерность толщины осаждаемого слоя, а также наличие подвижного держателя подложек, позволяют получать покрытие на значительном количестве изделий одновременно.

Формирование слоя ИТО возможно распылением как металлической мишени из сплава индия и олова, так и керамической мишени из смеси их оксидов. В последнее время, предпочтение отдаётся второму варианту. Практически во всех случаях, дополнительно используется этап тепловой обработки. В большинстве своём, этот этап проводится после осаждения плёнки, что приводит к снижению и стабилизации во времени значений её поверхностного сопротивления. Обычно, нагрев происходит до температуры 300...400 °С, которая поддерживается в течении порядка 1 ч [9].

1.3. Принцип действия магнетронной распылительной системы

Магнетронные распылительные системы получили свое название от СВЧ приборов (магнетронов) в работе которых используются скрещенные электрические и магнитные поля. Данные устройства широко используются в вакуумных установках для осаждения тонких плёнок на поверхность твёрдых тел. Формирование покрытия происходит путём распыления их мишеней ионами рабочего газа, образующимся в плазме аномально тлеющего разряда.

Высокая скорость распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы поверхности мишени с помощью магнитного поля [10].

Принцип действия магнетронной распылительной системы изображен на рисунке 1.5. Основными элементами магнетронной распылительной системы являются: катод-мишень 1, анод 4 и система магнитов под поверхностью мишени 2 с помощью которых создается однородное магнитное поле. Поверхность мишени, расположенная между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля 7, распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы. Для охлаждения мишени в корпус МРС подаётся вода.

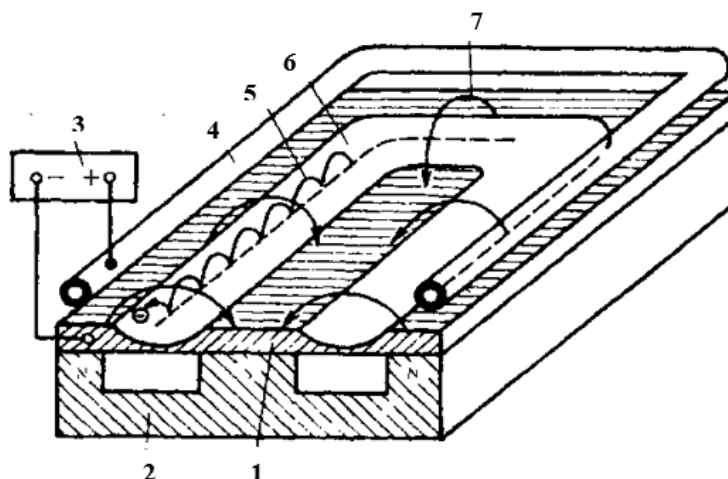


Рисунок 1.5 – Схема магнетронной распылительной системы с плоской мишенью: 1 – катод-мишень; 2 – магнитная система; 3 – источник питания; 4 – анод; 5 – траектория движения электрона; 6 – зона распыления; 7 – силовая линия магнитного поля. [9]

Для работы МРС размещается в вакуумную камеру. При этом обеспечивается её электрическая изоляция от камеры и находящегося в ней оборудования. После достижения в камере давления остаточных газов на

уроне $10^{-3}..10^{-4}$ Па, в неё напускается рабочий газ. Магнитная ловушка облегчает зажигание разряда, обеспечивая концентрацию электронов у поверхности мишени большую, чем в остальном объёме.

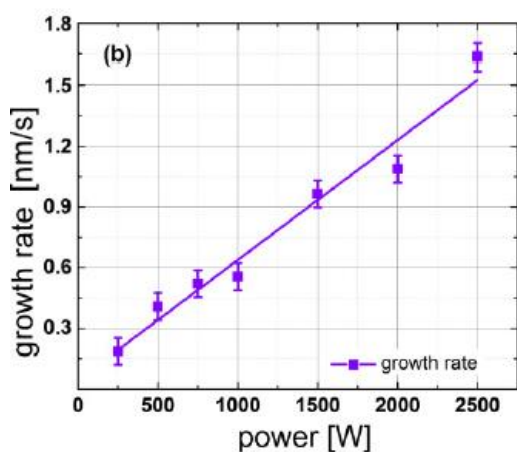
При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный потенциал), электроны, находящиеся в магнитной ловушке, приобретают дополнительную энергию от электрического поля. После того, как величина напряжения достигнет некоторого значения, достаточного для того чтобы электроны смогли ионизовать частицы рабочего газа, происходит их быстрая лавинообразная ионизация. Образовавшиеся ионы, практически по прямолинейным траекториям бомбардируют поверхность мишени, выбивая из нее атомы и инициируя выход вторичных электронов.

Рабочее напряжение МРС обычно составляет 200 – 700 В. На мишень подается отрицательное смещение, а анод, чаще всего, заземляют. В большинстве случаев роль анода выполняют стенки рабочей камеры. Плотность тока в системах с плоским катодом составляет в среднем 200 мА/см². Значения удельной мощности в таких системах достигает порядка 100 Вт/см². Предельная допустимая мощность определяется условиями охлаждения мишени теплопроводностью распыляемого материала. Магнетронная распылительная система работает в диапазоне давлений от $5 \cdot 10^{-1}$ до 1 Па и выше. Величина индукции магнитного поля у поверхности мишени составляет 0,03 – 0,1 Тл. К достоинству МРС можно отнести относительную простоту конструкции, хорошую управляемость рабочим процессом, низкое тепловое воздействие на подложку. Одним из основных недостатков является относительно малый коэффициент использования мишени [11].

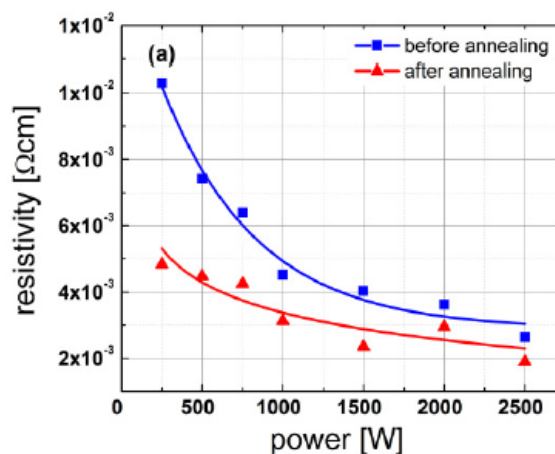
1.4 Получение плёнок ИТО магнетронным распылением

Свойства плёнок ИТО, как и любых других тонких слоёв, во много определяются электрическими параметрами разряда, в частности мощностью, и величинами расхода рабочих газов. Помимо этого, на их характеристики существенно влияют условия температурной обработки.

Влияние мощности разряда, в основном, оценивается через рост толщины плёнки. Скорость роста слоя ИТО, как и в случае плёнок из других материалов [13] имеет линейную зависимость, как например это показано на рис. 1.7 а, где данный слой осаждался распылением керамической мишени 90% In_2O_3 - 10% SnO_2 [12]. Увеличением мощности приводит к снижению удельное сопротивление за счёт большей толщины получаемого покрытия (см. рис. 1.7 б). Также снижение сопротивления наблюдается после тепловой обработки покрытия при температуре ...°С, в течение ... ч. Можно также отметить, что с ростом толщины уменьшается разница между удельным сопротивлением отожжённых и неотожжённых плёнок.



а)



б)

Рисунок 1.7 - Зависимость скорости роста (а) и удельного сопротивления плёнки ИТО (б) от мощности магнетронного разряда [12]

В статье [14] исследовалось влияние смеси газов аргон–кислород и аргон-водород на морфологию поверхности и электрические параметры плёнок ИТО также полученных с помощью МРС с керамической мишенью.

В результате работы (см. рис. 1.11) выдвигалось предположение, что увеличение расхода кислорода в соотношении с аргонem ведет к повышению удельного сопротивления из-за уменьшения подвижности и количества носителей заряда. При применении водорода в качестве активного газа, зависимость удельного сопротивления от величины его расхода, изначально претерпевает резкое падение, но при дальнейшем увеличении расхода оно практически не изменяется, что интерпретируется увеличением количества носителей заряда и их подвижности.

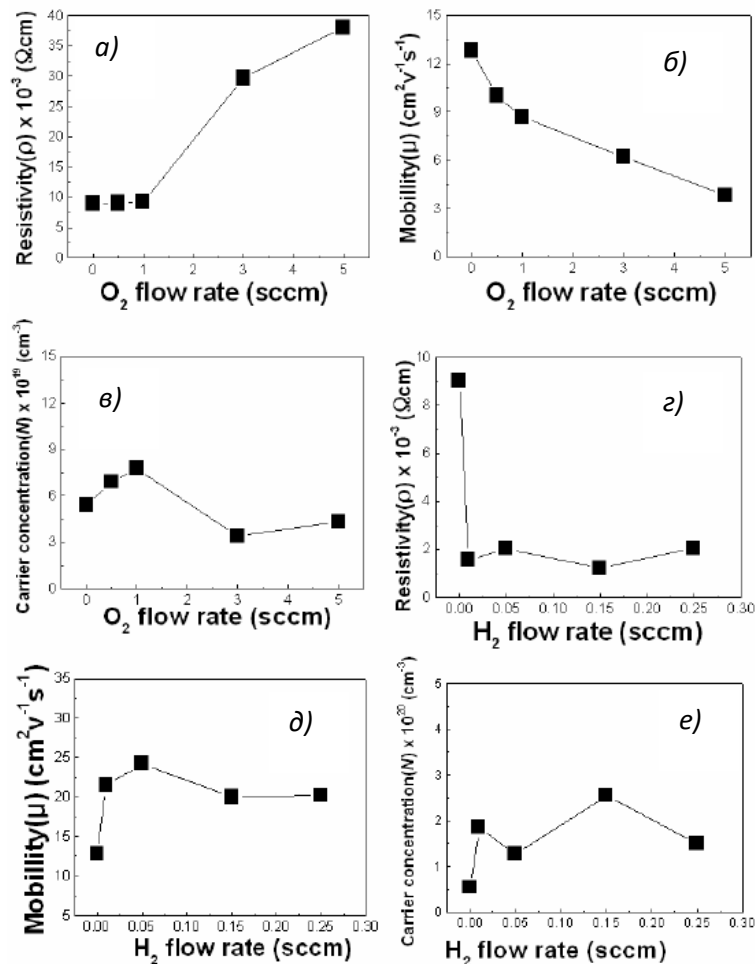


Рисунок 1.11 – удельное сопротивление (ρ), подвижность носителей заряда (μ), концентрация носителей заряда (N) в тонкой плёнке ИТО в зависимости от расхода кислорода (а) – (в) и водорода (г) – (е) [14]

Увеличение расхода кислорода ведет к компенсации их вакансий и увеличению удельного сопротивления, использование водорода предположительно стимулирует рост количества вакансий в покрытии, однако отмечается, что большее влияние на электрическое сопротивление тонких плёнок ИТО оказывает подвижность зарядов, а не их концентрация.

Размеры зёрен (см. рис. 1.12) плёнок, осажденных с использованием только аргона и его смеси с кислородом не имеют сильных отличий. Здесь наблюдаются небольшие размеры зёрен независимо от скорости потока O_2 . Для плёнок, полученных в среде смеси аргона и водорода средний размер зерна меньше, а пустоты в области границ зёрен намного меньше. Полученные результаты показывают, что добавочные газы оказывают важное влияние на физические характеристики такие как ориентация кристаллов и микроструктуру тонких плёнок [14].

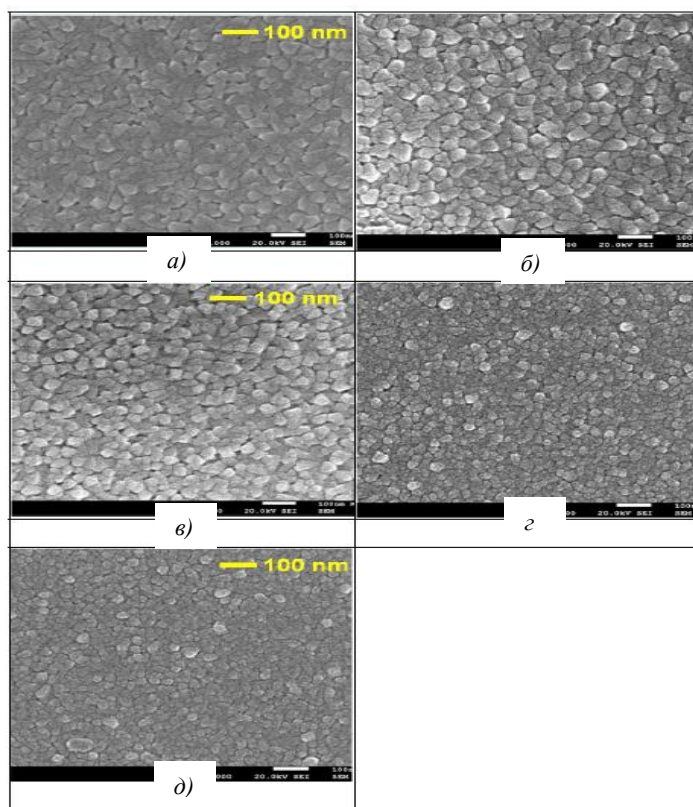


Рисунок 1.12 – Снимки сканирующего электронного микроскопа с полевым эффектом плёнок полученных в следующих режимах: (а) в чистом аргоне; (б) 0.5 sccm O_2 ; (в) 5 sccm O_2 ; (г) 0.01 sccm of H_2 ; (д) 0.25 sccm of H_2 [14]

Тепловая обработка является одним из эффективных способов изменения характеристик тонких плёнок. Для слоёв ИТО, отжиг, в большинстве своём, приводит к повышению электропроводности, структурному совершенству и улучшению оптических свойств. Данная процедура обычно осуществляется при температурах до 400..500 °С и длится от 20 минут до 1..1,5 часа.

В некоторых случаях обработка происходит в определённых средах и при заданном давлении, например, в среде водорода [15]. Здесь, при отжиге 150 нм плёнки ИТО находящейся в среде с давлением газа 20 Торр, заметное уменьшение удельного сопротивления образца, с $6,2 \cdot 10^{-4}$ до $2,7 \cdot 10^{-4}$ Ом·см, происходит в области 300..500 °С (рисунок 1.13 а). В то же время в исходной аморфной плёнке, формирование кристаллических плоскостей в направления (440) и (222), характерных для ИТО, наблюдается уже при 100 °С (рисунок 1.13 б).

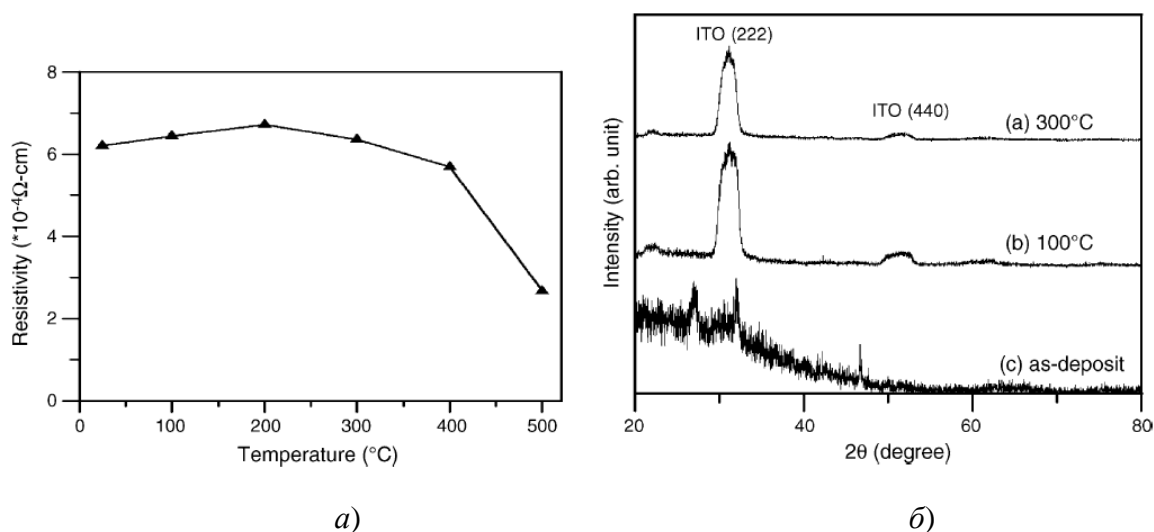


Рисунок 1.13 – Влияние отжига в среде водорода на параметры пленок ИТО: а) – изменение удельного сопротивления; б) - данные рентгеновской дифракции [15]

Слой ИТО располагался на стекле ($15 \times 50 \times 0,63 \text{ мм}^3$). Отжиг проводился в течение 20 мин. В процессе отжига пропускание образцов практически не менялось, его среднее значение составляло порядка 90%.

Помимо определённой газовой среды, тепловая обработка может проводиться в вакууме, как, например, в случае плёнок ИТО, полученных методом высокочастотного (13,56 МГц) магнетронного распыления на стеклянных подложках размером $25 \times 10 \text{ мм}^2$ [16]. Здесь, отжиг, при $400 \text{ }^\circ\text{C}$ в течении 30 мин, осуществлялся для плёнок, осаждённых при температурах подложки (T_s) от комнатной (RT) до $350 \text{ }^\circ\text{C}$. Давление остаточных газов составляло менее 10^{-5} мбар.

Осаждение плёнок проводилось распылением керамической мишени ($90\% \text{ In}_2\text{O}_3 - 10\% \text{ SnO}_2$) в следующих условиях: давление остаточных газов - $5 \cdot 10^{-6}$ мбар, давление рабочего газа $\text{Ar} + \text{O}_2$ - $2 \cdot 10^{-3}$ мбар, расход Ar – $26 \text{ см}^3/\text{мин}$, расход O_2 – $1 \text{ см}^3/\text{мин}$, мощность разряда - 40 Вт , время осаждения 16 мин, расстояние мишень-подложка - 9 см. Толщина плёнок составляла 100 нм.

