

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СКРЫТОГО МОСТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ</b>

УДК 621.382.049.776.002

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ71	Рогожников Д.С.		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер лаборатории плазменных гибридных систем НОЦ Б.П. Вейнберга	Шестериков Е.В.	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Меньшикова Е.В.	к.ф.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения общих технических дисциплин	Винокурова Г.Ф.	к.т.н, доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель НОЦ Б.П. Вейнберга	Кривококов В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

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

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Демонстрировать и использовать теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, составляющих основу современной технической физики, вскрывать физическую сущность проблем, возникающих при проектировании и реализации радиационных и плазменных технологий.	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-4). СУОС ТПУ (УК 1). <i>CDIO Syllabus</i> (4.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1., 1.2, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P2	Профессионально эксплуатировать современное научное и технологическое оборудование и приборы в процессе создания и реализации радиационных и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОПК-1). СУОС ТПУ (УК 2, УК 3). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P3	Заниматься научно-исследовательской деятельностью в различных отраслях технической физики, связанных с современными радиационными и пучково-плазменными технологиями, критически анализировать современные проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследований, выбирать адекватные методы решения задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты	Требования ФГОС (ОПК-5, ОПК-7, ПК-5, ПК- 8). СУОС ТПУ (УК 1). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P4	Самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для прогнозирования результатов воздействия различных радиационных и плазменных потоков на вещество, а также оптимизации параметров радиационных и пучково-плазменных технологий, с использованием современных физико-математических методов, стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ОПК-6, ПК-6, 7). СУОС ТПУ (УК 6). <i>CDIO Syllabus</i> ( 2.1, 2.2, 2.3, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P5	Разрабатывать и оптимизировать современные пучковые и плазменные технологии с учётом экономических и экологических требований, проводить наладку и испытания технологических установок и аналитического оборудования, решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ.	Требования ФГОС (ПК-12,13,14). СУОС ТПУ (УК 6). <i>CDIO Syllabus</i> ( 4.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1., 1.2, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, формулировать технические задания, составлять техническую документацию, разрабатывать и использовать средства автоматизации, анализировать варианты проектных, конструкторских и технологических решений, разрабатывать проекты и проектную документацию для создания оборудования, реализующего пучковые и плазменные технологии.	Требования ФГОС (ПК-15, 16). СУОС ТПУ (УК 2, УК3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P7	Заниматься научно-педагогической деятельностью в области технической физики, участвовать в разработке программ учебных дисциплин, проводить учебные занятия, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся, применять и разрабатывать новые образовательные технологии	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 11). СУОС ТПУ (УК 1, УК3, УК5). <i>CDIO Syllabus</i> ( 4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P8	Владеть приёмами и методами работы с персоналом, находить оптимальные решения при реализации технологий и создании продукции, управлять программами освоения новой продукции и технологий.	Требования ФГОС (ОПК-3). СУОС ТПУ (УК 1, УК3). <i>CDIO Syllabus</i> ( 4.7). Критерий 5 (п. 2.4) АИОР, согласованный с требованиями

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
		международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>P9</b>	Анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области радиационных и пучково-плазменных технологий, внедрять новые наукоёмкие технологии, готовить документы по защите интеллектуальной собственности, разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов.	Требования ФГОС (ПК-5). СУОС ТПУ (УК 1, УК2). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>P10</b>	Развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять своё научное мировоззрение.	СУОС ТПУ (УК 6). Критерий 5 (п. 2.6) АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>P11</b>	Активно общаться в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового общения	Требования ФГОС (ОПК - 7). СУОС ТПУ (УК4, УК5). <i>CDIO Syllabus</i> ( 2.4, 3.3). Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
<b>P12</b>	Участвовать в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, проявлять инициативу, брать на себя всю полноту ответственности, уметь находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач.	Требования ФГОС (ОПК,3 ОПК-4). СУОС ТПУ (УК 3). <i>CDIO Syllabus</i> (2.1, 2.2, 2.3, 2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

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  
 \_\_\_\_\_ Кривобоков В.П.  
 (Подпись)      (Дата)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерская диссертация (магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ71	Рогожникову Дмитрию Сергеевичу

Тема работы:

Разработка технологии изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <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>	<p>Вакуумная ионно-плазменная установка ТЕМП-74М.          МРС с мишенями из тантала, меди, хрома, алюминия и кремния.          Мостовые соединения в гибридных интегральных схемах. Перемычки.          Многослойная металлизация.          Фотолитография.          Гальваническое осаждение.          Остаточное давление в рабочей камере – 0,0002 Па.</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>  <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>	<p>Цель работы: разработать технологию изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем.          Задачи:          1) сформировать проводящий слой перемишки методом контактной фотолитографии;          2) получить диэлектрики (оксид кремния – минимум 200 нм, оксид алюминия – минимум</p>

	<p>500 нм) магнетронным распылением мишеней кремния и алюминия в среде кислорода;</p> <p>3) изучить полученные диэлектрики на пригодность в данной работе;</p> <p>4) получить топологию диэлектрического слоя для выбранного диэлектрика;</p> <p>5) произвести изготовление схемы 412PM со скрытым мостовым соединением.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1) Разработка технологии изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем;</p> <p>2) development of technology for manufacturing hidden bridge connection of electrical conductors in the production of hybrid integrated circuits;</p> <p>3) актуальность;</p> <p>4) существующие решения;</p> <p>5) альтернатива – скрытый мост;</p> <p>6) цель и задачи;</p> <p>7) напыление плёнок;</p> <p>8) схема реализации медной перемычки закрытой хромом;</p> <p>9) схема реализации позолоченной перемычки;</p> <p>10) схема реализации перемычки из хрома;</p> <p>11) схема реализации перемычки из алюминия;</p> <p>12) схема 412PM;</p> <p>13) схема 412 PM со скрытым мостовым соединением;</p> <p>14) защищаемое положение;</p> <p>15) заключение;</p> <p>16) доклады и публикации.</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Е.В. к.ф.н., доцент ОСГН
Социальная ответственность	Винокурова Г. Ф. к.т.н., доцент ООТД
На иностранном языке	Демидова О.М. старший преподаватель ОИЯ
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
Введение	
Глава 1. Способы получения мостовых соединений	
Глава 2. Основные этапы фотолитографии	
<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	

**Задание выдал:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ведущий инженер лаборатории плазменных гибридных систем НОЦ Б.П. Вейнберга	Шестериков Е.В.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ71	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОДМ71	Рогожникову Дмитрию Сергеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ Б.П. Вейнберга</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	– Амортизационные отчисления 14388 руб. – Зарботная плата (руководителя 56892 руб. в месяц, инженера 16462 руб. в месяц) – Бюджет проекта 159357 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Тариф на электроэнергию – 5,8 руб. за 1 кВт·ч.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	– Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 27.1 %.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	– Сравнение с другими схожими материалами
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет</i>	– Иерархическая структура работ; – SWOT-анализ; – определение трудоемкости работ.
3. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Бюджет научно-технического исследования: – расчет материальных затрат; – расчет основной платы исполнителей темы; – накладные расходы; – формирование бюджета затрат.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Диаграмма Исикавы
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН	Меньшикова Е.В.	к.ф.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ОДМ71	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
ОДМ71	Рогожникову Дмитрию Сергеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>НОЦ Б.П. Вейнберга</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Магистр</b>	<b>Направление/специальность</b>	16.04.01 Техническая физика

Тема ВКР:

Разработка технологии изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Создание скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>– ПНД Ф 12.13.1-03. Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения).</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов. 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;</li> <li>– отклонение показателей микроклимата отсутствие или недостаток естественного света;</li> <li>– работа с газовыми баллонами;</li> <li>– соблюдение химической, электро- и пожаровзрывобезопасности;</li> <li>– использование средств индивидуальной и коллективной защиты.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– попадание паров газов в атмосферу
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– поражение электрическим током;</li> <li>– пожар;</li> <li>– взрыв;</li> <li>– химический ожог.</li> <li>– наиболее типичной ЧС является поражение электрическим током.</li> </ul>



<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООТД	Винокурова Галина Федоровна	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ71	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 113 страниц, 49 рисунков, 27 таблиц, 15 формул, 21 источник литературы.

Ключевые слова: магнетронная распылительная система; микрополосковые платы; мостовое соединение; гибридные интегральные схемы (ГИС); фотолитография; топология; гальваническое осаждение; металлизация микросхем; межуровневое соединение.

Объектом исследования являются мостовые соединения, состоящие из различных проводников (перемычек) и диэлектриков, полученных с помощью МРС.

Цель работы – разработать технологию изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем.

В процессе исследования разработана технология изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве ГИС.

Сделан вывод, что наиболее подходящим материалом для изготовления проводящего слоя мостового соединения является алюминий, толщиной 300 нм, а в качестве диэлектрика - диоксид кремния (250 нм).

Для получения резисторов в данной технологии, необходимо использовать хром в качестве резистивного слоя.

В результате работы были получены схемы 412РМ со скрытым мостовым соединением из алюминиевых перемычек и диоксида кремния, в качестве диэлектрика. Схемы прошли тестовые испытания, но технология требует дополнительной доработки для уменьшения количества бракованных схем.

## Оглавление

Введение.....	14
Глава 1. Способы получения мостовых соединений.....	16
1.1 Воздушное мостовое соединение .....	16
1.2 Мостовое соединение на полиимиде.....	17
1.3 Скрытое мостовое соединение.....	19
Глава 2. Основные этапы фотолитографии .....	24
2.1 Этапы изготовления микрополосковых плат .....	24
2.2 Контактная фотолитография.....	26
Глава 3. Экспериментальное оборудование .....	28
3.1 Вакуумная ионно-плазменная установка ТЕМП74-М.....	28
3.1.1 Параметры напыления металлов .....	30
3.1.2 Параметры напыления диэлектриков .....	31
3.2 Установка совмещения и экспонирования .....	31
3.3 Установка плазменной очистки YES-1000.....	33
3.4 Оборудование для гальванического осаждения .....	35
Глава 4. Разработка и изготовление скрытого мостового соединения.....	38
4.1 Выбор материала перемычек и диэлектрика.....	38
4.1.1 Формирование перемычки из <i>Ta-Cu-Cr</i> .....	39
4.1.2 Формирование перемычки из <i>Ta-Cu-Ni-Au</i> .....	40
4.1.3 Формирование перемычки из <i>Cr</i> .....	41
4.1.4 Формирование перемычки из <i>Al</i> .....	43
4.2 Формирование топологии схемы 412PM со скрытым мостовым соединением.....	44

Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	47
5.1 Предпроектный анализ .....	47
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	47
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	48
5.1.3 Диаграмма Исикавы.....	50
5.1.4 SWOT-анализ.....	51
5.2 Инициация проекта .....	55
5.2.1 Организационная структура проекта .....	56
5.3 План проекта.....	57
5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	61
5.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов).....	61
5.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ .....	62
5.4.3 Основная заработная плата .....	64
5.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала.....	65
5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды .....	66
5.4.6 Накладные расходы.....	67
5.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	67
5.4.8 Реестр рисков проекта .....	68
5.5 Оценка сравнительной эффективности исследования .....	69
Глава 6. Социальная ответственность.....	73
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	74

6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства .....	74
6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя .....	76
6.2 Профессиональная социальная безопасность .....	80
6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве.....	80
6.3 Экологическая безопасность.....	84
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	85
6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований .....	85
6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС .....	87
Заключение .....	94
Приложение А .....	96
Приложение Б.....	97
Список публикаций.....	111
Список используемой литературы .....	112

## Введение

Микроэлектроника – одно из направлений электроники, которое создаёт миниатюрную высоконадёжную аппаратуру с малой потребляемой мощностью, низкой стоимостью и др. [1]. Современная микроэлектроника базируется на производстве различных интегральных схем. Одной из разновидностей интегральных схем является гибридная интегральная схема (ГИС).

Производство ГИС получило широкое распространение, в связи с возможностью устанавливать навесные полупроводниковые элементы (транзисторы, диоды, кварцевые резонаторы и т.д.) на интегральную схему. Данная особенность позволяет разделить производство навесных элементов и подложек-носителей – микрополосковых плат.

Производство микрополосковых плат, как правило, осуществляется на алюмооксидной керамике ( $Al_2O_3$ ) следующим образом: напыляется адгезионный слой (который может служить одновременно и резистивным слоем), затем напыляется проводящий слой (в основном медный), далее с помощью процессов фотолитографии (ФЛ) формируется топология пассивных элементов, проводников и контактных площадок. Далее на топологию проводников производится гальваническое осаждение золотого покрытия с подслоем никеля, для защиты от коррозии. При необходимости производится ФЛ на резистивном слое, для получения резисторов.

Технология производства ГИС хорошо отработана, но некоторые задачи требуют разработки новых технологий. Примером такой задачи является необходимость создания перемычки между проводниками, которые нет возможности соединить, не замкнув с проводниками, проходящими между ними. На сегодняшний день существует два решения этой задачи. В первом решении, перемычка между проводниками формируется сверху диэлектрического слоя (полиимида), защищающего от замыкания. Во втором решении, мостовое соединение осуществляется после изготовления платы,

путем разварки золотой проволоки между проводниками с определенным воздушным зазором.

Данная реализация перемычек несёт в себе ряд недостатков:

- 1) перемычку легко сорвать при транспортировке или других манипуляциях со схемой;
- 2) для разварки перемычек необходимо дорогостоящее прецизионное оборудование.

В связи с этим существует необходимость в разработке альтернативной технологии, способной устранить перечисленные недостатки.

В качестве альтернативного метода может быть использовано скрытое мостовое соединение, в котором вначале формируется перемычка, затем диэлектрический слой с окнами под соединение с проводниками и формирование топологии схемы, в которой проводники соединяются с помощью мостового соединения.

Для реализации мостового соединения была использована схема платы 412PM (приложение А).

Цель работы: разработать технологию изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем.

В соответствии с целью, были сформированы задачи:

- 1) сформировать проводящий слой перемычки методом контактной фотолитографии;
- 2) получить диэлектрики (оксид кремния – минимум 200 нм, оксид алюминия – минимум 500 нм) магнетронным распылением мишеней кремния и алюминия в среде кислорода;
- 3) изучить полученные диэлектрики на пригодность в данной работе;
- 4) получить топологию диэлектрического слоя для выбранного диэлектрика;
- 5) произвести изготовление схемы 412PM со скрытым мостовым соединением.

## Глава 1. Способы получения мостовых соединений

### 1.1 Воздушное мостовое соединение

Воздушное мостовое соединение занимает лидирующую позицию в изготовлении мостовых соединений, т.к. формирование воздушного моста требует меньше операций, чем получение мостов методом фотолитографии. Схематично воздушный мост представлен на рисунке 1.1.