В данном случае, при нагреве подложки, формирование характерных кристаллографических плоскостей в структуре плёнки начинается при $T_s = 150^\circ\text{C}$, а при T_s больше или равной 250°C , амплитуда их пиков на данных рентгеновской дифракции резко возрастает (рисунок 1.14). После отжига эти плоскости наблюдается для всех случаев осаждения слоя ИТО (рисунок 1.15).

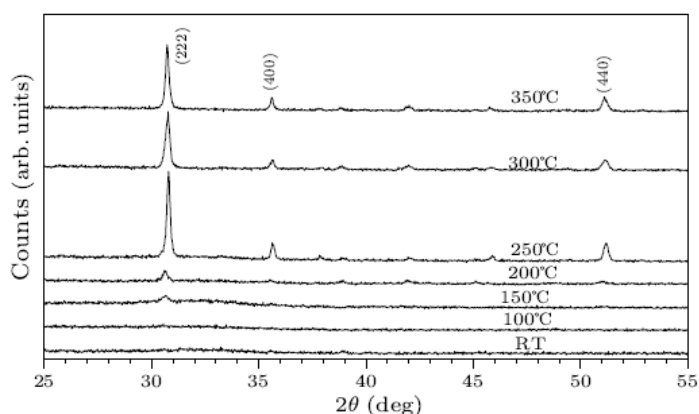


Рисунок 1.14 – Данные рентгеновской дифракции для образцов до их тепловой обработки [16]

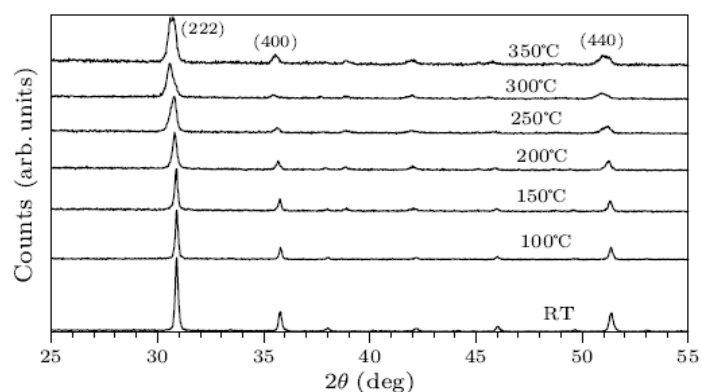


Рисунок 1.15 – Данные рентгеновской дифракции для образцов после тепловой обработки [16]

При работе без отжига, повышение T_s до 100°C ведет к росту подвижности (μ) и концентрации (n) носителей заряда (рисунок 1.16 и 1.17), в результате чего снижается сопротивление (ρ) образцов (рисунок 1.18).

Далее, при $T_s=150^\circ\text{C}$, несмотря на высокое μ , уменьшение n , сказывается на увеличении ρ .

В дальнейшем, до $T_s=250^\circ\text{C}$, μ падает почти в 2 раза. На этом фоне n возрастает практически в 3 раза, как считается, за счёт более интенсивного встраивания в решетку ионов Sn^{4+} вместо In^{3+} . С другой стороны, при $T_s=150^\circ\text{C}$ начинают формироваться кристаллические плоскости и, возможно, эта перестройка отрицательно сказывается на μ .

После $T_s=250^\circ\text{C}$, рост n замедляется, что можно связать с приближением к пределу легирования. Также, при данной температуре, судя по заметному повышению характерных пиков на рентгенограмме (рисунок 1.8), окончательно формируются кристаллографические плоскости, и с дальнейшим нагревом их совершенство возрастает, вызывая повышение μ .

При отжиге образцов, рост n связывают, в основном с увеличением числа кислородных вакансий. В тоже время μ не показывает резких изменений (рисунок 1.17) как в предыдущем случае, скорее всего по причине сформированной кристаллической структуры.

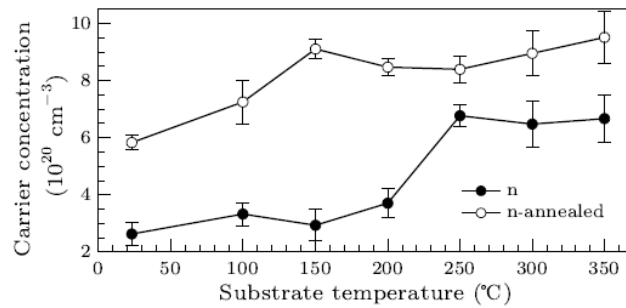


Рисунок 1.16 – Зависимость концентрации носителей в пленке ИТО до и после ее отжига [16]

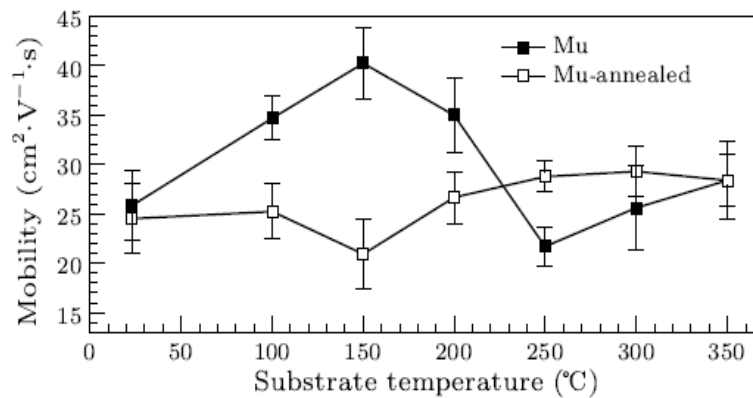


Рисунок 1.17 – Изменение подвижности носителей в пленке ИТО до и после ее отжига [16]

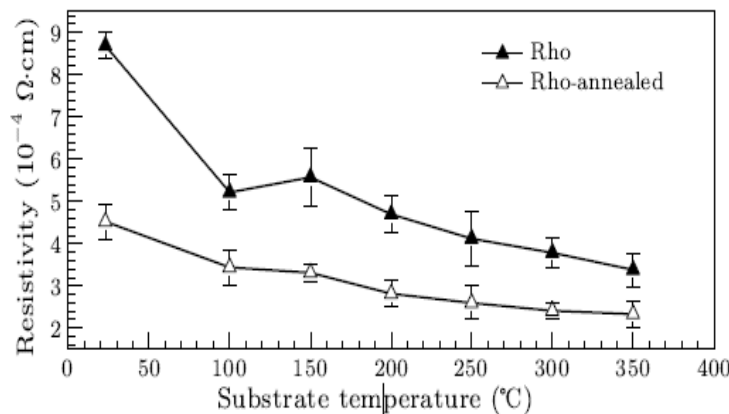


Рисунок 1.18 – Удельное сопротивление пленок ИТО до и после тепловой обработки [16]

В целом, с повышением T_s от комнатной до 350 °C, удельное сопротивление снижется от $8,7 \cdot 10^{-4}$ Ом·см до $3,4 \cdot 10^{-4}$ Ом·см для образцов полученных без последующего отжига в вакууме и с $4,5 \cdot 10^{-4}$ Ом·см до $2,3 \cdot 10^{-4}$ Ом·см для плёнок прошедших соответствующую обработку. При этом

пропускание первых образцов в ближней УФ области возрастает (рисунок 1.19), а последние изначально показывают большие коэффициенты пропускания в этом диапазоне (рисунок 1.20), которые слабо зависят от T_s .

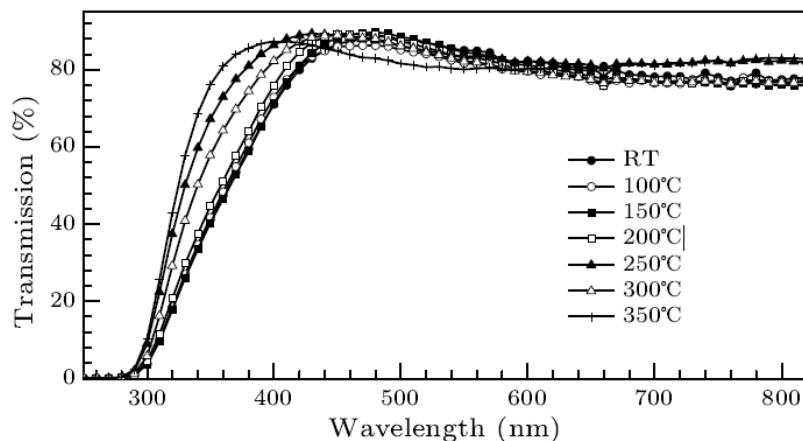


Рисунок 1.19 – Спектр пропускания неотожженных пленок [16]

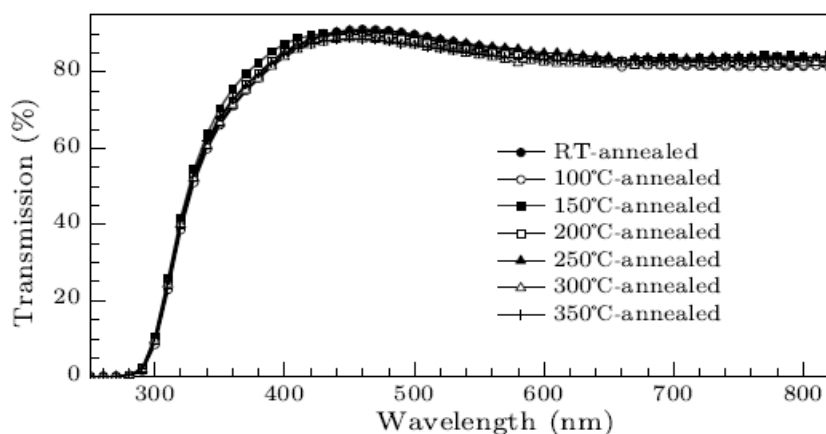
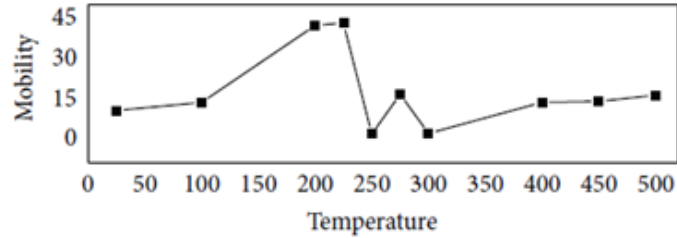


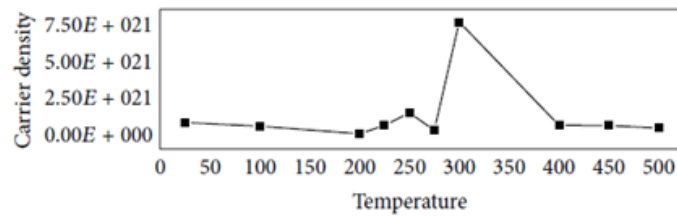
Рисунок 1.20 – Спектр пропускания отожженных пленок [16]

Сложный характер зависимости электрических параметров плёнок ИТО от температуры отжига характерен и при их тепловой обработке в атмосфере, как это показано на рисунке 1.21 *a-v*, для слоёв ИТО толщиной 20 нм, полученных распылением керамической мишени (90% In_2O_3 - 10% SnO_2) [16]. В данном случае осаждение проводилось с использованием Ag при давлении рабочего газа $2 \cdot 10^{-3}$ Торр. Давление остаточных газов составляло $8 \cdot 10^{-6}$ Торр, диаметр мишени – 75 мм, расстояние мишень-подложка – 8 см. В качестве

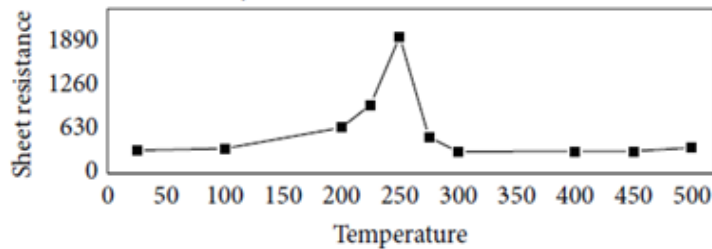
подложки использовались стеклянные пластины В270 размером 25×25×1 мм. Питание МРС осуществлялось током частотой 20 кГц, мощность разряда была на уровне 100 Вт, время отжига – 1 ч.



a)



б)



в)

Рисунок 1.21 – Изменение подвижности и концентрации носителей заряда (а, б), а также поверхностного сопротивления (в) для пленки толщиной 20 нм в зависимости от температуры отжига в атмосфере [17]

Увеличение сопротивления в области 200..250 °С связывают с уменьшением числа вакансий, по причине их компенсации кислородом поступающим в плёнку из атмосферы. Последующее снижение ρ объясняется внедрением частиц Sn в кристаллическую решетку. В то же время, в этом температурном диапазоне начинается формирование кристаллографических плоскостей (рисунок 1.22 а). Возможно, этим объясняется резкий спад μ , по

причине которого, по всей видимости, возрастает ρ . Увеличение n в области 300 °С связывается с внедрением в узлы решетки частиц Sn. На это указывает смещение пика, соответствующего плоскости (222), когда угол θ увеличивается при уменьшении межплоскостного расстояния (см. вставку на рисунок 1.22 а). Последнее вызывается замещением $\text{Sn}^{4+} \rightarrow \text{In}^{3+}$, т.к. Sn^{4+} обладает меньшим ионным радиусом. С ростом температуры θ продолжает увеличиваться, однако это приводит к быстрому снижению n . Возможно, при переходе к кристаллической структуре были сформированы дополнительные вакансии, которые затем были заняты кислородом.

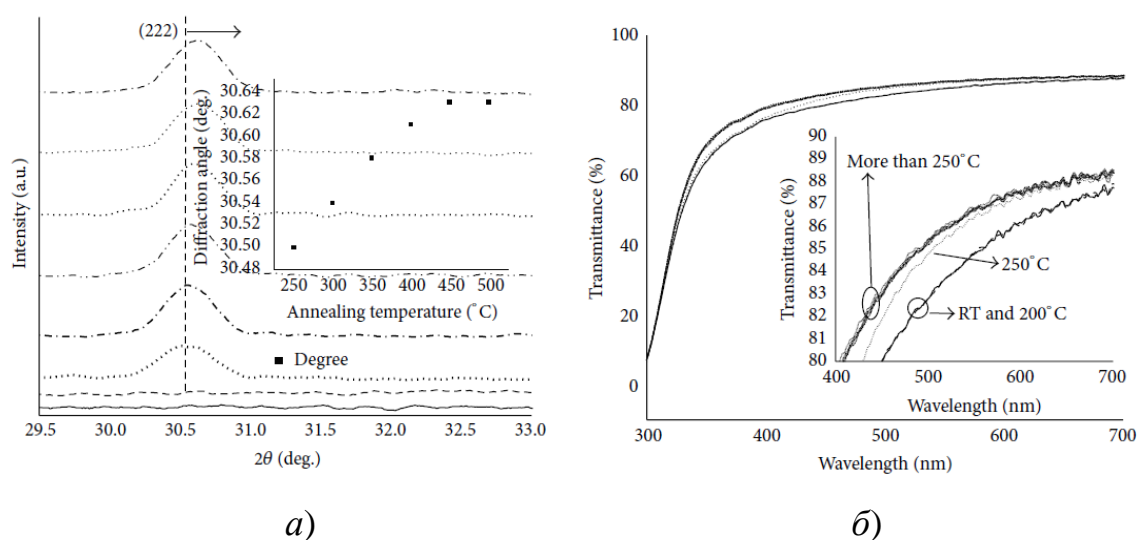


Рисунок 1.22 – Пики рентгеновской дифракции (а) и коэффициент пропускания (б) ультратонких пленок ИТО в зависимости от температуры отжига [17]

Повышение коэффициентов пропускания связывают с оксидированием при отжиге в атмосфере (см. рисунок 1.22 б). Здесь также можно заметить, что повышение происходит при переходе плёнки к кристаллической структуре.

Наиболее распространённым является отжиг в атмосфере [19-27] и разряженной среде [28-34]. Общая тенденция показывает, что тепловое воздействие снижает удельное сопротивление и повышает коэффициенты пропускания, особенно в коротковолновой части спектра. Сложный характер

изменения значений этого параметра, как, например, на рисунке 1.21 в, показывают плёнки тоньше 40 нм.

2 Уточнение задач исследования

Сведения из источников показывают, что при магнетронном распылении, наиболее заметное влияние на электрические и оптические свойства плёнок ИТО оказывают соотношения рабочих газов и величины потоков реактивного газа. В тоже время и отжиг слоёв ИТО не менее серьёзно изменяет их характеристики.

Несмотря на составляющие керамической мишени, которые находятся в виде оксидов, для получения покрытий с высоким пропусканием света, в смеси рабочего газа необходимо наличие кислорода $\sim 10\%$ от значения потока аргона.

При отжиге на воздухе или в разряженной среде, начиная с $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, в плёнках наблюдается формирование кристаллографических плоскостей. Для слоёв толщиной 100 нм и более, с ростом температуры происходит снижение удельного сопротивления, по характеру напоминающее его изменение с увеличением толщины слоя. Однако в случае плёнки толщиной 20 нм эта зависимость имеет сложный вид с максимумом в области температур, при которых возникают кристаллографические плоскости.

В случае отжига в водороде, формирование плоскостей происходит уже при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, а сопротивление при нагреве в этой атмосфере, сохраняет относительную стабильность вплоть до $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Однако, это специфический пример, так как антистатические покрытия работают в космосе, а хранятся на воздухе при условиях близких к нормальным. Поэтому тепловые исследования необходимо проводить в средах, близких к ним. Проще всего, это сделать на воздухе. К тому же, если покрытие покажет положительный результат в присутствии кислорода, то можно говорить о том, что и в разряженной среде оно покажет такой же результат.

Тепловое воздействие на покрытия ИТО повышает их коэффициенты пропускания света на величину от 20% до $3..5\%$, особенно в области длин волн

360...450 нм. В целом, в диапазоне 400...700 нм коэффициенты пропускания находятся на уровне 80...86%.

Время теплового воздействия в лабораторных исследованиях плёнок ИТО оставляет 0,5...1 час.