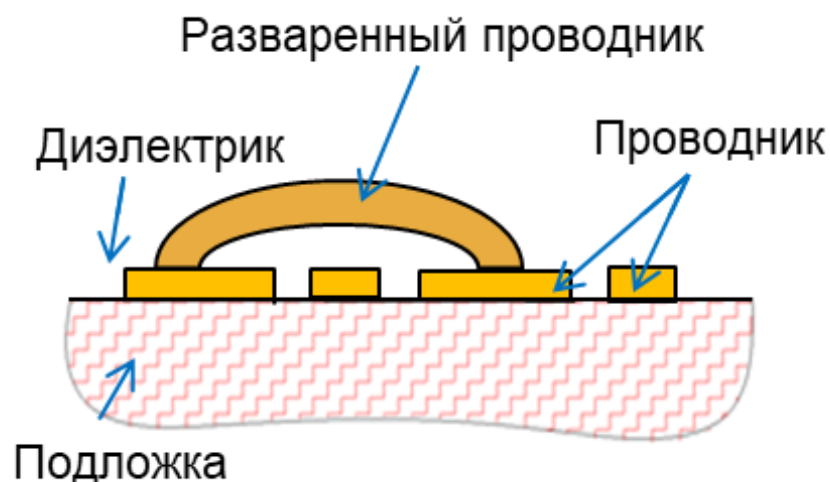


Рисунок 1.1 – Воздушное мостовое соединение

Для уменьшения паразитных индуктивностей перемычки часто изготавливают из нескольких проволочек [2].

Данная технология осуществляется в два основных этапа:

- 1) формирование топологии схемы на подложке-носителе;
- 2) разварка проволочной перемычки с помощью установки микросварки.

Для уменьшения паразитной индуктивности применяют монтаж двух параллельных перемычек (рисунок 1.2).





Рисунок 1.2 – Сдвоенные воздушные перемычки [3]

К недостаткам данной реализации перемычек относится использование дорогостоящего прецизионного оборудования для разварки золотой проволоки, дополнительная трудоёмкость, а также низкая механическая стойкость формируемых перемычек (при механическом воздействии на тонкую проволоку можно замкнуть проводники). Проблему прецизионного совмещения видно на рисунке 1.2, где две сварочные точки смещены за пределы проводника.

## 1.2 Мостовое соединение на полиимиде

Мостовое соединение на полиимиде, в отличие от воздушного моста, имеет жёсткое крепление перемычки на подложке схемы (рисунок 1.3).

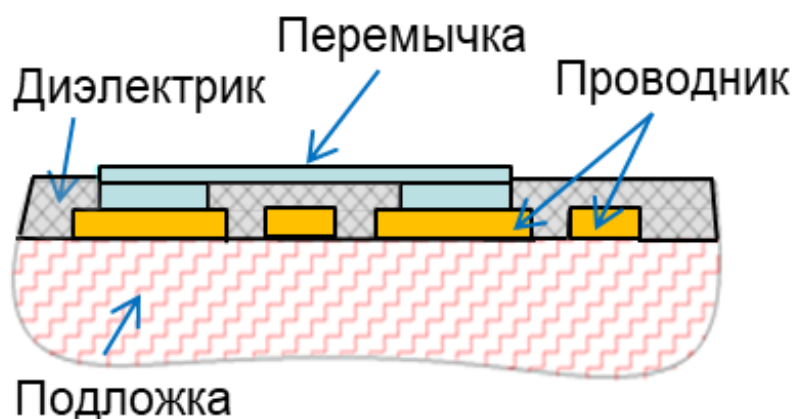


Рисунок 1.3 – Мостовое соединение на полиимиде

Мостовое соединение на полиимиде осуществляется в три этапа, с помощью процессов фотолитографии:

- 1) формирование топологии схемы на подложке-носителе;
- 2) формирование топологии полиимида над перемычками;
- 3) формирование топологии перемычек.

Пример данной реализации представлен на рисунке 1.4.

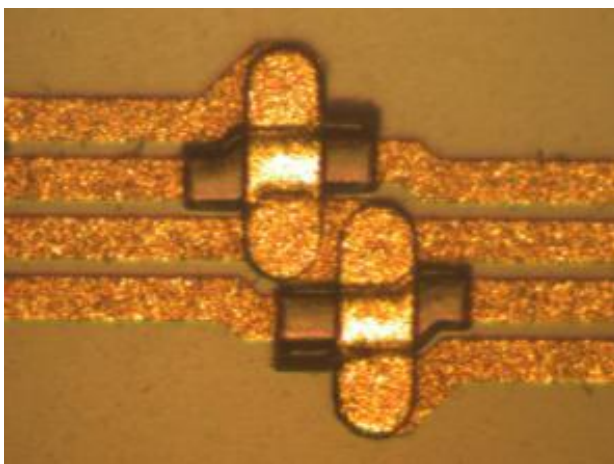


Рисунок 1.4 – Перемычки мостов с защитным диэлектриком [4]

За счёт жёсткой фиксации перемычки данная реализация исключает замыкание перемычки с проводником под ней. Использование фотолитографии при формировании мостового соединения позволяет изготавливать одновременно множество мостовых соединений на пластине в едином технологическом цикле, что уменьшает количество брака и повышает производительность изготовления схем с мостовыми соединениями.

К недостаткам данной технологии изготовления мостовых соединений относится большая толщина полиимидного слоя (от 3 до 6 мкм) [5] в сочетании с разностью термических коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) проводников. У полиамида ТКЛР составляет  $55 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  [5], у золотого покрытия и медного основания  $14 \cdot 10^{-6}$  и  $17 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  [6], соответственно. В результате циклического нагрева и охлаждения мостового соединения создаются предпосылки к разрушению моста. Также, выпирающие перемычки могут быть повреждены при манипуляциях с микрополосковыми платами.

На большинстве СВЧ схем с мостовыми соединениями используются металлизированные отверстия или пазы, которые позволяют электрически соединить лицевую и экранную сторону микрополосковой платы. Диэлектрический слой из полиимида не может быть сформирован ровным слоем на подложках с прошитыми пазами или отверстиями, т.к. при нанесении полиимида на центрифуге от пазов (отверстий) образуются области утолщения – «лучи». Эти «лучи» приводят к разной толщине диэлектрика на перемычках. Пример «лучей» из полиимида представлен на рисунке 1.5.

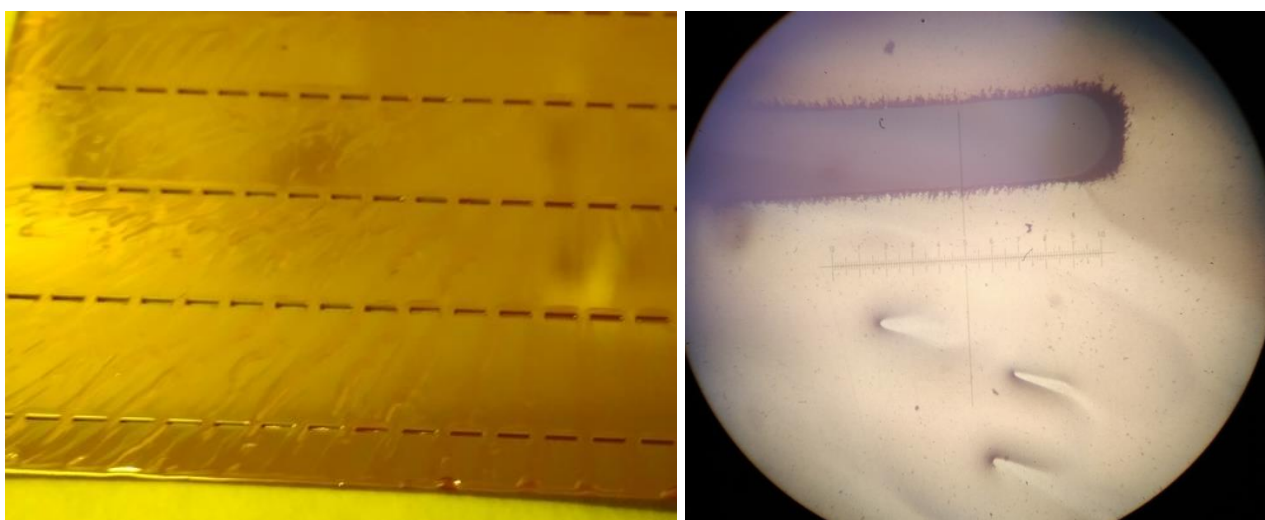


Рисунок 1.5 – «Лучи», полученные при нанесении полиимида на центрифуге

Вышеперечисленные недостатки приводят к необходимости поиска новых методов изготовления микрополосковых плат с мостовыми соединениями.

## Глава 2. Основные этапы фотолитографии

### 2.1 Этапы изготовления микрополосковых плат

При формировании топологии схемы методом фотолитографии, подложка проходит технологический цикл, представленный на рисунке 2.1 и рисунке 2.2.

На рисунке 2.1 представлены этапы от прошивки отверстий в подложке, до формирования топологии проводника с помощью ФЛ.

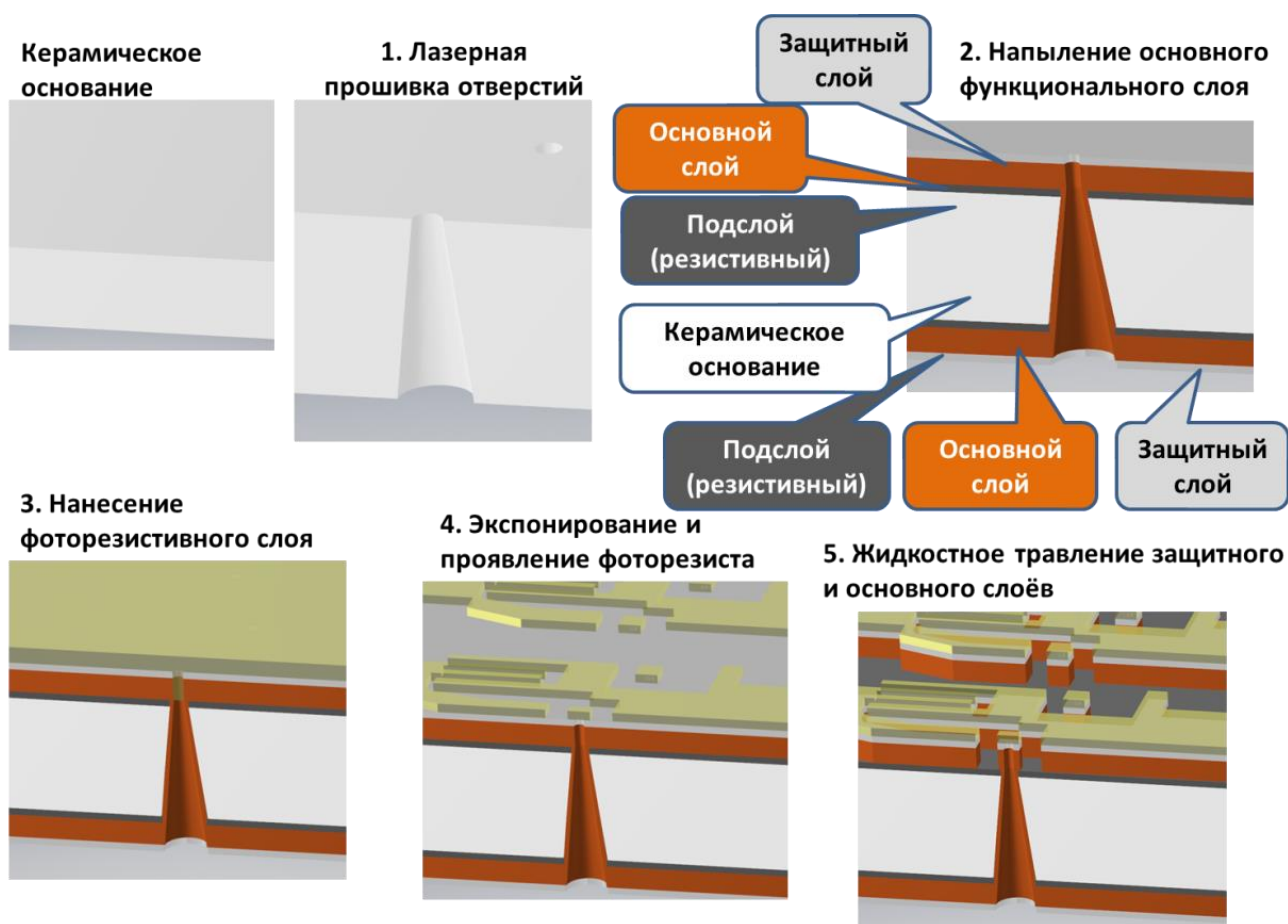
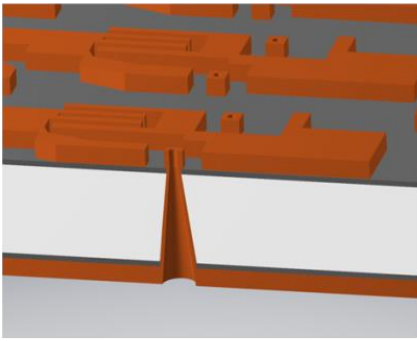


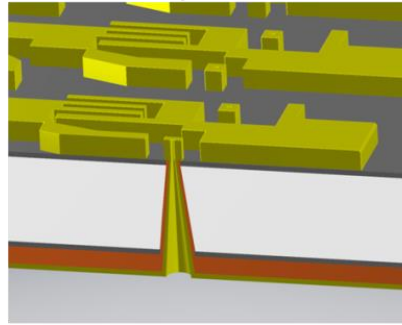
Рисунок 2.1 – Формирование топологии проводника

После формирования топологии проводника осаждается защитный слой золота, после чего формируется топология резисторов (рисунок 2.2).

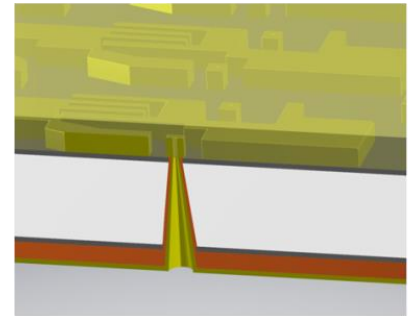
6. Удаление фоторезистивной маски и защитного слоя



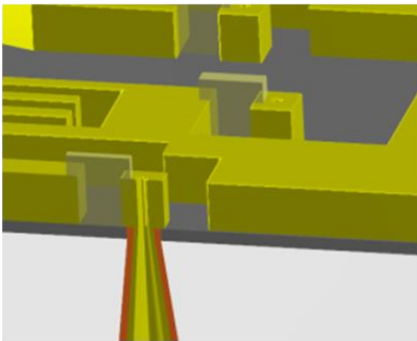
7. Гальваническое осаждение защитного покрытия