В качестве антистатического покрытия КА используются слои ИТО толщиной ~10 нм. Указано, что их поверхностное сопротивление находится в пределах 2...10 кОм/квadrat. Заявленный температурный диапазон эксплуатации -75...+65 °С. Сведения по технологии получения этих слоёв отсутствуют. При производстве подобных отечественных изделий, ориентируются на такие же параметры по сопротивлению, но диапазон температур расширен: -150...+150 °С. Плёнки осаждаются магнетронным распылением металлической мишени и требуют отжига для достижения заданных стабильных значений сопротивления. Согласно документации, на отжиг отводится до 3 ч.

Изучение сведений по теме работы показывает, что температурная зависимость поверхностного сопротивления плёнок толщиной 20 нм и менее, рассмотрена недостаточно, что делает актуальным проведение такого исследования. Согласно источникам, практически все исследования происходят при температурах до 400 °С, т.е. захватывают область формирования кристаллографических плоскостей и близлежащие районы. Важным, в свете цели работы, является то, что у такого покрытия, в диапазоне до +150 °С, изменения сопротивления незначительны по сравнению со слоями большей толщины. К тому же, его оптический спектр не содержит экстремумов, обеспечивая максимальное пропускание света.

При снижении температуры ниже комнатной, логично допустить уменьшение теплового воздействия на свойства пленок, что даёт основания говорить о том, что в этой температурной области изменения гораздо меньше, чем при высоких температурах и, следовательно, для исследования можно ограничиться диапазоном +30...+400 °С.

Таким образом, для достижения цели работы были поставлены следующие задачи.

- Определить режимы работы МРС с керамической мишенью, при которых на стекло осаждаются плёнки ITO толщиной порядка 10 нм и поверхностным сопротивлением 2...10 кОм/квадрат.

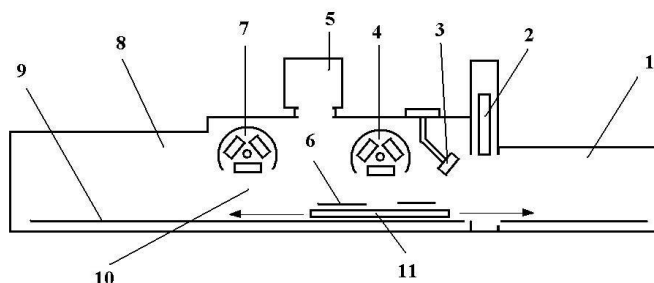
- Варьируя соотношением потоков аргона и кислорода изучить поведение поверхностного сопротивления плёнок в области температур +30...+400 °С при их тепловой обработке на воздухе.

- Определить технологические режимы, обеспечивающие заданное сопротивление при нагреве образцов до +150 °С.

3 Оборудование для проведения эксперимента и методики анализа образцов

3.1 Установка магнетронного осаждения

Получение плёнок ИТО проводилось на установке, показанной на рисунке 2.1. Данная машина предназначена для осаждения тонкослойных покрытий на поверхность твёрдых тел и обработки различных материалов потоками газовых ионов



1 – шлюз, 2 – вакуумный затвор, 3 – ионный источник с замкнутым дрейфом электронов, 4, 7 – блок магнетронов, 5 – источник газовых ионов с высокой энергией, 6 – ограничивающая щель, 8 – реверсивная камера, 9 – рельсы, 10 – рабочая камера, 11 – стол системы перемещения.

Рис. 3.1 – Лабораторная установка и схема размещения её технологического оборудования.

Шлюзовая камера (1) служит для загрузки изделий в установку без нарушения вакуума в рабочей камере. Здесь, образцы размещаются на подвижном столе (11) площадью $500 \times 500 \text{ мм}^2$.

Рабочая камера (10) предназначена для проведения процессов плазменной обработки образцов. С этой целью здесь расположено следующее оборудование.

Ионный источник с замкнутым дрейфом (3) электронов для очистки образцов потоком ионов с энергией 1-4 кэВ. В данном случае источник располагался параллельно к поверхности образцов на расстоянии 10 см.

Две револьверные головки с тремя планарными МРС каждая (4, 7). Импульсные блоки питания МРС регулируют подаваемую на мишень разность потенциалов и ток разряда в диапазонах 200-700 В и 0,5-15 А соответственно, в режимах стабилизации тока, напряжения или мощности.

Длина ионного источника и магнетронов составляет 700 мм.

Источник газовых ионов (5) располагается на рабочей камере. Основное его назначение облучение поверхности образцов пучком газовых ионов с энергией до 45 кэВ (ток пучка – до 40 мА, ширина 600 мм).

Шлюз и рабочая камера разделяются высоковакуумным затвором (2).

Установка снабжена системой напуска рабочих газов на основе регуляторов расхода газа РРГ-10.

Реверсивная камера (8) предназначена для вывода изделий из зоны обработки плазменными потоками. В ней расположены основные элементы системы перемещения.

Система перемещения обеспечивает равномерное возвратно-поступательное движение стола со скоростью $2 \div 10$ мм/с.

Основой вакуумной системы установки является турбомолекулярный и безмасленный форвакуумный насосы.

Установка АРМ НТП-3 снабжена системой управления на базе программируемого логического контроллера и персонального компьютера. Параметры процесса плазменной обработки задаются посредством управляющей программы, но сам процесс контролируется оператором. Вся информация о работе установки сохраняется и в случае необходимости можно найти и восстановить те или иные данные или последовательность действий.

3.2 Измерение толщин получаемых плёнок

Толщины осаждаемой пленки оценивалось по изменению частоты кварцевого датчика (см. рис. 3.2 а). Для осаждения покрытия на его

поверхность, держатель, внутри которого он находился, отсоединяли от измерителя (рис. 3.2 б) и располагали на столе системы перемещения установки.

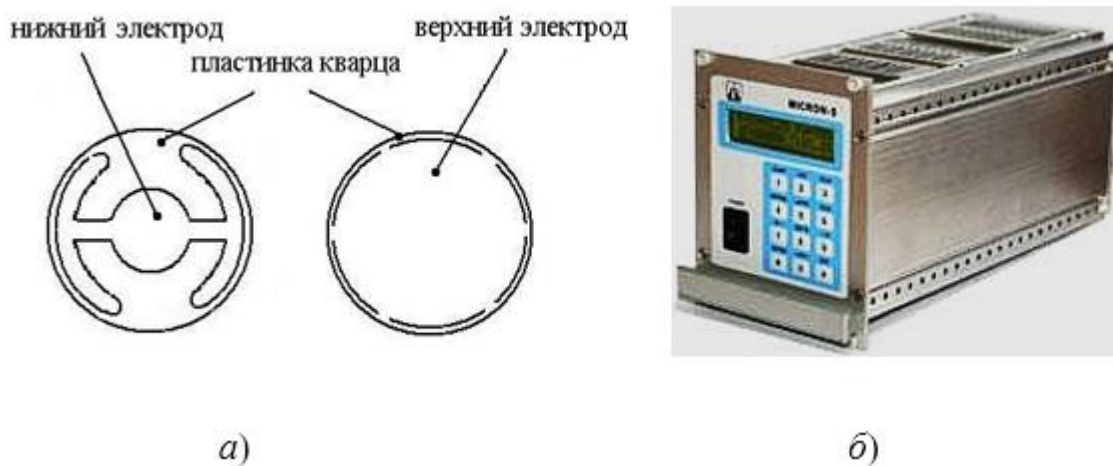


Рисунок 3.2 – Кварцевый датчик (а) и измеритель его частоты «Микрон-5» (б)

Сдвиг частоты Δf кварцевой пластины описывается следующим выражением [35]

$$\Delta f = -\frac{Kf_0^2 \Delta M}{N\rho_q A}, \quad (3.1)$$

где K - постоянная, величина которой зависит от распределения осажденной пленки по площади (A) рабочей стороны пластины;

ρ_q - плотность кварца ($2,65 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$);

$N = 1,67 \cdot 10^6 \text{ Гц}\cdot\text{мм}$;

f_0 - начальная резонансная частота пластины (Гц);

ΔM - масса осажденного вещества (г).

В нашем случае площадь A ограничивается диаметром отверстия держателя. Если принять, что $\Delta M = \rho A d$, где ρ – плотность осаждаемой пленки; d – толщина пленки. Таким образом формулу (3.1) можно переписать как

$$d = \left| -\frac{\Delta f N \rho_q}{K f_0^2 \rho} \right|, \quad (3.2)$$

Метод сдвига резонансной частоты кварцевой пластины, обычно применяется для контроля пленок толщиной от нескольких нанометров до десятков нанометров.

Измерения толщины также проводились с помощью метода оптической профилометрии (см. рис. 3.3).

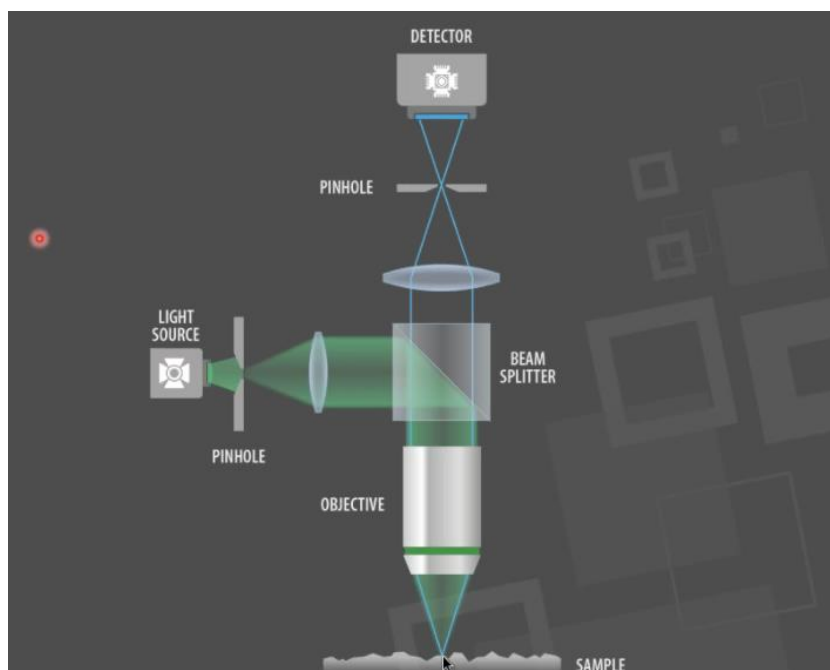


Рисунок 3.3 – Схематическое изображение конфокального профилометра [36]

Суть метода заключается в использовании волновых свойств света для сравнения оптической разности пути между тестируемой поверхностью и эталонной. При прохождении света через призму, часть пучка попадает на исследуемую поверхность, вторая часть пучка попадает на опорное зеркало. При расстоянии от делительной призмы до зеркала уравнивается с расстоянием до тестируемой плоскостью лучи, отраженные от этих поверхностей, интерферируют и возникает интерференционная картина. Если длина волны известна, то можно рассчитать разницу высот по поверхности в долях волны. Из этих различий в высоте получается измерение поверхности [36].

3.3 Методы измерения сопротивления покрытий

Схема оперативного замера сопротивления представлена на рисунке 3.4.

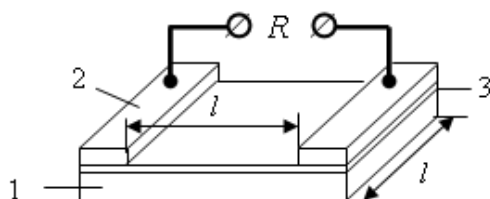


Рисунок 3.4 – Схема измерения сопротивления образцов: 1 – стекло, 2 – медные контакты, 3 – плёнка ИТО, l – размеры измеряемой области поверхности плёнки.

Для уточнения оперативного замера сопротивления образцы измерялись с помощью четырёхзондового метода. Преимущество этого метода состоит в том, что для его применения не требуется создания омических контактов к образцу, возможно измерение удельного сопротивления образцов самой разнообразной формы и размеров. Условием его применения с точки зрения формы образца является наличие плоской поверхности, линейные размеры которой превосходят линейные размеры системы зондов [37].

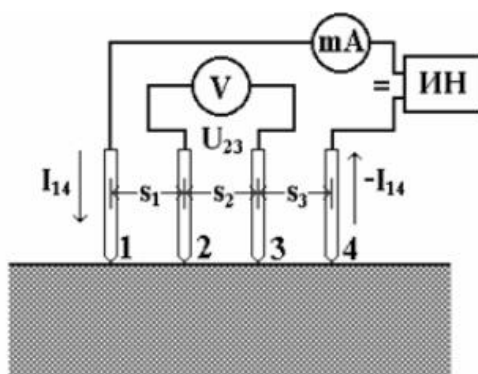


Рисунок 3.5 – Электрическая схема измерения: ИН – источник постоянного напряжения; V – вольтметр; mA – миллиамперметр [37].

Схема измерения сопротивления четырехзондовым методом представлена на рис. 1. На плоской поверхности образца вдоль прямой линии размещены четыре металлических зонда с малой площадью соприкосновения.

Расстояния между зондами s_1 , s_2 и s_3 . Через внешние зонды 1 и 4 пропускают электрический ток I_{14} , на внутренних зондах 2 и 3 измеряют разность потенциалов U_{23} . По измеренным значениям I_{14} и U_{23} можно определить удельное сопротивление образца [37].

3.4 Установка для отжига образцов

Тепловое воздействие на образцы происходила в нагревательной установке, показанной на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Нагревательная установка ATS 3210: внешний вид (слева) и место размещения образцов для проведения тепловой обработки (справа)

Данная установка оборудована управляющим устройством, с помощью которого устанавливается и автоматически поддерживается температура отжига.

3.5 Измерение спектров пропускания

Для исследования спектров образцов использовался спектрофотометр СФ-2000 (см. рис. 3.7)



Рисунок 3.7 – Спектрофотометр СФ – 2000

Принцип действия спектрофотометра основан на измерении отношения двух световых потоков: светового потока, прошедшего через исследуемый образец, и потока, падающего на исследуемый образец (или

прошедшего через контрольный образец). В световой поток от источника излучения поочередно вводятся затвор, для определения темнового сигнала, расположенный внутри спектрофотометра, контрольный образец и исследуемый образец [38].

Коэффициент пропускания T исследуемого образца рассчитывается по формуле

$$T = \frac{(I - I_T)}{(I_K - I_T)},$$

где I – сигнал, пропорциональный световому потоку, прошедшему через исследуемый образец;

I_K – сигнал, пропорциональный световому потоку, прошедшему через контрольный образец;

I_T – сигнал, пропорциональный темновому току приемника.

3.6 Измерение состава поверхности

Для анализа поверхности использовался метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (XPS - X-ray Photoelectron Spectroscopy).

Данный метод неразрушающего анализа, применяется для широкого спектра задач, от идентификации загрязнения поверхности образца до исследования характеристик материалов. Он применим для исследования материалов во всех агрегатных состояниях и обладает широкими возможностями благодаря выбору ионизирующего излучения [39].

Принцип работы основан на измерении энергии фотоэлектронов, выбитых с различных уровней атомов при облучении вещества рентгеновским излучением (рис. 3.8) [40].

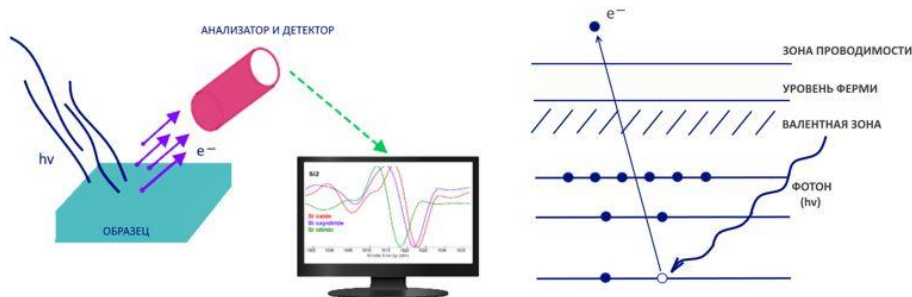


Рисунок 3.8 – Схема метода XPS

Под действием кванта излучения электроны, находящиеся на различных энергетических уровнях, выбиваются приобретая кинетическую энергию от энергии налетевшего на электрон фотона [40].

$$h\nu = E_{\text{св.}} + E_{\text{кин.}} + \varphi,$$

Где $h\nu$ - энергия возбуждающего фотона;

$E_{\text{св.}}$ - энергия связи электрона;

$E_{\text{кин}}$ – фиксируемая в эксперименте кинетическая энергия вылетевшего электрона;

φ - работа выхода спектрометра.

Так как параметры $h\nu$ и φ известны, а $E_{\text{кин}}$ определяется экспериментально, это позволяет рассчитать энергию связи электрона в веществе [40].

Кинетическая энергия каждого электрона регистрируется, таким образом, спектр вылетевших электронов в шкале кинетических энергий копирует энергетическое распределение e в твердом теле. Каждый химический элемент имеет свои определенные значения энергии связи для внутренних электронных уровней, поэтому по полученному энергетическому спектру можно определить элементный состав вещества [40].

В методе рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии в качестве источника излучения выступает рентгеновская трубка.

Диапазон рабочих энергий может быть до 1250 эВ и более, то есть охватывает практически все электронные уровни химических элементов. Это позволяет: проводить качественный анализ, определять состав поверхности, устанавливать валентность элементов и изучать электронную структуру валентных состояний около уровня Ферми [40].

3.7 Исследование шероховатости поверхности

Анализ шероховатости образцов проводился с помощью атомно силового микроскопа в контактном режиме работы.

АСМ зондируют поверхность образца острой иглой длиной 1–2 мкм и диаметром обычно не более 10 нм. Игла устанавливается на свободном конце измерительной консоли.

Основной принцип работы АСМ заключается в воздействии сил со стороны поверхности образца на острие сканирующей иглы. Сила, которая чаще всего ассоциируется с АСМ, – это межатомная сила, называемая также Ван-дер-Ваальсовой [41].

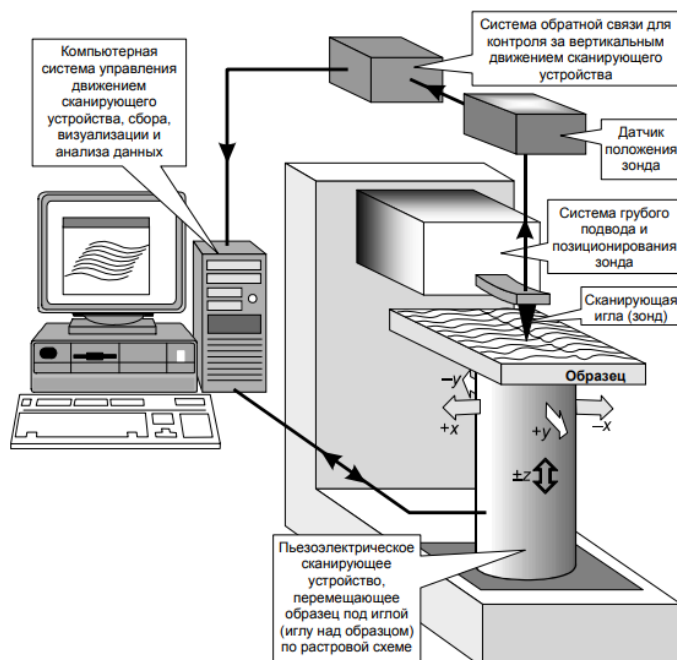


Рисунок 3.9 – общая схема сканирующего зондового микроскопа [41]

Существует несколько режимов работы атомно-силового микроскопа – контактный и бесконтактный.

При контактном режиме, известном иначе как режим отталкивания, острие сканирующей иглы АСМ приходит в мягкий «физический контакт» с образцом. Измерительная консоль, на свободном конце которой расположена игла, обычно характеризуется низкой константой упругости, величина

которой должна быть меньше, чем эффективная константа упругости, удерживающая атомы образца вместе [41].

В бесконтактном режиме, также известном как режим притяжения, АСМ отслеживает притягивающие Ван-дер-Ваальсовы силы между острием сканирующей иглы и образцом. Зазор между острием и образцом обычно составляет 5–10 нм. На таком расстоянии электронные орбитали атомов острия сканирующей иглы начинают синхронизироваться с электронными орбиталями атомов образца. В результате возникает слабое притяжение, потому что в любой момент времени атомы острия и образца поляризованы в одном и том же направлении. В свободном пространстве эти атомы будут сближаться до тех пор, пока сильное электростатическое отталкивание, описанное выше, не станет преобладающим [41].

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Основной задачей данного раздела является оценка перспективности разработки и планирование коммерческой ценности конечного продукта, производимых в рамках ИР. Коммерческая ценность проекта определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными проектами, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на такие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, какой бюджет исследовательской работы, какое время будет необходимо для продвижения проекта на рынок.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Определить потенциальных потребителей результатов исследования.
- Провести анализ конкурентных технических решений.
- Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта.
- Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации.
- Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта.
- Рассчитать бюджет научного исследования.
- Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

6.1 Предпроектный анализ

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка.

Сегмент рынка – группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Сегментирование – разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

В зависимости от категории потребителей необходимо использовать соответствующие критерии сегментирования. Для коммерческих организаций критериями сегментирования могут быть: месторасположение, отрасль, выпускаемая продукция. Для физических лиц критериями сегментирования могут быть: возраст, национальность, образование.

Сегментировать рынок услуг по разработке математической модели можно по следующим критериям: формирование портфеля, управление портфелем.

Услуги по формированию портфеля:

- инвестиционные компании;
- инвесторы (физ. лица);

Услуги по управлению портфелем:

- инвестиционные компании;
- инвесторы (физ. лица).

Объектом исследования является функциональное покрытие оксида индия-олова (ИТО) полученное магнетронным распылением керамической мишени, в частности исследуется влияние параметров распыления на поверхностное сопротивление плёнок ИТО и выявление закономерностей поведения покрытия от изменения условий распыления. Потенциальными потребителями данной разработки можно считать предприятия космической промышленности, а также частные компании по производству защитных покрытий.

Карта сегментирования рынка услуг представлена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Карта сегментирования рынка услуг

		Организация	
		Коммерческие организации	Роскосмос и его дочерние предприятия, НИИ.
Область применения	Прозрачные токопроводящие покрытия		
	Научно-исследовательская работа		
	Защита от инфракрасного излучения		

Из карты сегментирования услуг видно, что целевым рынком данного исследования будут исследовательские центры и предприятия Роскосмоса как основной рынок сбыта технологии получения функциональных покрытий оксида индия-олова.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Кф – технология получения оксида индия-олова со стабильным поверхностным сопротивлением без этапа отжига покрытия.

К1 – первый конкурент, основная технология получения оксида-индия олова – после получения покрытия образцы отжигаются для стабилизации параметров поверхностного сопротивления, т.е. снятия внутренних напряжений и стабилизации количества носителей заряда участвующих в проводимости.

Отжиг покрытий используется повсеместно, практически во всех областях по производству функциональных покрытий, в частности, как было сказано выше – для стабилизации покрытий, окисления, проверки защитных свойств, изменения внутреннего строения кристаллической решетки (переход из одной фазы вещества в другую) и так далее.

К2 – второй конкурент, это покрытия из оксида индия-олова не привязанные к стабильному поверхностному сопротивлению.

Данный тип покрытий используется в основном в гражданском секторе, не связанном с электроникой – применение тонких плёнок ИТО в

качестве защиты от инфракрасного излучения. Главный критерий для таких покрытий – прозрачность.

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 6.2. Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 6.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		БФ	БК1	БК2	КФ	КК1	КК2
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Стабильность поверхностного сопротивления	0,2	5	5	1	1	0,2	0,6
2. Прозрачность покрытия	0,2	4	5	5	0,8	1	1
3. Скорость процесса производства	0,2	5	2	2	1	0,4	0,4
4. Толщина покрытий	0,1	5	4	2	0,5	0,4	0,2
5. Возможность конвейерного производства	0,2	5	2	3	1	0,4	0,6
6. Простота технологии	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
Итого	1	34	21	16	4,8	2,7	3,1

Анализируя рынок конкурентов (таблица 6.2), можно сделать вывод, что разработанная технология получения функционального покрытия из оксида-индия олова без применения отжига может успешно конкурировать с другими технологиями получения. В самых весомых критериях разработанная технология производства нашего покрытия проявила себя не хуже, а порой и лучше решений конкурентов.

Итогом данного анализа, действительно способным заинтересовать партнеров и инвесторов, может стать выработка конкурентных преимуществ, которые помогут создаваемому продукту завоевать доверие покупателей

посредством предложения товаров, заметно отличающихся либо высоким уровнем качества при стандартном наборе определяющих его параметров, либо нестандартным набором свойств, интересующих покупателя.

6.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

В таблице 6.3 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 6.3 – SWOT-анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
Возможности: В1. Модернизация процесса получения покрытия, создание конвейерной линии производства; В2. Повышение прозрачности покрытия; В3. Выход на зарубежные рынки сбыта.	С1. Возможность отказаться от отжига; С2. Возможность конвейерного производства; С3. Применение во всех областях науки и промышленности где имеется необходимость в покрытиях данного типа.	Сл1. Нераспространенность технологии; Сл2. Длительный процесс наладки производства и поиска режима для конкретного предприятия; Сл3. Дороговизна вакуумного оборудования.
Угрозы: У1. Отсутствие коммерческого интереса к проекту; У2. Выход из строя вакуумной установки; У3. Поломка измерительной техники; У4. Непостоянство режимов нанесения.	1. Возможность повышения безопасности и внимательности при эксплуатации оборудования. 2. Анализ рынка потребителей 3. Отслеживание поведения покрытий на тестовых образцах.	1. Переход на более дешёвые компоненты для вакуумной установки 2. Выявление закономерностей и поведения покрытий, оптимизация режимов до средних показателей и окончательная доводка на каждом предприятии в отдельности.

Проанализировав характер НТР можно сделать вывод, что наиболее оптимальными стратегиями выхода разработки на рынок являются стратегии выхода на госзаказы и совместная предпринимательская деятельность. Совместная предпринимательская деятельность – это стратегия, которая основана на соединении общих усилий фирмы с коммерческими предприятиями партнера для создания производственных и маркетинговых мощностей, эта стратегия подходит больше для гражданского сбыта. Для государственных компаний. Госзаказы позволят ставить новый процесс производства на государственных предприятиях.

Данная технология находится на стадии уточнения результатов экспериментов, ведутся пер переговоры с предприятием заинтересованном во внедрении нового технологического процесса получения оксида индия-олова.

6.1.4 Инициация проекта

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. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
«Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева, Железногорск	Получение технологии напыления функционального покрытия из оксида индия-олова со стабильным поверхностным сопротивлением без применения отжига
Роскосмос	

В таблице 6.5 представлена информация о иерархии целей проекта и критерии достижения целей. Цели проекта должны включать цели в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Таблица 6.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта	Выявление закономерностей поведения покрытия ИТО в зависимости от режимов нанесения магнетронным распылением, как влияют различные параметры на поведение поверхностного сопротивления получаемых плёнок.
Ожидаемые результаты	Получение методики выхода на режим нанесения покрытия в котором сопротивление до и после отжига при условной температуре будет изменяться не более чем на 20% от изначальных значений.
Критерии приемки результата проекта	Стабильность в получении покрытий из ИТО, разброс начального сопротивления до температурных испытаний не более 1-2 кОм. Атмосферные испытания – не должно быть сильных изменений поверхностного сопротивления при длительном хранении на воздухе.
Требования к результату проекта	Требование
	Стабильность в получении покрытий
	Разброс начального сопротивления до температурных испытаний не более 1-2 кОм
	Температурные испытания – минимальные отклонения при нагреве до заданной температуры (до 20% от номинала)
	Атмосферные испытания – не должно быть сильных изменений поверхностного сопротивления при длительном хранении на воздухе.

6.2 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. Данная информация представлена в таблице 6.6.

Таблица 6.6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Баинов Д. Д. НОЦ Б. П. Вейнберга, ИЯТШ ТПУ, научный сотрудник	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта	70
2	Рахимов К. А., ИЯТШ ТПУ, магистрант	Исполнитель по проекту	Выполнение отдельных работ по проекту.	520
Итого				590

В ходе реализации научного проекта, помимо магистранта, задействован ряд специалистов: Руководитель проекта – отвечает за реализацию проекта в пределах заданных ограничений по ресурсам, координирует деятельность участников проекта. В большинстве случаев эту роль выполняет руководитель магистерской диссертации. Исполнитель проекта – специалист, выполняющий отдельные работы по проекту. В случае, если магистерская работа является законченным научным исследованием – исполнителем проекта является магистрант. В случае, если магистерская работа является частью научного проекта, исполнителей может быть несколько.

6.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также

«границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. В таблице 6.7 показаны значения ограничений проекта.

Таблица 6.7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
Бюджет проекта	343269,1
Источник финансирования	ИЯТШ ТПУ
Сроки проекта	4 месяца
Дата утверждения плана управления проектом	01.02.2022
Дата завершения проекта	24.05.2022

6.4 План проекта

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования; – определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 6.8 – План проекта с этапами работ и распределением исполнителей по их видам

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начало работ	Дата окончания работ	Должность исполнителя
1	Составление и утверждение технического задания	4	01.02.2022	04.02.2022	Руководитель
2	Изучение литературы и её анализ	27	04.02.2022	02.03.2022	Магистр

Продолжение таблицы 6.8

3	Поиск решения, опираясь на поставленные задачи	8 11	02.03.2022	12.03.2022	Руководитель, Магистр
4	Напыление опытных образцов	7	12.03.2022	18.03.2022	Магистр
5	Проведение температурных испытаний	11 27	18.03.2022	17.04.2022	Руководитель, Магистр
6	Напыление уточняющих образцов, повторные испытания	9 27	17.04.2022	13.05.2022	Руководитель, Магистр
7	Анализ полученных результатов, составление отчёта по проделанной работе	9	13.05.2022	21.05.2022	Магистр
Итого		85			

6.5 Разработка графика проведения НИОКР

Для удобства и наглядности была выбрана «Диаграмма Ганта». Календарный план-график строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта и представлен в таблице 6.9.

Таблица 6.9 – Диаграмма Ганта

Код работы	Вид работ	Исполнители	T_{ki}	Продолжительность выполнения работ															
				Февраль				Март				Апрель				Май			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■															
2	Изучение литературы и её анализ	Магистр	27	■	■	■	■												

работы установки примем равным 270 часам. Мощность ноутбука: 0,23 кВт, мощность установки 5,3 кВт. Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

Для ноутбука:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P_1 \cdot F_{\text{об}_1} = 5,8 \cdot 0,23 \cdot 250 = 333,5 \text{ руб.}$$

Для установки

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P_2 \cdot F_{\text{об}_2} = 5,8 \cdot 5,3 \cdot 250 = 7685 \text{ руб.}$$

Где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт · ч); P_1, P_2 – мощность ноутбука и установки соответственно, кВт; $F_{\text{об}_1}, F_{\text{об}_2}$ – время использования ноутбука и установки соответственно, ч.

Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 6.10 – Оборудование для эксперимента

Наименование	Марка	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Вакуумметр, ВИТ14Т3	Мерадат	1	30030	30030
Вольтметр, В7-40/4	РОССИЯ и СНГ	1	33000	33000
Измерительный преобразователь аналоговых сигналов для монтажа на din-рейку НПТ-1К	ОВЕН	1	6690	6690

Продолжение таблицы 6.10

Кварцевые кристаллы серии RC МГц, PHT06RCIG	АКТАН	10	5240	52400
Итого				122120

Таблица 6.11 – Цифровые продукты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Windows 10 Домашняя	-	1	12850	12850
Microsoft Office	Подписка на 1 год	1	4500	4500
Autodesk Inventor	Подписка на 1 год	1	183000	183000
Итого				200350

Срок полезного использования (СПИ) вакуумметра ВИТ14Т3 составляет 8 лет, тогда норма амортизации будет составлять:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{8} = 0,125$$

Тогда общая сумма амортизационных отчислений будет составлять:

$$A = \frac{H_A \times M}{365} d = \frac{0,125 \times 30030}{365} \times 30 = 308,5$$

Таблица 6.12 – Амортизационные отчисления для других комплектующих изделий

Наименование	Амортизация, руб
Вакуумметр, ВИТ14Т3	308,5
Вольтметр, В7-40/4	271,2

Продолжение таблицы 6.12

Измерительный преобразователь аналоговых сигналов для монтажа на din-рейку НПТ-1К	181,5
Кварцевые кристаллы серии RC МГц, PHT06RCIG	430,7
Windows 10 Домашняя	528
Microsoft Office	1109,5
Autodesk Inventor	48131,5
Итого	50960,9

6.7 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп},$$

где, $З_{осн}$ – основная заработная плата, $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{зп} = З_{осн} + T_p,$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата одного работника, T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн., $З_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d},$$

где $З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10.4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 6.13).

Таблица 6.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	52	52
-выходные дни	14	14
-праздничные дни		
Потери рабочего времени		
-отпуск	48	48
Невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_M = Z_{TC} \cdot (1 + k_{пр} + k_D) \cdot k_p,$$

где Z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от Z_{TC}), в данном расчете он не учитывается;

k_D – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томской области).

Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.14.

Приведем расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_M = 44800 \cdot 1,3 = 58240 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{58240 \cdot 10,4}{251} = 2413,13 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 2413,13 \cdot 32 = 77220,2 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для исполнителя:

$$Z_M = 14800 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 25012 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{дн}} = \frac{25012 \cdot 10,4}{251} = 1036,36 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{осн}} = 1036,36 \cdot 85 = 88090,6 \text{ руб.}$$

Таблица 6.14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	k_p	Z_m , руб	$Z_{\text{дн}}$, руб.	Тр. раб. дн.	$Z_{\text{осн}}$, руб.
Научный руководитель	44800	1,3	58240	2413,13	32	77220,2
Исполнитель	14800	1,3	25012	1036,36	85	88090,6
Итого						165310,8

Отразим обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

$k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Таблица 6.15 – Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	77220,2
Исполнитель	88090,6
Коэффициент отчислений	0,302
Итого:	49923,8

Накладные расходы включают в себя следующие расходы: печать ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи,

электроэнергию и т.д. Рассчитывается общая сумма накладных расходов следующим образом:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \times (\text{сумма статей 1 – 3}) = 0,16 \times (49923,8 + 165310,8 + 50960,9) = 42591,28 \text{ руб.}$$

$k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы, 16%

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. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 6.16.

Таблица 6.16 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Амортизация нематериальных активов	50960,9
2. Основная заработная плата	165310,8
3. Отчисления во внебюджетные фонды	49923,8
4. Накладные расходы	42591,28
Бюджет затрат:	308786,78

Таким образом, проведено планирование бюджета научного исследования, рассчитаны материальные затраты, основная заработная плата руководителя и исполнителя, отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) и накладные расходы предприятия. Бюджет затрат составил 60565.73 рублей.

6.8 Реестр рисков

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать

последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информация по данному разделу была сведена в таблицу 6.17.

Таблица 6.17 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность	Влияние	Уровень риска*	Способ смягчения риска
1	Неточность экспериментальных данных	Ложные представления о свойствах покрытий	1	3	Низкий	Внимательное отслеживание условий экспериментов
2	Поломка ноутбука	Затруднение в написании работы, проведении вычислений	3	4	Выше среднего	Предоставление студенту рабочего места с компьютером и необходимым ПО

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

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

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 как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где $I_{\text{фин}}^{\text{исп.}i}$ -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 разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

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

$$I_{pi} = \sum a_i b_i,$$

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.

Исп.1 – Температурные испытания образцов полученных в первом режиме напыления

Исп.2 – Температурные испытания образцов полученных во втором режиме напыления.