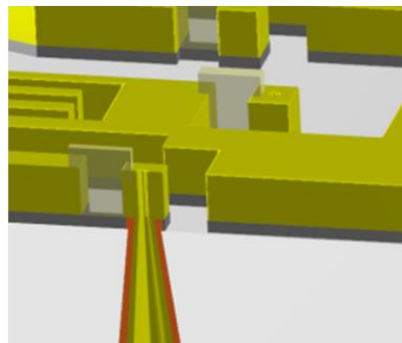
8. Нанесение фоторезистивного слоя



9. Экспонирование и проявление фоторезиста



10. Жидкостное травление резистивного слоя



11. Удаление фоторезистивной маски

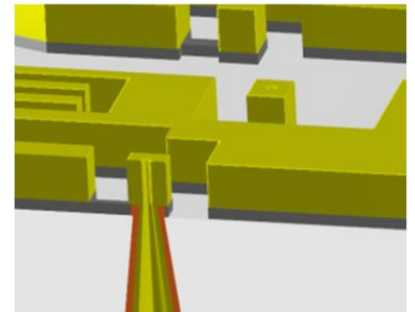
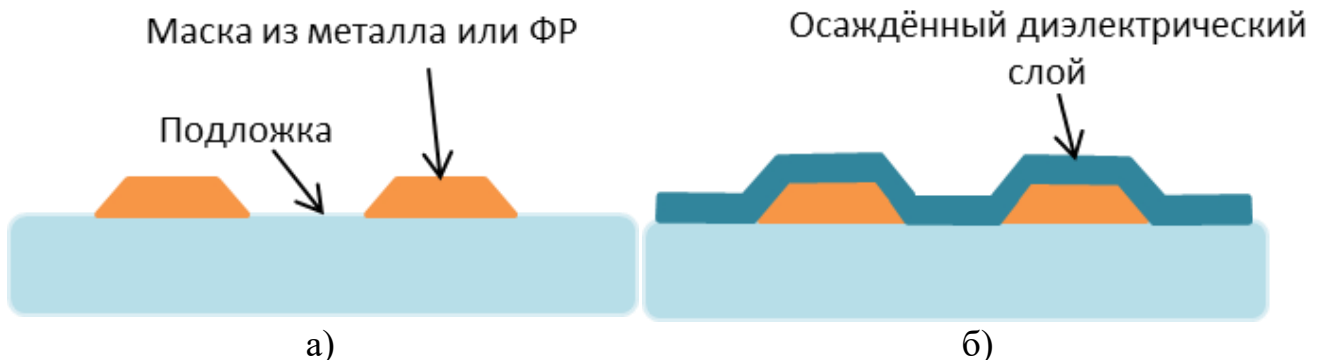


Рисунок 2.2 – Формирование топологии резисторов

При использовании взрывной фотолитографии применяется схема, представленная на рисунке 2.3. Вначале формируется маска на участках подложки, где не должно быть диэлектрика (рисунок 2.3а). Затем напыляется диэлектрический слой (рисунок 2.3б) и методом взрыва удаляется слой маски, в результате чего диэлектрик остаётся в местах, где не было защитной маски (рисунок 2.3в).



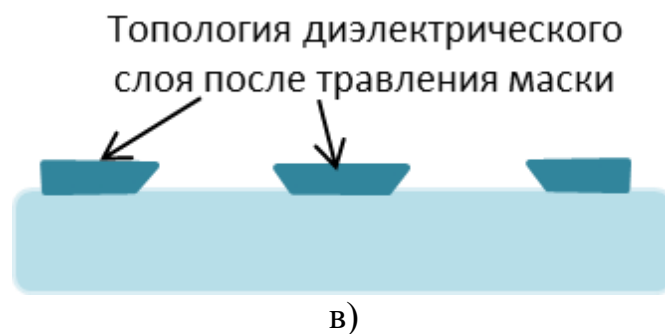


Рисунок 2.3 – Формирование топологии диэлектрического слоя

Данным способом формировался диэлектрик скрытой части мостового соединения.

## 2.2 Контактная фотолитография

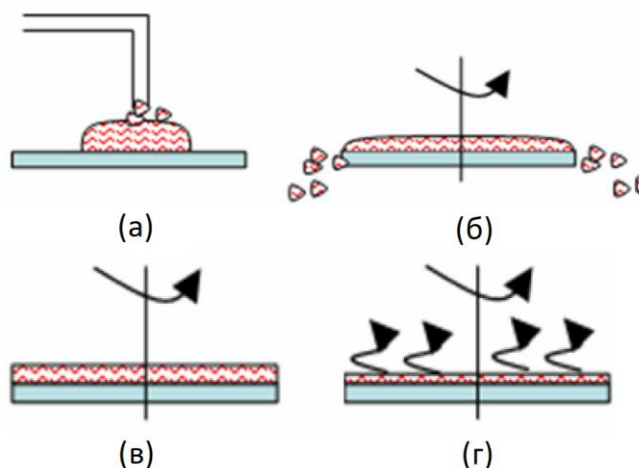
В данной работе формирование топологии элементов схемы осуществлялось с помощью контактной фотолитографии, к основным этапам которой относится:

- нанесение на подложку фоторезистивного слоя методом центрифугирования;
- сушка ФР-слоя в сушильном шкафу;
- экспонирование через маску, определяющую рисунок будущих схем;
- проявление рисунка;
- плазменная очистка;
- формирование топологии проводников, путём травления незащищённого маской слоя;
- удаление ФР.

В данной работе фоторезист наносился методом центрифугирования.

В технологии нанесения фоторезиста, методом центрифугирования выделяют 4 этапа (рисунок 2.4):





(а) дозирование, (б) растекание ФР по пластине, (в) формирование ФР-плёнки необходимой толщины, (г) испарение растворителя.

Рисунок 2.4 – Метод центрифугирования [7]

В работе использовался позитивный фоторезист ФП 25ЭКО, производителя ФРАСТ-М, наносимый методом центрифугирования при скорости 2000 оборотов в минуту.

После нанесения ФР, подложки сушатся в конвекционной печи при температуре 90°C в течение 30 минут.

Далее подложки проходят этап совмещения и экспонирования через фотошаблон (ФШ), определяющий топологию фоторезистивной маски. Подложки совмещаются по отверстиям в подложке и меткам на ФШ с помощью установки для совмещения и экспонирования. Доза экспонирования для ФП25ЭКО – 1463 мДж/с.

Следующим этапом осуществляется проявление в 0,5-процентном растворе гидроксида натрия в течение 25 секунд, с последующей промывкой в деионизованной воде и сушкой.

После формирования фотомаски подложки подвергаются плазменной очистке в среде кислорода на установке YES-1000, в которой удаляются остатки ФР и загрязнения на открытой от фотомаски поверхности.

Далее производится травление незащищённого маской слоя и удаляется фоторезист.

В результате вышеперечисленных операций формируется топология слоёв схемы.

## Глава 3. Экспериментальное оборудование

### 3.1 Вакуумная ионно-плазменная установка ТЕМП74-М

Для напыления металлических и диэлектрических плёнок использовалась установка вакуумного магнетронного напыления ТЕМП-74М. Внешний вид установки представлен на рисунке 3.1.

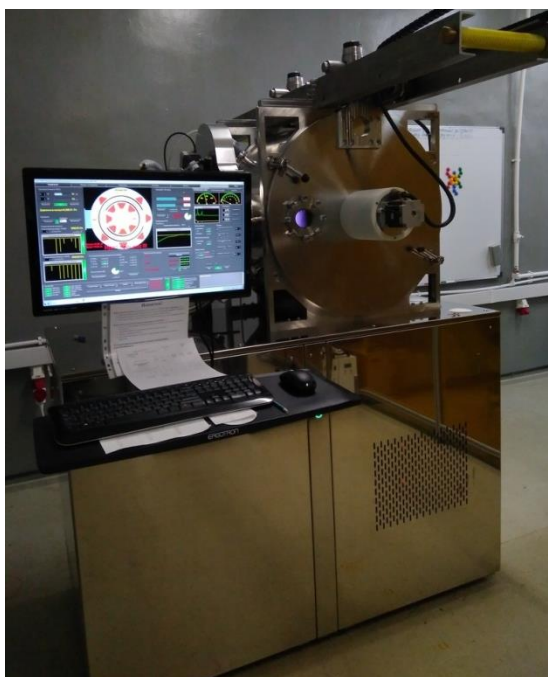


Рисунок 3.1 – Вакуумная ионно-плазменная установка ТЕМП74-М

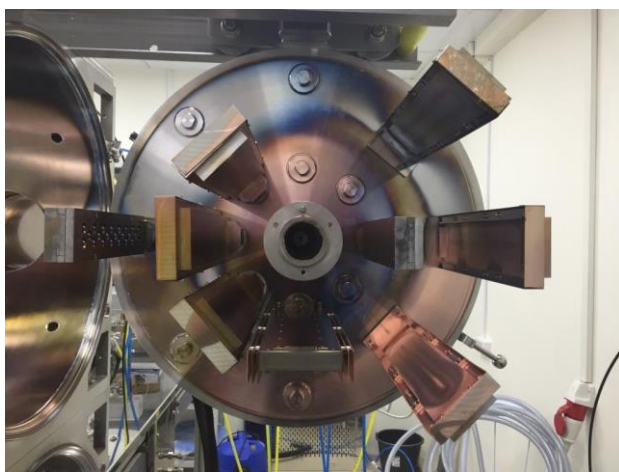
Вакуумная напылительная установка ТЕМП-74М предназначена для нанесения тонких пленок методом магнетронного распыления металлических материалов и сплавов на поверхность подложки. Процесс нанесения покрытия происходит в вакуумной камере в диапазоне рабочих давлений  $0.1 \div 0.5$  Па.

Установка может работать в ручном и автоматическом режиме с управлением от персонального компьютера с возможностью мониторинга параметров процесса.

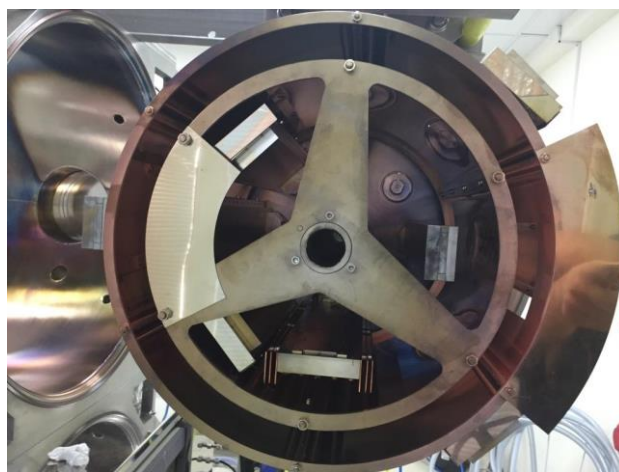
Особенность изготовления вакуумной камеры позволяет производить напыление одновременно с двух сторон. Внутри вакуумной камеры расположены следующие элементы (рисунок 3.2):



- 6 протяженных магнетронов (3 на внешней, 3 на внутренней стороне относительно карусели) (рисунок 3.2а), с размерами мишеней 375x75x8 мм;
- 2 ионных источника (рисунок 3.2а);
- нагреватель (рисунок 3.2а);
- заслонка (рисунок 3.2б);
- карусель с 20 съемными кассетами (рисунок 3.3а);
- кассета с 2 контактными устройствами для датчиков сопротивления (под размер датчика 30x4 мм), датчиком температуры (термосопротивление платиновое ЭЧП-40), окном для установки керамической пластины, размером 30x24 мм (для контроля сопротивление квадрата резистивной пленки и толщины проводникового слоя после напыления) (рисунок 3.3б);
- смотровое окно, диаметром 4 дюйма;
- вакуумный ввод вращения карусели с гермовводом для ввода контактов датчиков сопротивления и температуры;
- вакуумный ввод вращения заслонки [8].



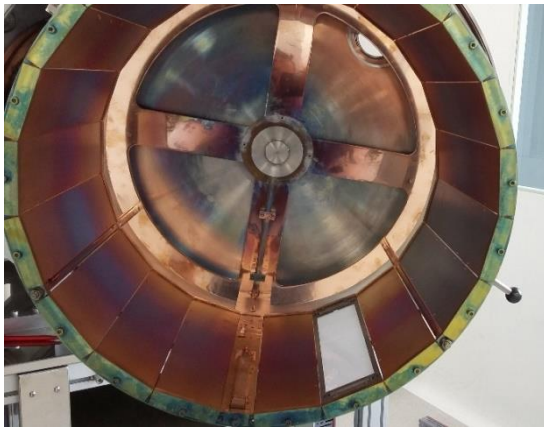
а)



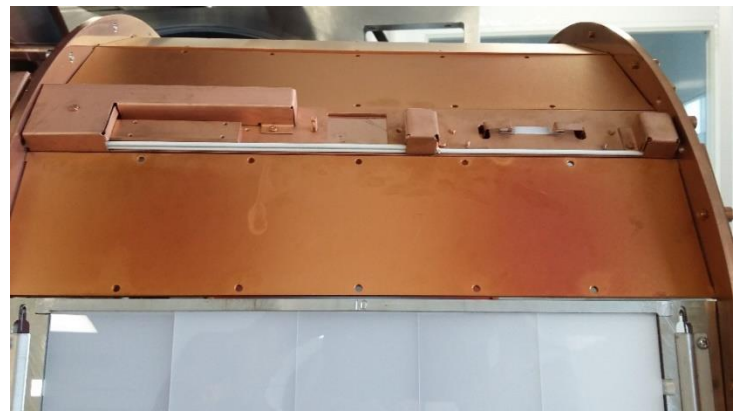
б)

а) крышка без заслонки, б) крышка с заслонкой [8].

Рисунок 3.2 – Внешний вид задней крышки вакуумной камеры



а)



б)

а) карусель, б) пластина датчиков [8].

Рисунок 3.3 – Внешний вид передней крышки вакуумной камеры

Далее будут представлены параметры напыления металлов и диэлектриков на установке ТЕМП-74М.

### 3.1.1 Параметры напыления металлов

Остаточное давление во всех процессах напыления было  $2 \cdot 10^{-4}$  Па. В таблице 3.1 представлены параметры напыления металлов.

Таблица 3.1 – Параметры напыления металлов на установке ТЕМП-74М

Металл (назначение)	Рабочий газ	Рабочее давление, Па	Контролируемый параметр		Удельная мощность на магнетроне, Вт/см <sup>2</sup>
			Поверхностное сопротивление, Ом/кв.	Толщина плёнки, мкм	
Тантал (адгезионный слой)	Аргон	0,2	75	-	1,70
Хром (резистивный слой)			75	-	0,81
Медь (основной слой)			-	1	7,11
Хром (защитный слой)			-	0,05	0,81
Хром (основной слой перемычки)			-	0,5	2,84
Алюминий (основной слой перемычки)			-	0,3	7,11

Напыление адгезионного, основного и защитного слоя производилось в одном процессе напыления, без разгерметизации камеры.

### 3.1.2 Параметры напыления диэлектриков

Напыление диэлектрических слоёв производилось распылением мишеней кремния и алюминия в смеси газов аргона и кислорода. Остаточное давление во всех процессах напыления было  $2 \cdot 10^{-4}$  Па. В таблице 3.2 представлены параметры напыления диэлектриков.

Таблица 3.2 – Параметры напыления диэлектриков на установке ТЕМП-74М

Получаемый диэлектрик	Мишень	Рабочее давление, Па	Процентное содержание аргона, %	Процентное содержание кислорода, %	Толщина плёнки, нм	Мощность, Вт/см <sup>2</sup>
Диоксид кремния	кремний 99,999	0,4	70	30	250	7,11
Оксид алюминия	алюминий 99,99	0,3	67	33	500	7,11

Перед напылением все подложки проходили плазменную очистку в среде кислорода на установке YES-1000.

### 3.2 Установка совмещения и экспонирования

Работы по совмещению и экспонированию велись на устройстве АМК 2104.16. Данное устройство состоит из сенсорной панели управления (СПУ, рисунок 3.4) и механической части, позволяющей осуществлять манипуляции с подложкой и ФШ, при этом контролируя точность совмещения через встроенный микроскоп.