Таблица 6.18 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Соответствие поставленной задачи и первичных результатов		0,25	4	4
2. Простота получения		0,10	3	5
3. Температурные испытания		0,30	5	2
4. Стоимость внедрения		0,20	3	4
5. Время проведения измерений		0,15	4	4
Итого		1	19	18

$$I_{p-исп1} = 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 = 4$$

$$I_{p-исп2} = 0,25 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,3 \cdot 2 + 0,2 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,5$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i1} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{фин.i}}, I_{исп.i2} = \frac{I_{p-исп2}}{I_{фин.i}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{ср}$):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{p-исп1}}{I_{p-исп2}}$$

Таблица 6.19 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4	3
3	Интегральный показатель эффективности	4	3
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1.125	0.78

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

7 Социальная ответственность

На данный момент одним из важных направлений по улучшению условий труда и снижению производственного травматизма, а также заболеваний, связанных с профессиональной деятельностью, является система управления охраной труда, в общем понятии это мероприятия, собранные в единую систему действий, которая должна выполняться на всех этапах производственного процесса

В основе законодательства Российской Федерации об охране труда лежит конституция Российской Федерации и трудовой кодекс Российской Федерации. Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации возлагаются на работодателя. Согласно Федеральному закону от 17 июля 1999 г. №181–ФЗ "Об основах охраны труда в Российской Федерации" (с изменениями от 20 мая 2002 г., 10 января 2003 г., 9 мая, 26 декабря 2005 г.).

Настоящая магистерская диссертация посвящена осаждению функционального покрытия из оксида индия-олова (ИТО). исследование влияния исходных параметров на поверхностное сопротивление данных плёнок. Проводимое исследование предполагает работу с высоким напряжением и различными газами. Объектом исследования является влияние исходных параметров на поверхностное сопротивление получаемых покрытий.

Все работы проводились на базе научно-образовательного центра Б.П. Вейнберга в лаборатории радиационных и плазменных технологий.

7.1 Производственная безопасность

7.1.1 Отклонение показателей микроклимата в помещении

Микроклимат – комплекс физических факторов внутренней среды помещений, оказывающий влияние на тепловой обмен организма и здоровье человека. К микроклиматическим показателям относятся температура, влажность и скорость движения воздуха, температура поверхностей ограждающих конструкций, предметов, оборудования, а также некоторые их производные.

В таблице 7.1 представлены оптимальные и допустимые значения температуры, влажности и скорости движения воздуха согласно ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

Таблица 7.1 – Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений

Период года	Категория работ, Вт	Параметр микроклимата	Оптимальная величина	Допустимая величина
Холодный	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	21-23°C	15-28°C
		Относительная влажность	40 – 60%	20 – 80%
		Скорость движения воздуха	0,1м/с	Не более 0,2 м/с
Теплый	Iб (140-174)	Температура воздуха в помещении	22-24°C	21-28°C
		Относительная влажность	40-60%	20 – 80%
		Скорость движения воздуха	0,2 м/с	0,1-0,5 м/с

При работе установки включены охлаждающие системы и одновременно с этим процессом происходит, нагрев вакуумной камеры, что приводит к изменению микроклимата в помещении.

Выполняемые работы относятся к Iб категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат 121–150 ккал/ч (140–174 Вт), производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Температура наружных поверхностей технологического оборудования, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не превышает 45 °С. Для создания оптимальных метеорологических условий применяется кондиционер, который поддерживает оптимальные параметры микроклимата автоматически, независимо от меняющихся условий. В холодное время года для поддержания в помещении оптимальной температуры воздуха применяется отопление.

7.1.2 Превышение уровней шума

Напыление покрытий оксида индия-олова осуществлялось на вакуумной установке, одними из основных частей которой являются форвакуумный и турбомолекулярный насосы, создающие производственный шум. Воздействие шума в первую очередь влияет на органы слуха, нервную и сердечнососудистую системы [47].

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, для офисных помещений уровень звукового давления должен не превышать 82 дБА (по СанПиН 3359-16).

СКЗ: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры;

СИЗ: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противошумные каски.

7.1.3 Повышенный уровень электромагнитных излучений

Источником электромагнитных излучений в нашем случае являются дисплеи ПЭВМ. Монитор компьютера включает в себя излучения рентгеновской, ультрафиолетовой и инфракрасной области, а также широкий диапазон электромагнитных волн других частот. Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см вокруг ВДТ не должна превышать 25В/м в

диапазоне от 5Гц до 2кГц, 2,5В/м в диапазоне от 2 до 400кГц [48]. Плотность магнитного потока не должна превышать в диапазоне от 5 Гц до 2 кГц 250нТл, и 25нТл в диапазоне от 2 до 400кГц. Поверхностный электростатический потенциал не должен превышать 500В [48]. В ходе работы использовалась ПЭВМ типа Acer Z5-WAH со следующими характеристиками: напряженность электромагнитного поля 2,5В/м; поверхностный потенциал составляет 450 В (основы противопожарной защиты предприятий ГОСТ 12.1.004 и ГОСТ 12.1.010 – 76.) [49].

При длительном постоянном воздействии электромагнитного поля (ЭМП) радиочастотного диапазона при работе на ПЭВМ у человеческого организма сердечно-сосудистые, респираторные и нервные расстройства, головные боли, усталость, ухудшение состояния здоровья, гипотония, изменения сердечной мышцы проводимости. Тепловой эффект ЭМП характеризуется увеличением температуры тела, локальным селективным нагревом тканей, органов, клеток за счет перехода ЭМП на теплую энергию.

Предельно допустимые уровни облучения (по *ОСТ 54 30013-83*):

- а) до 10 мкВт/см², время работы (8 часов);
- б) от 10 до 100 мкВт/см², время работы не более 2 часов;
- в) от 100 до 1000 мкВт/см², время работы не более 20 мин. при условии пользования защитными очками;
- г) для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

СКЗ

1. защита временем;
2. защита расстоянием;
3. снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
4. экранирование источника;
5. защита рабочего места от излучения;

СИЗ

1. Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.

Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

7.1.4 Освещенность

Согласно СП 52.13330.2016 [47], в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 300 лк.

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения (факел плазмы в камере с катализатором) применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки не должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 7$ м, ширина $B = 6$ м, высота = 3,5 м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м.

Согласно СП 52.13330.2016 необходимо создать освещенность не ниже 300 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения:

$$S=A \cdot B$$

Коэффициент отражения свежепобеленных стен с окнами, без штор $\rho_c=50\%$, свежепобеленного потолка $\rho_{\text{п}}=70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен $K_z = 1,5$. Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп $Z= 1,1$.

Выбираем лампу дневного света **ЛД-30**, световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 1650$ Лм.

Выбираем светильник **ОДОР-2-30**. Этот светильник имеет две лампы мощностью 30 Вт каждая, длина светильника равна 925 мм, ширина - 265 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,3$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом. Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = H - h_c = 3500 - 300 = 3200$$

Высота рабочей поверхности над полом: $h_{\text{рп}} = 800$.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{\text{рп}} = 3200 - 800 = 2400 = 2,4 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,4 = 2,64$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{6}{2,64} = 2,27$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7}{2,64} = 2,65$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 2,27 \cdot 2,65 = 6$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{2,64}{3} = 0,88$$

Размещаем светильники в три ряда. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Однако необходимо провести дополнительные расчеты:

$$7000 = 2 \cdot L_1 + \frac{2}{3}L_1 + 3 \cdot 265$$

$$L_1 = \frac{(7000 - 180) \cdot 3}{8} = 2326$$

$$I_1 = \frac{L_1}{3} = \frac{2557}{3} = 775$$

Аналогичные расчеты проводим для длины комнаты:

$$6000 = L_2 + \frac{2}{3}L_2 + 2 \cdot 925$$

$$L_2 = \frac{(6000 - 1850) \cdot 3}{5} = 2490$$

$$I_2 = \frac{L_2}{3} = \frac{2490}{3} = 830$$

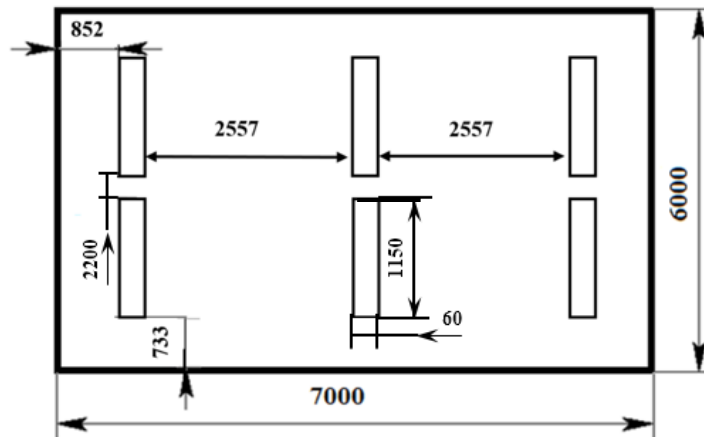


Рисунок 7.1 – Схема размещения светильников в помещении

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 6}{2,4 \cdot (6 + 7)} = 1,35$$

Для коэффициентов отражения берутся приблизительные значения: = 50% и потолка = 30%. Значения коэффициента использования светового потока светильников с люминесцентными лампами примем равным 53 %.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 6 \cdot 7 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{6 \cdot 0,53} = 3168,86 \text{ лм}$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{3200 - 3168,86}{3200} \cdot 100\% = 0,97\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 0,97\% \leq 20\%$, необходимый световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Теперь рассчитаем мощность осветительной установки:

$$P = 6 \cdot 30 \cdot 2 = 360 \text{ Вт}$$

7.1.5 Пожарная опасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д.

Согласно НПБ 105-03 лаборатория относится к категории В –горючие и трудно горючие жидкости, твердые горючие и трудно горючие вещества и материалы, вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых находится, не относятся к категории наиболее опасных А или Б. Также в данном помещении расположены баллоны с инертными газами (азот, аргон), которые не относятся к категории А, Б или В. Наличие деревянных столов, стульев с горючим материалом относят помещение к категории В.

По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудносгораемым материалам).

Возникновение пожара при работе с электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера.

Причины возникновения пожара неэлектрического характера:

а) халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня);

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

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок,

находящихся под напряжением до 1000В. Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Для предупреждения пожара и взрыва необходимо предусмотреть:

1. специальные изолированные помещения для хранения и разлива легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), оборудованные приточно-вытяжной вентиляцией во взрывобезопасном исполнении - соответствии с ГОСТ 12.4.021-75 и СНиП 2.04.05-86;

2. специальные помещения (для хранения в таре пылеобразной канифоли), изолированные от нагревательных приборов и нагретых частей оборудования;

3. первичные средства пожаротушения на производственных участках (передвижные углекислые огнетушители ГОСТ 9230-77, пенные огнетушители ТУ 22-4720-80, ящики с песком, войлок, кошма или асбестовое полотно);

4. автоматические сигнализаторы (типа СВК-3 М 1) для сигнализации о присутствии в воздухе помещений предвзрывных концентраций горючих паров растворителей и их смесей.

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 1, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны. В целях безопасности, выполнены общие

правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких-либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении, находятся 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 [44].

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет.



Рисунок 7.2 – План эвакуации

Лаборатория полностью соответствует требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, изображенного на рисунке 1, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу.

7.2 Электробезопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6–16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий [44].

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Согласно [45] помещения разделяются на три класса опасности.

1. Помещение без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40—50%, U 1000 В).

2. Помещение с повышенной опасностью (где имеется один из следующих признаков: повышенная температура, влажность 70—80%, токопроводящие полы, металлическая пыль, наличие заземления, большого количества оборудования, U <1000 В).

3. Помещения особо опасные, в которых имеется наличие двух признаков из второй группы или имеются в помещении едкие или ядовитые

взрывоопасные вещества, а также $U > 1000 \text{ В}$.

Используемое помещение относится к классу с повышенной опасностью, так как в данном помещении возможно одновременное прикосновения человека к имеющей соединение с землей металлоконструкцией здания с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования, с другой стороны. Граничные значения напряжений, при повышении которых требуется выполнение защиты от косвенного прикосновения для помещений с повышенной опасностью составляет $>25 \text{ В}$ переменного тока и $>60 \text{ В}$ постоянного тока.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

1. Содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;

2. Своевременно проводить техническое обслуживание;

3. Соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;

4. Проводить инструктаж для работников. В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. Изоляция токоведущих частей;

2. Малое напряжение в электрических цепях;

3. Защитное заземление – $R_{\text{зазем}} = 4 \text{ Ом}$, зануление, защитное отключение;

4. Применение разделяющих трансформаторов;

5. Использование оболочек и блокировок для предотвращения возможности случайного прикосновения к токоведущим частям и ошибочных действий или операций;

6. Защитные средства и предохранительные приспособления.

Индивидуальные защитные средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным защитным изолирующим средствам в установке

до 1000 В относятся изолирующие штанги, клещи изолирующие и электроизмерительные указатели напряжения, диэлектрические перчатки, слесарно-монтажный инструмент с изолирующими рукоятками. К дополнительным изолирующим защитным средствам относятся средства, которые дополняют основные средства защиты, а также могут служить для защиты от напряжения прикосновения и шагового напряжения. Дополнительными защитными средствами в установках до 1000 В служат диэлектрические галоши, диэлектрические коврики, изолирующие подставки.

Безопасным для организма человека можно считать переменный ток силой не выше 0,05 А ток силой более 0,05 - 0,1 А опасен и может вызвать смертельный исход.

Безопасным напряжением для человека считается напряжение 42 В в нормальных условиях и 12 В в условиях повышенной опасности (сырость, высокая температура, металлические полы и др.).

7.3 Экологическая безопасность

В компьютерах огромное количество компонентов, которые содержат токсичные вещества и представляют угрозу, как для человека, так и для окружающей среды.

К таким веществам относятся:

- свинец (накапливается в организме, поражая почки, нервную систему);
- ртуть (поражает мозг и нервную систему);
- никель и цинк (могут вызывать дерматит);
- щелочи (прожигают слизистые оболочки и кожу);

Поэтому компьютер требует специальных комплексных методов утилизации. В этот комплекс мероприятий входят:

- отделение металлических частей от неметаллических;
- металлические части переплавляются для последующего производства;

- неметаллические части компьютера подвергаются специально переработке[45];

Исходя из сказанного выше перед планированием покупки компьютера необходимо:

- Побеспокоится заранее о том, каким образом будет утилизирована имеющаяся техника, перед покупкой новой.

- Узнать насколько новая техника соответствует современным эко-стандартам и примут ее на утилизацию после окончания срока службы.

Утилизировать оргтехнику, а не просто выбрасывать на «свалку» необходимо по следующим причинам:

Во-первых, в любой компьютерной и организационной технике содержится некоторое количество драгоценных металлов. Российским законодательством предусмотрен пункт, согласно которому все организации обязаны вести учет и движение драгоценных металлов, в том числе тех, которые входят в состав основных средств. За несоблюдение правил учета, организация может быть оштрафована на сумму от 20000 до 30000 руб. (согласно ст. 19.14. КоАП РФ);

Во-вторых, предприятие также может быть оштрафовано за несанкционированный вывоз техники или оборудования на «свалку»;

Стадия утилизации, утилизируя технику мы заботимся об экологии: количество не перерабатываемых отходов минимизируется, а такие отходы, как пластик, пластмассы, лом черных и цветных металлов, используются во вторичном производстве. Электронные платы, в которых содержатся драгметаллы, после переработки отправляются на аффинажный завод, после чего чистые металлы сдаются в Госфонд, а не оседают на свалках.

Таким образом утилизацию компьютера можно провести следующим образом:

- отделить металлические детали от неметаллов;
- разделить углеродистые металлы от цветмета;

- пластмассовые изделия (крупногабаритные) измельчить для уменьшения объема;

- кофир-порошок упаковать в отдельную упаковку, точно также, как и все проклассифицированные и измельченные компоненты оргтехники, и после накопления на складе транспортных количеств отправить предприятиям и фирмам, специализирующимся по переработке отдельных видов материалов.

Люминесцентные лампы утилизируют следующим образом. Не работающие лампы немедленно после удаления из светильника должны быть упакованы в картонную коробку, бумагу или тонкий мягкий картон, предохраняющий лампы от взаимного соприкосновения и случайного механического повреждения. После накопления ламп объемом в 1 транспортную единицу их сдают на переработку на соответствующее предприятие. Недопустимо выбрасывать отработанные энергосберегающие лампы вместе с обычным мусором, превращая его в ртутьсодержащие отходы, которые загрязняют ртутными парами

7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Природная чрезвычайная ситуация – обстановка на определенной территории или акватории, сложившейся в результате возникновения источника природной чрезвычайной ситуации, который может повлечь или повлек за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и (или) окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. В текущей работе невозможно охватить весь спектр возможных ЧС, основное внимание уделено двум вариантам ЧС: природной и техногенной.

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

К природной ЧС относятся погодные условия – сильные морозы зимой.

Сильные морозы могут нанести вред как сотрудникам, работающим на предприятии, так и самому предприятию.

Для сохранения работоспособности сотрудников и предотвращения риска заболеваний предприятие должно предпринять меры, направленные на снижение вероятности получения сотрудниками травм в результате переохлаждения – сократить количество работающих сотрудников (не привлекать сотрудников к работе в период сильных холодов без острой необходимости), обеспечить сотрудников транспортом и держать в готовности средства первой помощи, применяемые при переохлаждении.

Для предупреждения аварий систем на предприятии требуется уделить особое внимание состоянию тепловых и водонесных линий коммуникации во избежание их промерзания, также предусмотреть возможность резервного отопления (электрочувствительная или тепловые пушки) при отказе основной магистрали для недопущения разморозки здания.

При подготовке к зиме следует предусмотреть:

- а) газобаллонные калориферы (запасные обогреватели),
- б) дизель- или бензоэлектростанции;
- в) запасы питьевой и технической воды на складе (не менее 30 л на 1 человека);
- г) теплый транспорт для доставки работников на работу и с работы домой в случае отказа муниципального транспорта.

Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

К техногенной ЧС относится несанкционированное проникновение посторонних на рабочее место.

Для недопущения несанкционированного проникновения на рабочее место на предприятии следует применять систему контроля и управления доступом, каждый сотрудник должен иметь ключ – карту для прохода через пропускной пункт. На лицевой стороне такой карты размещается фотография

и ФИО сотрудника, на задней стороне ключ – карты должен быть указан номер пропуска.

Пропускные пункты следует располагать на входе и внутри предприятия. Контроль на них следует осуществлять, помимо прочего, визуально на соответствие фотографии. Для попадания в искомое помещение нужно преодолеть не менее 2-х пропускных пунктов, что практически исключает несанкционированный доступ.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие должно быть оборудовано системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи. Кроме того, требуется исключить распространение информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве.

Заключение

По результатам исследования можно сделать следующие выводы.

Магнетронным распылением керамической мишени $\text{In}_2\text{O}_3(90\%)\text{SnO}_2(10\%)$ с мощностью разряда 0,9 кВт, на стекле, получены плёнки оксида индия олова толщиной 10..13 нм с сопротивлением поверхности $2\pm 0,3$ кОм/квadrat. Опытные образцы сохраняют это значение при их нагреве на воздухе в диапазоне +30..+150 °С, без их дополнительной тепловой обработки. Среди них, плёнка толщиной 13 нм, осаждённая в режиме с расходом аргона - 4,0 л/ч и кислорода – 0,5 л/ч, полностью удовлетворяет требованиям по стабильности сопротивления поверхности антистатического покрытия космических аппаратов.

Исследования температурной зависимости плёнок в диапазоне до +350..+400 °С показали наличие максимума в области +250...+300 С, где сопротивление поверхности резко возрастает на несколько порядков. Повышение толщины плёнки приводит к смещению экстремума в сторону меньших температур и снижает его величину. Уменьшение толщины приводит к увеличению ширины максимума. Изменение потока кислорода в диапазоне 0,4...0,6 л/ч, оказывает заметное влияние на начальном участке зависимости и на величину максимума, но не меняет его положения. Снижение потока аргона с 6,0 л/ч до 4,0 л/ч заметно сказывается только в области максимума, где наблюдается уменьшение его значения.

Шероховатость образцов толщиной 11..12 нм составила менее 1 нм как до, так и после тепловой обработки. Максимальное пропускание образцов достигается в области длин волн 500...600 нм и составляет 87%.

Список использованных источников

- 1 Амосова Л. П., Электрооптические свойства и структурные особенности аморфного ИТО / Л.П Амосова // Физика и техника полупроводников. – 2015. – № 3. – С. 426.
- 2 Снежко Н. Ю., Создание и исследование функциональных наноструктурных композиционных покрытий $\text{In}_2\text{O}_3(\text{SnO}_2)$ и $\text{ZrO}_2(\text{Y}_2\text{O}_3)$ / Н.Ю Снежко дис. канд. техн. наук. СФУ, Красноярск, 2014.
- 3 Троян П. Е., Исследование механизмов электропроводности пленок оксида индия, легированного оловом / Троян П.Е., Сахаров Ю. В., Жидик Ю.С. // Доклады ТУСУР. – 2015. – №. 3. – С. 85-88.
- 4 Акишин А. И., Новиков Л. С. Электризация космических аппаратов. – М.: Знание, 1985. – 64 с, ил. – (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 3).
- 5 Garrett H. B., Whittlesey A. C. Spacecraft Charging, An Update // IEEE transactions on plasma science. -2000, -Vol. 28, -№ 6, -P. 2017-2028.
- 6 Spacecraft Charging and Discharging. Design Standard. 2012, Japan Aerospace Exploration Agency, 82 p
- 7 Garrett H. B., Whittlesey A. C. Guide to Mitigating Spacecraft Charging Effects. JPL Space Science and Technology Series, Wiley, 2012, 222 p.
- 8 Boshma J. Optical Solar Reflectors – Recent Developments and Problems // *Proceedings of an International Symposium on Spacecraft Materials in Space Environment* : Toulouse, France, June 8-12, 1982. – P. 159-173.
- 9 Плазменные покрытия (методы и оборудование): учебное пособие / В.П. Кривобоков, Н.С. Сочугов, А.А. Соловьёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 104 с.
- 10 А.А. Соловьёв, А.Н. Захаров, С.В. Работкин, К.В. Оскомов, Н.С. Сочугов Характеристики плазмы несбалансированной магнетронной распылительной системы и их влияние на параметры покрытий ZnO:Ga //Физика и химия обработки материалов. – 2009, №2. с. 58-65.

11 Кустов В.В. Особенности обработки подложки несбалансированным магнетроном // Физика и техника плазмы: Материалы межд. научно-техн. конф. – Минск. –1994.- Часть II.- С. 397 - 399.

12 M. Huanga, Z. Hameiria, S. Venkataraja, Armin G. Aberlea, T. Muellera / Characterisation and Optimisation of Indium Tin Oxide Films Deposited by Pulsed DC Magnetron Sputtering for Heterojunction Silicon Wafer Solar Cell Applications. Energy Procedia. Vol. 33. 2013. P. 91 – 98.

13 Основы конструирования и технологии производства радиоэлектронных средств. Интегральные схемы: учебник для бакалавриата и магистратуры / Ю. В. Гуляев [и др.]; под редакцией Ю. В. Гуляева. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 460 с.

14 Yu-Lim Lee and Kyu-Mann Lee Effect of Ambient Gases on the Characteristics of ITO Thin Films for OLEDs Transactions On Electrical And Electronic/ Materials. Vol. 10, No. 6, December 25, 2009

15 T.-C. Lin, S.-C. Chang, C.-F. Chiu. (2006). Annealing effect of ITO and ITO/Cu Transparent Conductive Films in Low Pressure Hydrogen Atmosphere/ Materials Science and Engineering. Vol. 129. p. 39–42.

16 N. Boonyopakorn, N. Sripongpun, C. Thanachayanont, S. Dangtip. (2010). Effects of Substrate Temperature and Vacuum Annealing on Properties of ITO Films Prepared by Radio-Frequency Magnetron Sputtering/ Chinese Physics Letters. Iss. 10. Vol. 27. 108103. p. 1-4.

17 S.-H. Chan, M.-C. Li, H.-S. Wei, S.-H. Chen, C.-C. Kuo. (2015). The Effect of Annealing on Nanothick Indium Tin Oxide Transparent Conductive Films for Touch Sensors/ Journal of Nanomaterials. Vol. 2015. p. 1-5.

18 H. Koseoglu, F. Turkoglu, M. Kurt, M. D. Yaman, F. G. Akca, G. Aygun, L. Ozyuzer. (2015). Improvement of Optical and Electrical Properties of ITO Thin Films by Electro-Annealing/ Vacuum. Vol. 120. p. 8-13.

19 M. H. Habibi, N. Talebian. (2005). The Effect of Annealing on Structural, Optical and Electrical Properties of Nanostructured Tin Doped Indium Oxide Thin Films/ Acta Chim. Slov. Vol. 52. p. 53–59.

- 20 Pokaipisit, M. Horprathum, P. Limsuwan. (2008). Influence of Annealing Temperature on the Properties of ITO Films Prepared by Electron Beam Evaporation and Ion-Assisted Deposition/ *Natural Science*. Vol. 42. p. 362 – 366.
- 21 J. Lee, D.-G. Lim, W. Song, J. Yi. (2007). Influence of Annealing Temperature and Atmosphere on the Properties of ITO Films Deposited Using a Powdery Target/ *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 51. No. 3. p. 1143-1146.
- 22 H. Ali, A. Shuhaimi, S. Khadijah, Z. Hassan. (2014). Post-Annealing Effects on ITO Thin Films RF Sputtered at Different Thicknesses on Si and Glass/ *Advanced Materials Research* Vol. 925. p. 411-415.
- 23 M. Huang, Ziv Hamaeiri, A. G. Aberle, T. Mueller. (2015). Comparative study of amorphous indium tin oxide prepared by pulsed-DC and unbalanced RF magnetron sputtering at low power and low temperature conditions for heterojunction silicon wafer solar cell applications/ *Vacuum*. Vol. 119. p. 68-76.
- 24 A. Kono, T. Nagai, F. Shoji. (2010). Contribution to carrier densities of the oxygen vacancy in a low-resistivity tin-doped indium oxide film by the hot-cathode plasma sputtering method/ *Materials Letters*. Vol. 64. p. 622-624.
- 25 D. Ali, M.Z. Butt, I. Muneer, F. Bashir, M. Saleem. (2017). Correlation between structural and optoelectronic properties of tin doped indium oxide thin films/ *Optik*. Vol. 128. p. 235-246.
- 26 K. Kato, H. Omoto, T. Tomioka, A. Takamatsu. (2011). Changes in electrical and structural properties of indium oxide thin films through post-deposition annealing/ *Thin Solid Films*. Vol. 520. p. 110 - 116.
- 27 G. Zhu, L. Zhi, H. Yang, H. Xu, A. Yu. (2012). Effect of Target Density on Microstructural, Electrical, and Optical Properties of Indium Tin Oxide Thin Films/ *Journal of Electronic Materials*. Vol. 41, No. 9. p. 2376 – 2379
- 28 Y.M. Kang, S.H. Kwon, J.H. Choi, Y.J. Cho, P.K. Song. (2010). Properties of Ce-doped ITO films deposited on polymer substrate by DC magnetron sputtering/ *Thin Solid Films*. Vol. 518. P. 3081–3084.

- 29 S. Song, T. Yang, J. Liu, Y. Xin, Y. Li, S. Han. (2011). Rapid thermal annealing of ITO films/ *Applied Surface Science*. Vol. 257. p. 7061–7064.
- 30 S. Seong, Y. C. Jung, T. Lee, I.-S. Park, J. Ahn. (2018). Enhanced uniformity in electrical and optical properties of ITO thin films using a wide thermal annealing system/ *Materials Science in Semiconductor Processing*. Vol. 79. p. 14–19.
- 31 П. Е. Троян, Ю. С. Жидик. Технология получения электропроводящих пленок ITO высокой оптической прозрачности с низким значением величины удельного поверхностного сопротивления/ *Доклады ТУСУРа*, № 2 (26), Ч. 2. 2012. с. 169-171.
- 32 D-S. Liu, C-S. Sheu, C-T. Lee, C-H. Lin. (2008). Thermal stability of indium tin oxide thin films co-sputtered with zinc oxide/ *Thin Solid Films*. Vol. 516. p. 3196 3203.
- 33 S. Elhalawaty, K. Sivaramakrishan, N. D. Theodore, T. L. Alford. (2010). The effect of sputtering pressure on electrical, optical and structure properties of indium tin oxide on glass/ *Thin Solid Films*. Vol. 518. p. 3326-3331.
- 34 Hotovy, J. Pezoldt, M. Kadlecikova, T. Kups, L. Spiess, J. Breza, E. Sakalauskas, R. Goldhahn, V. Rehacek. (2010). Structural characterization of sputtered indium oxide films deposited at room temperature/ *Thin Solid Films*. Vol 518. p. 4508 - 4511.
- 35 Майссел Л. Гленг Р. Технология тонких пленок Т.2 – М.: Сов. Радио, 1977. – 768 с., ил.
- 36 [Интернет ресурс] Оптическая 3D профилометрия. Схема доступа: <https://minateh.ru/stati/opticheskaya-3d-profilometriya>. Дата обращения: 20.05.2022.
- 37 Павлов Л.П. методы измерения параметров полупроводниковых материалов: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 1987.- 239 с.
- 38 Спектрофотометры СФ-2000 и СФ-2000-02: Руководство по эксплуатации. –ЗАО «ОКБ СПЕКТР». 2006. – 33 с.

39 Осьмушко И. С., Вовна В. И., Короченцев В. В. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия твёрдых тел: теория и практика: Учебное пособие. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2010. 42 с.

40 М.В. Кузнецов «Современные методы исследования поверхности твердых тел: фотоэлектронная спектроскопия и дифракция, СТМ-микроскопия», Екатеринбург, Институт химии твердого тела УрО РАН, 2010 г.;

41 А. А. Суслов, С. А. Чижик. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор)/ Материалы, технологии, инструменты. № 3. 1997. с. 78-89.

42 S.-H. Chan, M.-C. Li, H.-S. Wei, S.-H. Chen, C.-C. Kuo. The Effect of Annealing on Nanothick Indium Tin Oxide Transparent Conductive Films for Touch Sensors/ Journal of Nanomaterials. Vol. 2015. p. 1-5.

43 Haiou Li, Lei Guo, Xingpeng Liu*, Tangyou Sun*, Qi Li, Fabi Zhang, Gongli Xiao, Tao Fu, Yonghe Chen/ High Temperature Conductive Stability of Indium Tin Oxide Films. Frontiers in Materials. May 2020. Vol 7. Article 113, p.1 - 9.

44 M. Usman Yousaf, Erum Pervaiz, Sammar Minallah, M. Junaid Afzal, Liu Honghong, Minghui Yang. Tin oxide quantum dots decorated graphitic carbon nitride for enhanced removal of organic components from water/ Green process. Results in Physics – 2019. p. 1-12

45 John B. Plumley, Adam W. Cook, Christopher A. Larsen, Kateryna Artyushkova, Sang M. Han, Thomas L. Peng, Richard A. Kemp. Crystallization of electrically conductive visibly transparent ITO thin films by wavelength-range-specific pulsed Xe arc lamp annealing. J Mater Sci .2018. Vol 53. p. 12949 – 12960

46 Богатырева А. М. Плазменная технология осаждения пленок ИТО для космических аппаратов: Магистерская дисс. 2015

47 СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 "Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ)".

48 ГОСТ 54 30013-83 Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности

- 49 СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 50 СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 51 ГОСТ 12.4.154-85 “ССБТ. Устройства экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты”
- 52 ГН 2.2.5.1313-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны
- 53 ГОСТ 12.4.123-83. Средства коллективной защиты от инфракрасных излучений. Общие технические требования.
- 54 ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 55 ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
- 56 ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 57 СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха
- 58 ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
- 59 СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
- 60 ГОСТ 12.4.154. Система стандартов безопасности труда. Устройства, экранирующие для защиты от электрических полей промышленной частоты. Общие технические требования, основные параметры и размеры

Приложение А

(справочное)

Influence of Technological Parameters on The Thermal Stability of the Surface Resistance of ITO Films Deposited by Magnetron Sputtering

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ01	Рахимов К. А		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент, НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель. Отделение иностранных языков	Кабрышева О.П.			

Influence of Technological Parameters on The Thermal Stability of the Surface Resistance of ITO Films Deposited by Magnetron Sputtering

Over the past few decades, ITO thin films have remained a topical object of scientific research and practical application. The combination of high light transmission and low resistance make them the main material for transparent conductive contacts. Important application is their use as an antistatic coating for thermal protection elements of spacecraft. Here, the improvement of the process of their deposition is of great economic importance. One of the ways to achieve this goal can be the exclusion from the technological route of a long (from 0.5-1 h to 3 h) stage of their annealing. This possibility is not sufficiently reflected in the scientific literature, which became one of the main reasons for the present study.

1 Influence of magnetron discharge power on the surface resistance of thin ITO films obtained by magnetron sputtering

The power of the magnetron discharge has the main effect on the rate of sputtering of the target material, this is due to the higher energy of the ions bombarding the target surface.

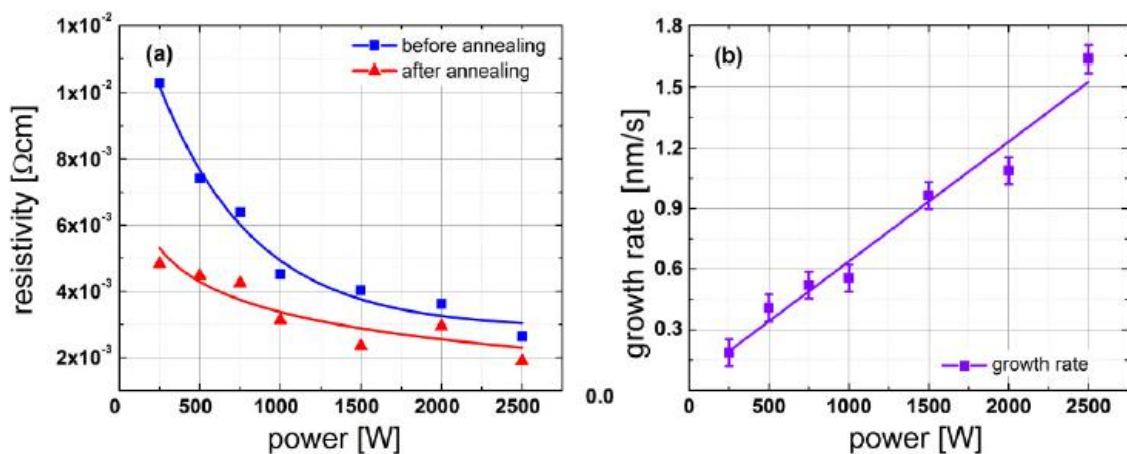


Figure 1 - Addition of the resistivity of the ITO film (a) and growth rate (b) from the power of the magnetron discharge [1]

As can be seen from Figure 1, the discharge power does affect the coating growth rate, however, it also affects the resistivity of the obtained films at the same time - increase in thickness leads to a decrease in the resistivity of the coating, moreover, with an raise of the MSS (Magnetron sputtering system) power, the

difference between the resistivity of annealed and non-annealed films is reduced to a minimum [1].

It is also known that the dependence of the sputtering rate and the rate of deposition of the sputtered material on the substrate, the power of the magnetron discharge is quite close to a linear form [2].

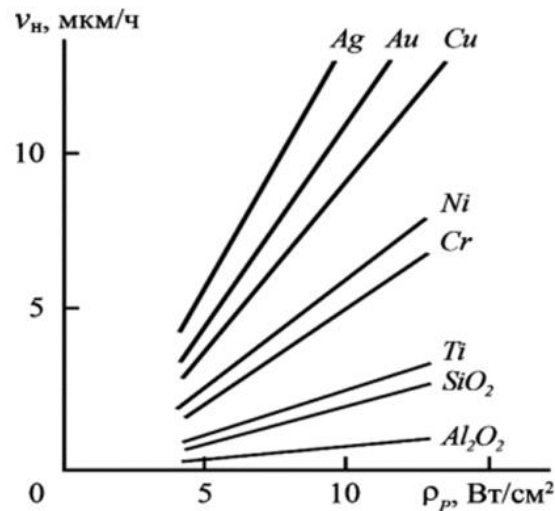


Figure 2 - Graph of the dependence of the coating rate v_H for various target materials on the density ρ_p of the power of the RF discharge [2]

Effect of working gases on electrical parameters and transmission of ITO films

In [1] besides investigation of the effect of MSS power on resistivity, experiments were also carried out on the deposition of ITO coatings at fixed discharge power with change in the flow rate of working gases.