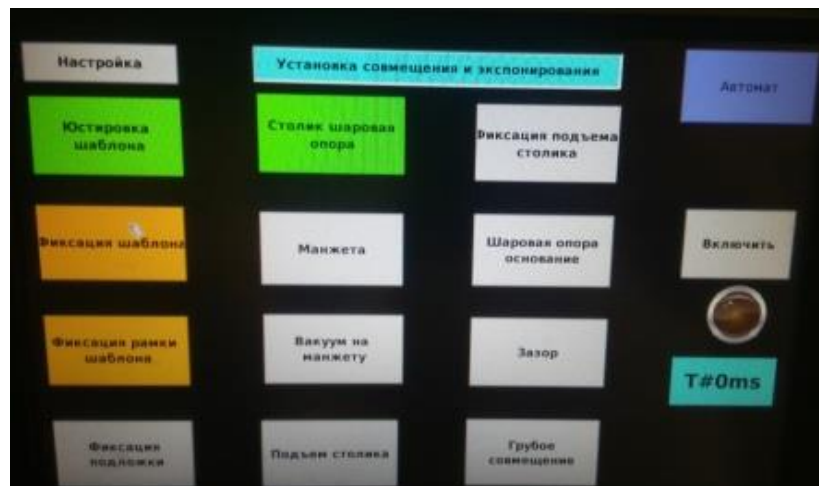
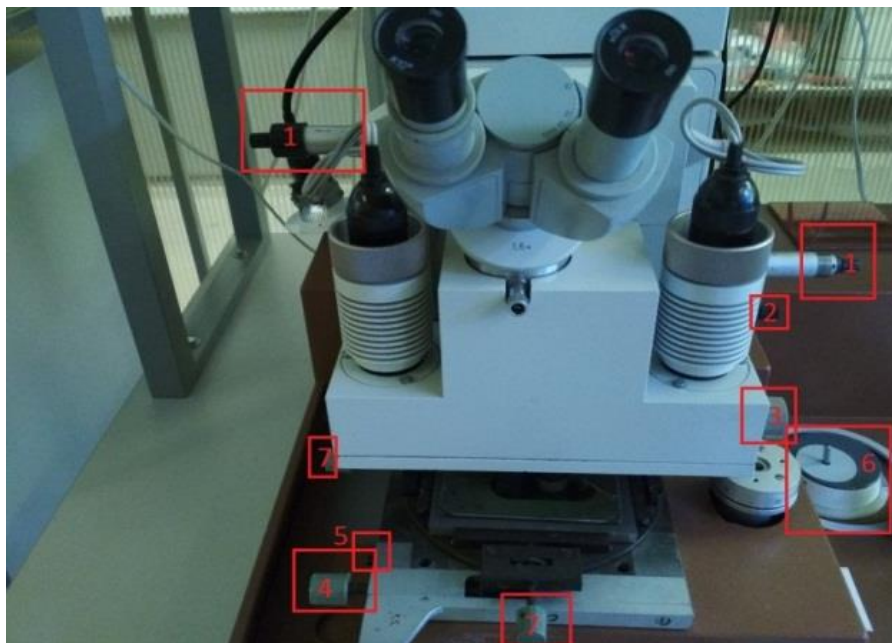


Рисунок 3.4 – Сенсорная панель управления (СПУ)

На одной стороне поворотной части установки находится микроскоп, на другой – ультрафиолетовая лампа (УФЛ). Элементы управления совмещением представлены на рисунке 3.5.



- 1 - ручные манипуляторы передвижения объективов микроскопа в горизонтальной плоскости;
- 2 - управление фокусным расстоянием микроскопа;
- 3 - регулировка расстояния между объективами микроскопа;
- 4 - манипулятор углового поворота рамки ФШ в горизонтальной плоскости;
- 5 - манипулятор углового поворота вакуумного столика с подложкой в горизонтальной плоскости;
- 6 - манипулятор грубого совмещения подложки с ФШ в горизонтальной плоскости;
- 7 - манипуляторы прецизионного совмещения ФШ с подложкой по координатам «X» и «Y» (работает только при отжатой кнопке на СПУ «Юстировка шаблона»).

Рисунок 3.5 – Элементы управления установки совмещения и экспонирования

Задачей совмещения является прецизионное позиционирование ФШ и меток на подложке (отверстия, край пластины или реперные знаки). Схематичное представление операции совмещения показано на рисунке 3.6.

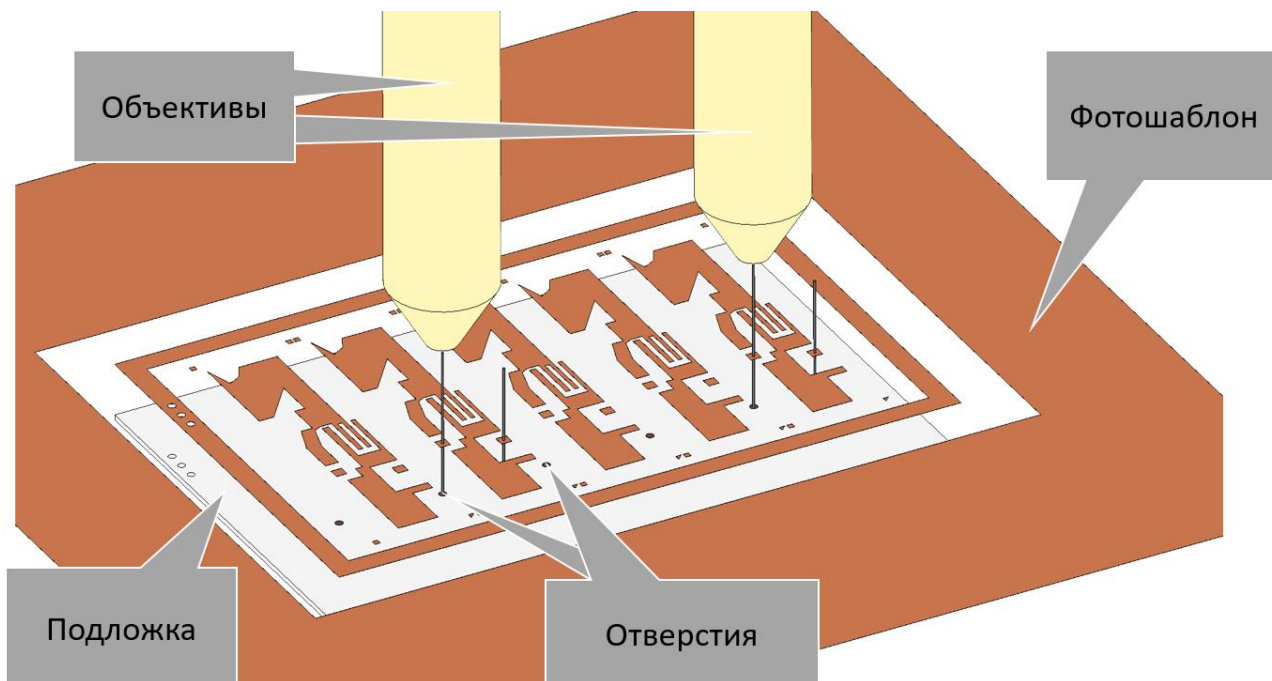


Рисунок 3.6 – Схематичное представление операции совмещения

После совмещения подложки с ФШ, поворачивается часть установки с УФЛ и производится экспонирование ФР. Для ФП 25ЭКО доза экспонирования составляет 1463 мДж/с.

### 3.3 Установка плазменной очистки YES-1000

Плазменная очистка производилась на установке YES-G1000. Ниже можно видеть краткое описание основных элементов плазменной установки. На электроде возможно размещение до 9 подложек стандарта 60x48.

Установка оснащена кислородным баллоном, для плазменной очистки.





1 – Кнопка быстрого отключения установки; 2 – кнопка включения установки; 3 – дисплей управления параметрами установки; 4 – индикатор давления (торр); 5 – ручка-замок рабочей камеры; 6 – смотровое окно; 7 – индикатор мощности плазменного разряда; 8 – рабочая камера; 9 – пластины-электроды.