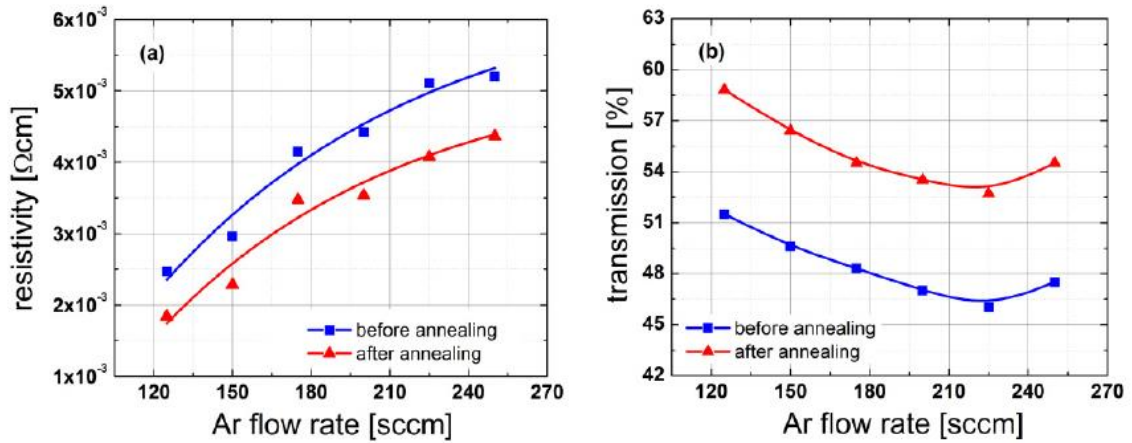


Figure 3 - Dependence of the resistivity of the ITO film (a) and the transmittance (b) on the consumption of argon (without oxygen) [1]

As can be seen from Figure 3, without the use of oxygen, the resistance of the resulting coatings decreases with an increase in the amount of argon entering the sputtering chamber. After annealing in air, the resistance decreases by approximately more than 20%. The authors of the article suggest that these changes occur due to the alteration in the local ordering of the crystal lattice, as well as a change in the number of oxygen vacancies [1].

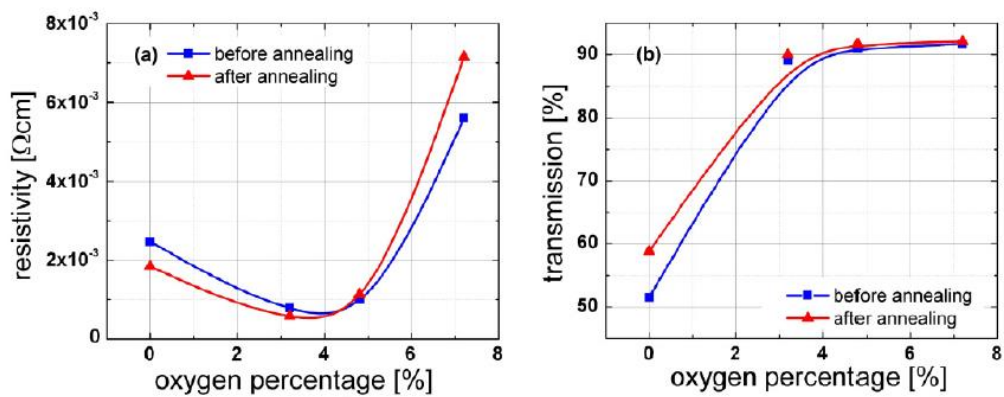


Figure 4 - Dependence of the resistivity of the ITO film (a) and the transmittance (b) on the oxygen consumption (at fixed value of argon) [1]

Enlargement in oxygen consumption initially leads to a decrease in resistivity, but with a further raise in consumption, it leads to its sharp increase, the transmittance improves over the entire range of oxygen consumption. A reduced

oxygen content in the plasma after annealing leads to a decrease in resistivity, with an increased content, the pattern is reversed, and at average values of oxygen rate, the resistance practically does not change.

Y-L Lee and K-M Lee in the article [3] carried out similar studies, in their case, the influence of two gases in a mixture with argon, oxygen and hydrogen, on the ITO surface morphology and the electrical parameters of the films was considered.

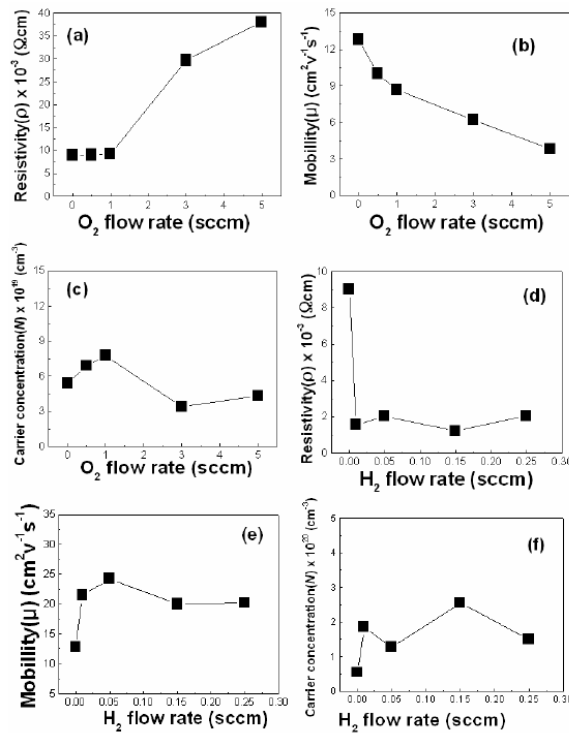


Figure 5 - resistivity (ρ), carrier mobility (μ), charge carrier concentration (N) in a thin ITO film depending from the rate of oxygen (a) - (c) and hydrogen (d) - (f) [3]

In this study, the authors of the article assume that an increase in the consumption of oxygen in the ratio with argon leads to raise in resistivity due to a decrease in mobility and the number of charge carriers. When using hydrogen as an active gas, Y-L Lee and K-M Lee conclude that, the dependence of resistivity from hydrogen flow rate initially undergoes a sharp drop, but with a further increase in consumption, it practically does not change, and the authors interpret this phenomenon with an increase in the number of charge carriers and their mobility [3].

The main charge carriers in ITO films are oxygen vacancies, increase in oxygen flow rate leads to their annihilation and increase resistivity, the use of hydrogen, according to the authors, stimulates raise in the number of vacancies in the coating, however, it is noted that charge mobility has a greater effect on the electrical resistance of thin ITO films, but not their concentration [3].

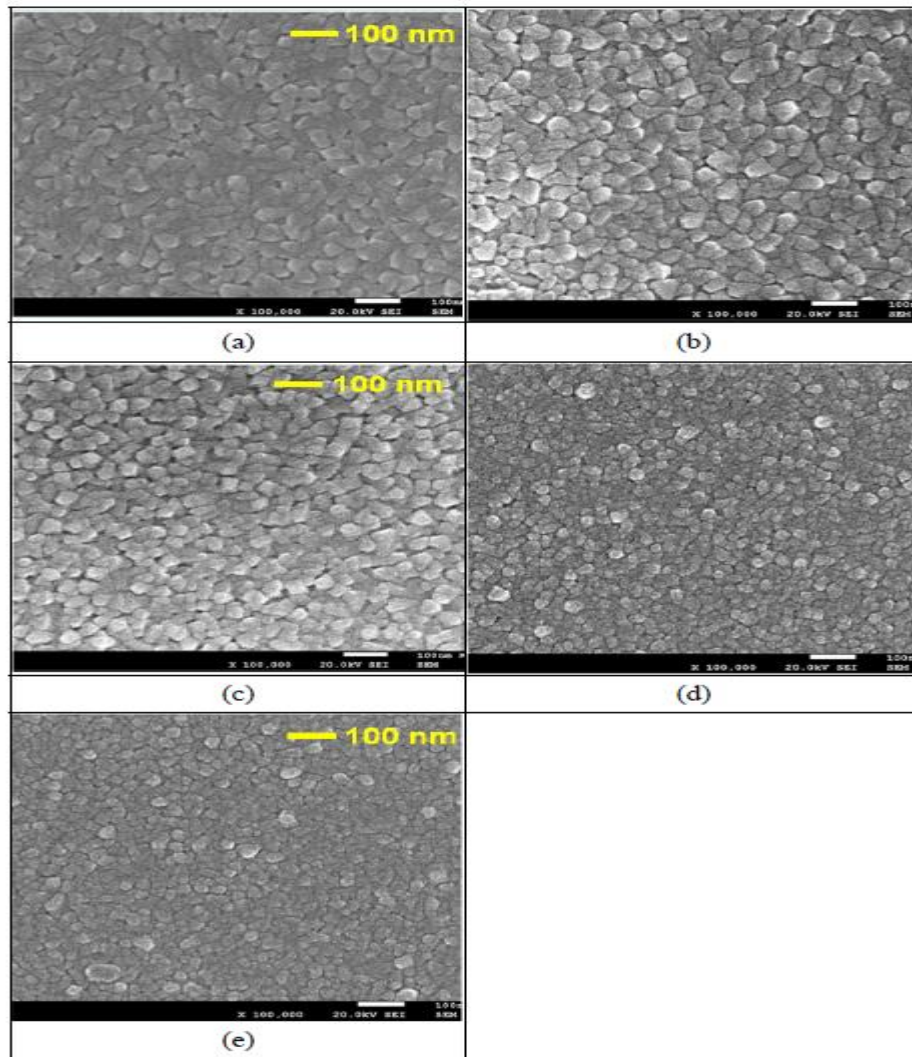


Figure 6 - Scanning electron microscope images with field effect of films obtained in the following modes: (a) in pure argon; (b) 0.5 sccm O₂; (c) 5 sccm O₂; (d) 0.01 sccm of H₂; (e) 0.25 sccm of H₂ [3]

The grain sizes of the deposited films using pure argon and its mixture with oxygen do not have strong differences, small grain sizes are observed regardless of the O₂ flow rate. However, for films deposited in an argon–hydrogen mixture, the average grain size decreases, and the voids in the grain boundary region are much

smaller. The obtained results show that additional gases have an important effect on physical characteristics such as crystal orientation and microstructure of thin films [3].

Temperature influence

Heat treatment is an effective change in the characteristics of thin films. For ITO layers, annealing, in most cases, leads to raise in electrical conductivity, structural improvement and improvement in optical properties. This procedure is usually carried out at temperatures up to 400..500 °C and lasts from 20 minutes to 1..1.5 hours.

In some cases, processing occurs in certain environments and at a given amount, for example, in the environment of the environment [4]. Here, during annealing of a 150 nm ITO film on gas entering the environment with a gas pressure of 20 Torr, the observed value of the resistivity of the sample, from $6.2 \cdot 10^{-4}$ to $2.7 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$, occurs in the region of 300. .500 °C (Figure 1.7 a). At the same time, in the initial amorphous film, crystalline planes are formed in the (440) and (222) directions, characteristic of ITO, observed already at 100 °C (Figure 1.7 b).

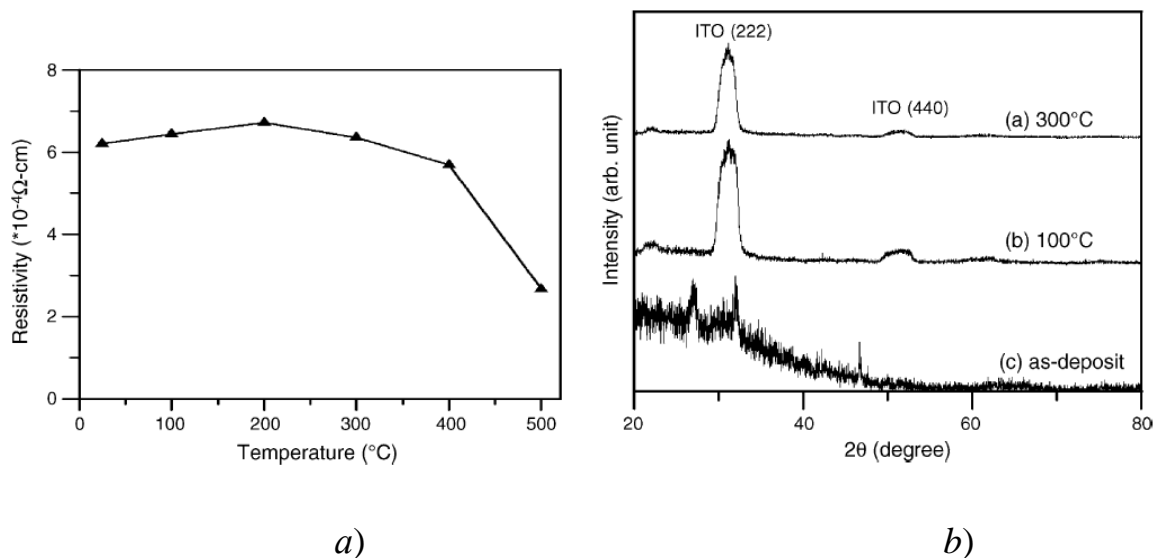


Figure 7 - Influence of annealing in a hydrogen medium on the parameters of ITO films: a) - change in resistivity; b) - X-ray diffraction data [4]

The ITO layer was placed on glass ($15 \times 50 \times 0.63 \text{ mm}^3$). Annealing was carried out for 20 min. During annealing, the transmission of the samples practically did not change; its average value was about 90%.

In addition to a certain gaseous medium, heat treatment can be carried out in a vacuum, as for example, in the case of ITO films obtained by high-frequency (13.56 MHz) magnetron sputtering on glass substrates $25 \times 10 \text{ mm}^2$ in size [5]. Here, annealing at 400°C for 30 min was carried out for films deposited at substrate temperatures (T_s) from room temperature (RT) to 350°C . The residual gas pressure was less than 10^{-5} mbar.

Film deposition was carried out by sputtering a ceramic target (90% In_2O_3 - 10% SnO_2) under the following conditions: pressure of residual gases - $5 \cdot 10^{-6}$ mbar, working gas pressure $\text{Ar} + \text{O}_2$ - $2 \cdot 10^{-3}$ mbar, flow rate of Ar - $26 \text{ cm}^3/\text{min}$, O_2 flow rate $1 \text{ cm}^3/\text{min}$, discharge power 40 W, deposition time 16 min, target–substrate distance 9 cm. The film thickness was 100 nm.

In this case, when the substrate is heated, the formation of characteristic crystallographic planes in the film structure begins at $T_s = 150^\circ\text{C}$, and when T_s is greater than or equal to 250°C , the amplitude of their peaks on the X-ray diffraction data increases sharply (Figure 1.8).

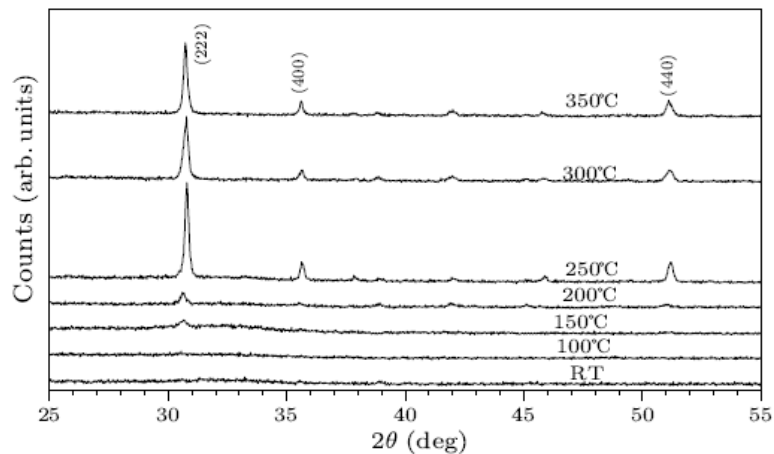


Figure 8 - X-ray diffraction data for samples after heat treatment [5]

When working without annealing, an increase in T_s to 100°C leads to an increase in the mobility (μ) and concentration (n) of charge carriers (Figure 10, Figure 9), resulting in a decrease in the resistance (ρ) of the samples (Figure 11). Further, at $T_s = 150^\circ\text{C}$, despite the high μ , the decrease in n affects the increase in ρ . In the future, up to $T_s = 250^\circ\text{C}$, μ drops by almost 2 times. Against this background,

n increases by almost a factor of 3, as is believed, due to more intense incorporation of Sn⁴⁺ ions into the lattice instead of In³⁺. On the other hand, at Ts=150°C, crystalline planes begin to form and, possibly, this rearrangement has a negative effect on μ. After Ts=250 °C, the growth of n slows down, which can be associated with approaching the doping limit. Also, at a given temperature, judging by a noticeable increase in the characteristic peaks in the X-ray pattern (Figure 8), crystallographic planes are finally formed, and with further heating their perfection increases, causing an increase in μ.

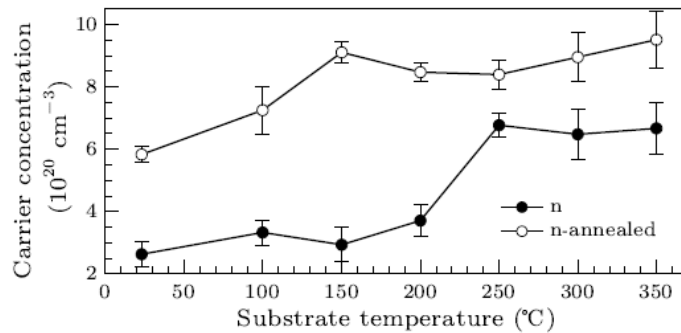


Figure 9 - The dependence of the carrier concentration in the ITO film before and after its annealing [5]

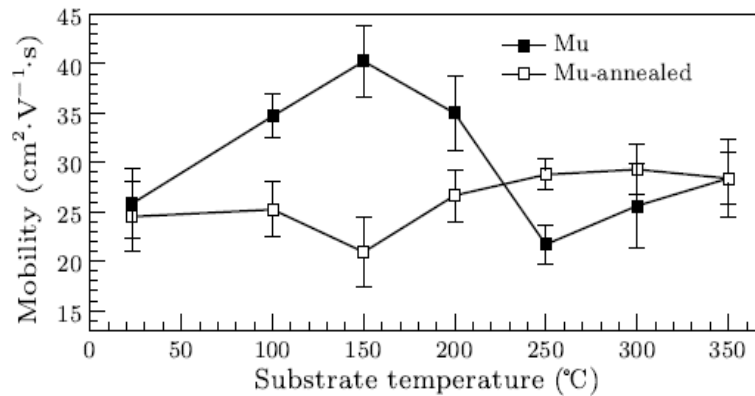


Figure 10 - Change in the mobility of carriers in the ITO film before and after its annealing [5]

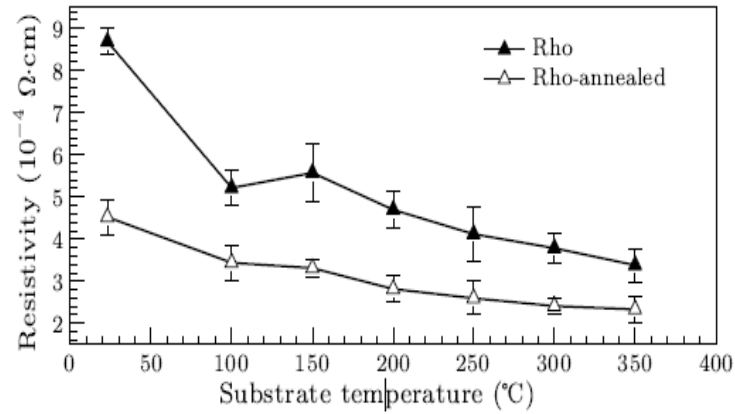


Figure 11 - Resistivity of ITO films before and after heat treatment [5]

During annealing of the samples, the increase in n is associated mainly with an increase in the number of oxygen vacancies. At the same time, μ does not show sharp changes (Figure 1.10) as in the previous case, most likely due to the formed crystal structure.

In general, with an increase in T_s from room temperature to 350 °C, the resistivity decreases from $8.7 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ to $3.4 \cdot 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ for samples obtained without subsequent annealing in vacuum and from $4, 5 \cdot 10^{-4} \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ to $2.3 \cdot 10^{-4} \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ for films that are easier to process. In this case, the transmission of the first samples in the near UV region increases (Figure 12), while the latter initially show large transmittances in this range (Figure 13), which are weakly dependent on T_s .

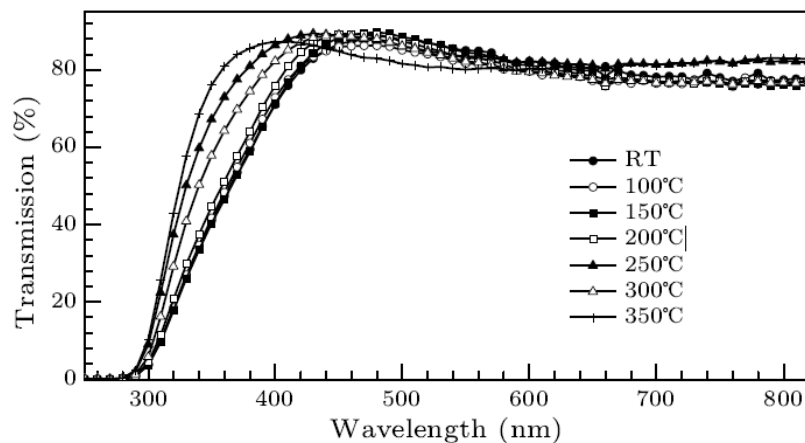


Figure 12 - Transmission spectrum of non-annealed films [5]

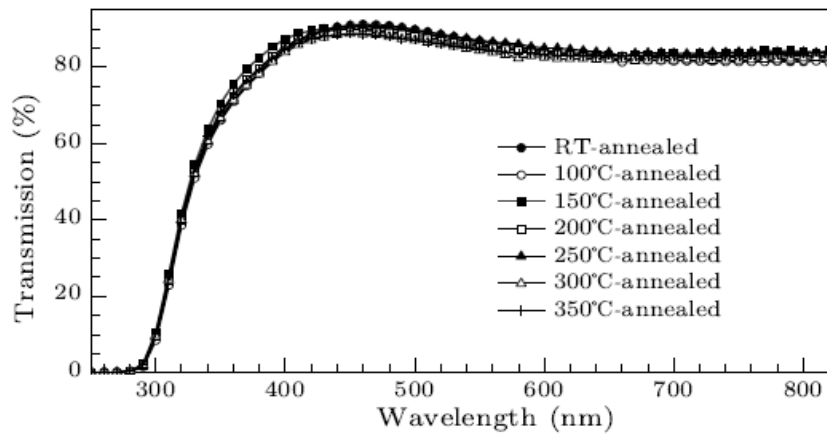
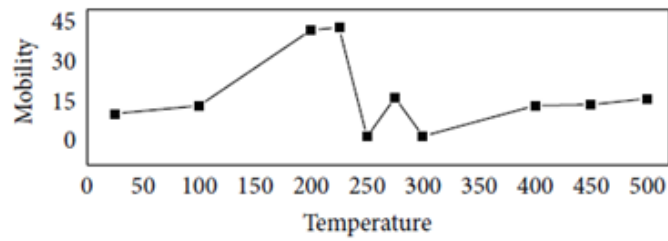
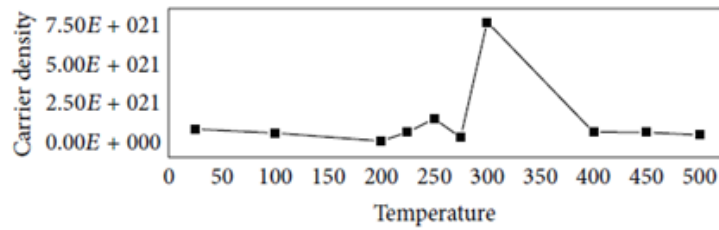


Figure 13 - Transmission spectrum of annealed films [5]

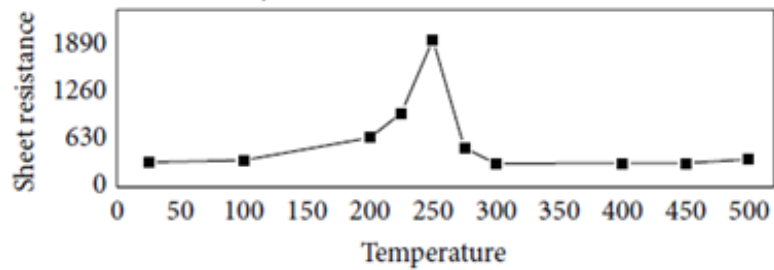
The complex nature of the dependence of the electrical parameters of ITO films on the annealing temperature is also characteristic during their heat treatment in the atmosphere, as shown in Figure 14 *a-c*, for ITO layers 20 nm thick obtained by sputtering a ceramic target (90% In_2O_3 - 10% SnO_2) [5]. In this case, the deposition was carried out using Ar at a working gas pressure of $2 \cdot 10^{-3}$ Torr. The residual gas pressure was $8 \cdot 10^{-6}$ Torr, the target diameter was 75 mm, and the target-substrate distance was 8 cm. B270 glass plates $25 \times 25 \times 1$ mm in size were used as the substrate. The MSS was powered by a current with a frequency of 20 kHz, the discharge power was at the level of 100 W, and the annealing time was 1 h.



a)



b)



c)

Figure 14 - Change in the mobility and concentration of charge carriers (a, b), as well as surface resistance (c) for a film 20 nm thick, depending on the annealing temperature in the atmosphere [6]

The increase in resistance in the region of 200..250 °C is associated with a decrease in the number of vacancies due to their compensation by oxygen entering the film from the atmosphere. The subsequent decrease in ρ is explained by the incorporation of Sn particles into the crystal lattice. At the same time, in this temperature range, the formation of crystallographic planes begins (Figure 15 a). Perhaps this explains the sharp decline in μ , due to which, most likely, ρ increases. An increase in n in the region of 300°C is associated with the incorporation of Sn particles into the lattice sites. This is indicated by the shift of the peak corresponding to the plane (222) when the angle θ increases with decreasing interplanar spacing

(see inset in Figure 15 a). The latter is caused by the substitution $\text{Sn}^{4+} \rightarrow \text{In}^{3+}$, since Sn^{4+} has a smaller ionic radius. As the temperature rises, θ continues to increase, but this leads to a rapid decrease in n . Possibly, during the transition to the crystal structure, additional vacancies were formed, which were then occupied by oxygen.

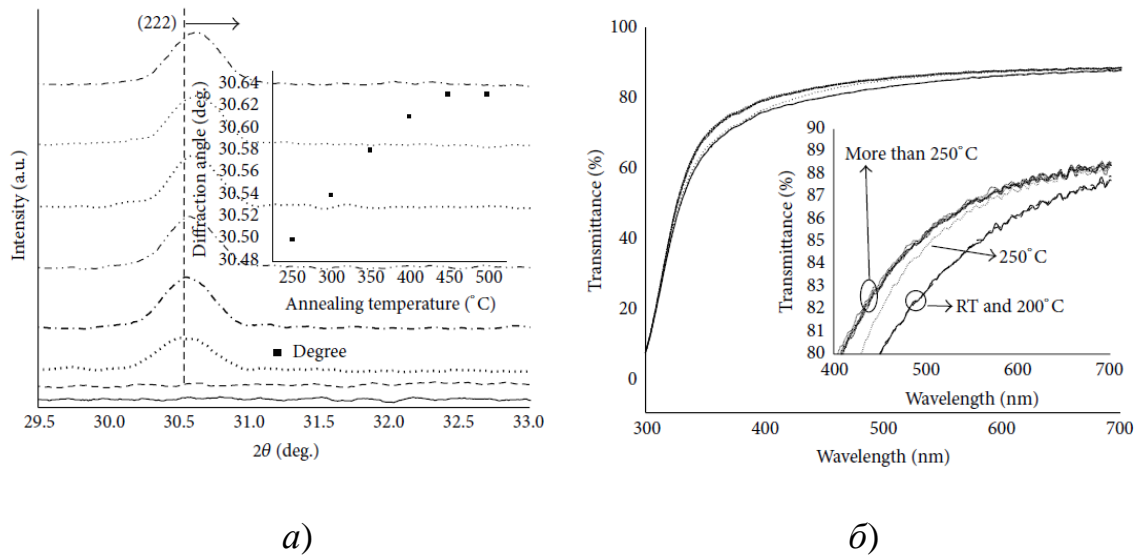


Figure 15 - X-ray diffraction peaks (a) and transmission coefficient (b) of ultrathin ITO films depending on the annealing temperature [6]

The increase in transmission coefficients is associated with oxidation during annealing in the atmosphere (see Figure 15 b). It can also be seen here that the increase occurs as the film transitions to the crystalline structure.

There is a variant of ITO film processing where the thermal effect is obtained as a result of passing an alternating current up to 1.5 A through it [7]. However, this is a very rare method; in the vast majority of cases, a separate heat source is used for this procedure.

The most common is annealing in the atmosphere [8–16] and in a rarefied medium [17–23]. The general trend shows that the thermal effect reduces the resistivity and increases the transmittances, especially in the short-wavelength part of the spectrum. However, during electric annealing [7] in air, an increase in resistance is observed. Also, the complex nature of the change in the values of this parameter, as, for example, in Figure 14 c, is shown by films thinner than 40 nm.

References

- 1 M. Huanga, Z. Hameiria, S. Venkataraja, Armin G. Aberlea, T. Muellera / Characterisation and Optimisation of Indium Tin Oxide Films Deposited by Pulsed DC Magnetron Sputtering for Heterojunction Silicon Wafer Solar Cell Applications. *Energy Procedia*. Vol. 33. 2013. P. 91 – 98.
- 2 Fundamentals of design and technology of production of radio-electronic means. *Integrated Circuits: A Textbook for Bachelor's and Master's Degrees* / Y. V. Gulyaev [et al.]; edited by Y. V. Gulyaev. — Moscow : Publishing house Yurait, 2018. — 460 p.
- 3 Yu-Lim Lee and Kyu-Mann Lee Effect of Ambient Gases on the Characteristics of ITO Thin Films for OLEDs *Transactions On Electrical And Electronic/ Materials*. Vol. 10, No. 6, December 25, 2009
- 4 T.-C. Lin, S.-C. Chang, C.-F. Chiu. (2006). Annealing effect of ITO and ITO/Cu Transparent Conductive Films in Low Pressure Hydrogen Atmosphere/ *Materials Science and Engineering*. Vol. 129. p. 39–42.
- 5 N. Boonyopakorn, N. Sripongpun, C. Thanachayanont, S. Dangtip. (2010). Effects of Substrate Temperature and Vacuum Annealing on Properties of ITO Films Prepared by Radio-Frequency Magnetron Sputtering/ *Chinese Physics Letters*. Iss. 10. Vol. 27. 108103. p. 1-4.
- 6 S.-H. Chan, M.-C. Li, H.-S. Wei, S.-H. Chen, C.-C. Kuo. (2015). The Effect of Annealing on Nanothick Indium Tin Oxide Transparent Conductive Films for Touch Sensors/ *Journal of Nanomaterials*. Vol. 2015. p. 1-5.
- 7 H. Koseoglu, F. Turkoglu, M. Kurt, M. D. Yaman, F. G. Akca, G. Aygun, L. Ozyuzer. (2015). Improvement of Optical and Electrical Properties of ITO Thin Films by Electro-Annealing/ *Vacuum*. Vol. 120. p. 8-13.
- 8 M. H. Habibi, N. Talebian. (2005). The Effect of Annealing on Structural, Optical and Electrical Properties of Nanostructured Tin Doped Indium Oxide Thin Films/ *Acta Chim. Slov.* Vol. 52. p. 53–59.
- 9 Pokaipisit, M. Horprathum, P. Limsuwan. (2008). Influence of Annealing Temperature on the Properties of ITO Films Prepared by Electron Beam Evaporation and Ion-Assisted Deposition/ *Natural Science*. Vol. 42. p. 362 – 366.
- 10 J. Lee, D.-G. Lim, W. Song, J. Yi. (2007). Influence of Annealing Temperature and Atmosphere on the Properties of ITO Films Deposited Using a Powdery Target/ *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 51. No. 3. p. 1143-1146.
- 11 H. Ali, A. Shuhaimi, S. Khadijah, Z. Hassan. (2014). Post-Annealing Effects on ITO Thin Films RF Sputtered at Different Thicknesses on Si and Glass/ *Advanced Materials Research* Vol. 925. p. 411-415.

- 12 M. Huang, Ziv Hamaeiri, A. G. Aberle, T. Mueller. (2015). Comparative study of amorphous indium tin oxide prepared by pulsed-DC and unbalanced RF magnetron sputtering at low power and low temperature conditions for heterojunction silicon wafer solar cell applications/ Vacuum. Vol. 119. p. 68-76.
- 13 A. Kono, T. Nagai, F. Shoji. (2010). Contribution to carrier densities of the oxygen vacancy in a low-resistivity tin-doped indium oxide film by the hot-cathode plasma sputtering method/ Materials Letters. Vol. 64. p. 622-624.
- 14 D. Ali, M.Z. Butt, I. Muneer, F. Bashir, M. Saleem. (2017). Correlation between structural and optoelectronic properties of tin doped indium oxide thin films/ Optik. Vol. 128. p. 235-246.
- 15 K. Kato, H. Omoto, T. Tomioka, A. Takamatsu. (2011). Changes in electrical and structural properties of indium oxide thin films through post-deposition annealing/ Thin Solid Films. Vol. 520. p. 110 - 116.
- 16 G. Zhu, L. Zhi, H. Yang, H. Xu, A. Yu. (2012). Effect of Target Density on Microstructural, Electrical, and Optical Properties of Indium Tin Oxide Thin Films/ Journal of Electronic Materials. Vol. 41, No. 9. p. 2376 – 2379
- 17 Y.M. Kang, S.H. Kwon, J.H. Choi, Y.J. Cho, P.K. Song. (2010). Properties of Ce-doped ITO films deposited on polymer substrate by DC magnetron sputtering/ Thin Solid Films. Vol. 518. P. 3081–3084.
- 18 S. Song, T. Yang, J. Liu, Y. Xin, Y. Li, S. Han. (2011). Rapid thermal annealing of ITO films/ Applied Surface Science. Vol. 257. p. 7061–7064.
- 19 S. Seong, Y. C. Jung, T. Lee, I.-S. Park, J. Ahn. (2018). Enhanced uniformity in electrical and optical properties of ITO thin films using a wide thermal annealing system/ Materials Science in Semiconductor Processing. Vol. 79. p. 14–19.
- 20 P. E. Troyan, Y. S. Zhidik. Technology for producing electrically conductive ITO films of high optical transparency with a low value of specific surface resistance / TUSUR reports, № 2 (26), Ch. 2. 2012. p. 169-171.
- 21 D-S. Liu, C-S. Sheu, C-T. Lee, C-H. Lin. (2008). Thermal stability of indium tin oxide thin films co-sputtered with zinc oxide/ Thin Solid Films. Vol. 516. p. 3196 3203.
- 22 S. Elhalawaty, K. Sivaramakrishan, N. D. Theodore, T. L. Alford. (2010). The effect of sputtering pressure on electrical, optical and structure properties of indium tin oxide on glass/ Thin Solid Films. Vol. 518. p. 3326-3331.
- 23 Hotovy, J. Pezoldt, M. Kadlecikova, T. Kups, L. Spiess, J. Breza, E. Sakalauskas, R. Goldhahn, V. Rehacek. (2010). Structural characterization of sputtered indium oxide films deposited at room temperature/ Thin Solid Films. Vol 518. p. 4508 - 4511.