Рисунок 3.7 – Плазменная установка

Рабочие пластины размещаются на керамические прокладки для исключения образования оксидной пленки с обратной стороны подложки (рисунок 3.8).

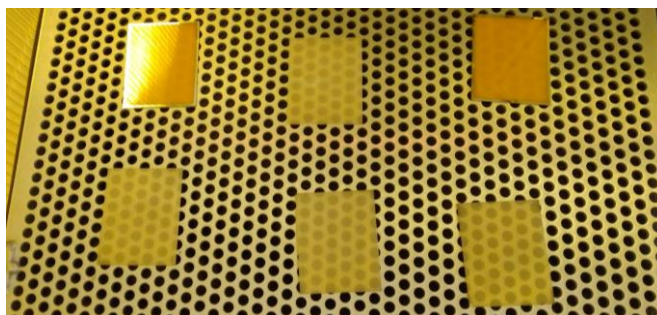


Рисунок 3.8 – Размещение подложек на электроде

Электрод с подложками помещается в рабочую камеру на заземляющий электрод (рисунок 3.9).



а)

б)

Рисунок 3.9 – Размещение подложек в рабочей камере

После загрузки дверца камеры закрывается. Далее на сенсорной панели запускается процесс очистки кнопкой «PRESS TO START PROCESS».

Очистка производится в следующем режиме:

- частота 40 кГц;
- мощность 300 Вт;
- давление кислорода 22 кПа;
- время очистки 6 мин.

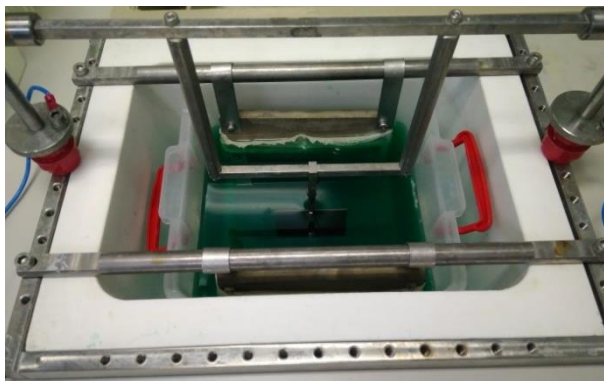
### 3.4 Оборудование для гальванического осаждения

Для гальванического осаждения никеля и золота используется источник тока ГИТМК-10Рх12-220-П2. Источник снабжён ЖК-дисплеем и пультом управления (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Приборная панель источника тока ГИТМК

Для осаждения металлов используется специальная конструкционная металлическая рамка, фторопластовая ванна и ёмкость с электролитом осаждаемого материала (рисунок 3.11а). В электролите для осаждения золота поддерживается температура  $65 \pm 2 \text{ C}^0$  (рисунок 3.11б). Для осаждения никеля используются никелевые аноды, для осаждения золота – аноды из платинированного титана.



а) гальваническая ванна для осаждения никелевого покрытия;



б) гальваническая ванна для осаждения золотого покрытия.

Рисунок 3.11 – Гальванические ванны

Состав никелевого электролита следующий:

- никель сернокислый 140 г/л;
- натрий сернокислый 60 г/л;
- кислота борная 25 г/л;
- натрий хлористый 15 г/л.

Состав золотого электролита следующий:

- калия дициано-(I)-аурат в перерасчёте на металлическое золото 15 г/л;
- аммоний фосфорнокислый двухзамещённый  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  60 г/л;
- аммоний фосфорнокислый однозамещённый  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  30 г/л;
- натрий сернистокислый 2,4 г/л;
- таллий азотнокислый 0,015 г/л.

Осаждение золотого покрытия с подслоем никеля осуществляется при параметрах, представленных в таблице 3.3.



Таблица 3.3 – Параметры осаждения никеля и золота

Материал	Температура, С <sup>0</sup>	Толщина покрытия, мкм	Плотность тока, мА/мм <sup>2</sup>	Время осаждения, мин.
Никель	23±2	1	0,1	1
Золото	65±2	1	0,04	4

Слой металлов на подложке после осаждения никеля и золота представлены на рисунке 3.12.

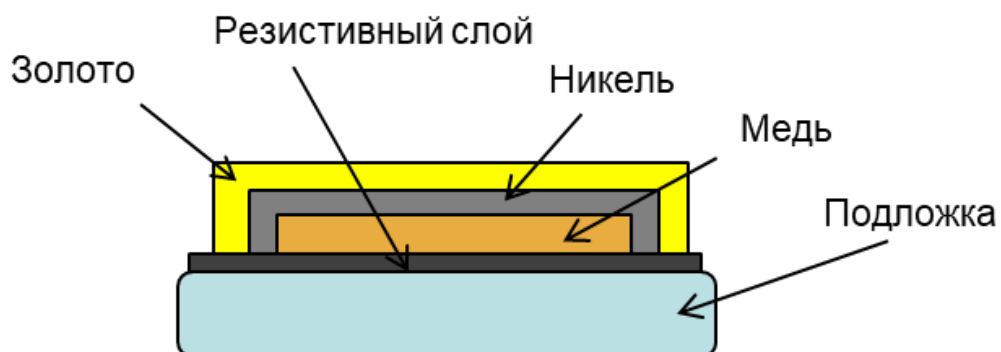


Рисунок 3.12 – Медный проводник, покрытый защитным слоем никель-золото

После осаждения медный проводник защищён от влияния окружающей среды со всех сторон.

## **Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Сегодня перспективность научного исследования в первую очередь задаётся коммерческой ценностью данной разработки, а не масштабом открытия. При поиске источника финансирования необходимо в первую очередь произвести оценку коммерческой ценности разработки для реализации научного исследования и дальнейшей коммерциализации результатов этого исследования. Главным образом это важно разработчикам, которым необходимо предоставлять существующие результаты и дальнейшие перспективы осуществляемых исследований.

### **5.1 Предпроектный анализ**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Исследуемое скрытое мостовое соединение на кристаллах микрополосковых плат применяется для изготовления мостов Ланге. Также данная технология позволяет изготавливать конденсаторы на микрополосковых платах используя прямую фотолитографию.

Потенциальными потребителями являются оборонные предприятия и производители СВЧ приборов.

### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов [9].

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок;
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

На сегодняшний день существует две лидирующие конкурентные технологии для скрытого мостового соединения ( $K_{\phi}$ ), которые чаще всего применяются для изготовления мостовых соединений. Это технология изготовления воздушного мостового соединения ( $K_1$ ) и технология изготовления мостового соединения на полиимиде ( $K_2$ ).

Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 5.1, подбирались, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Таблица 5.1 – Оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,1	4	3	5	0,4	0,3	0,5
2. Высокая механическая прочность соединения	0,1	5	2	4	0,5	0,2	0,4
3. Надёжность	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
4. Скорость изготовления элементов	0,1	5	4	5	0,5	0,4	0,5
5. Возможность массового изготовления микрополосковых плат на одной подложке	0,3	5	1	5	1,5	0,3	1,5
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
2. Цена	0,05	5	3	5	0,25	0,15	0,25
3. Востребованность на рынке	0,05	5	5	3	0,25	0,25	0,15
4. Срок выхода на рынок	0,1	5	5	4	0,5	0,5	0,4
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,9</b>	<b>2,7</b>	<b>4,5</b>

Основными критериями оценки производства мостовых соединений являются: повышение производительности труда пользователя, удобство в эксплуатации, надёжность, скорость изготовления элементов, возможность массового изготовления микрополосковых плат на одной подложке, конкурентоспособность продукта и срок выхода на рынок.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i \cdot B_i , \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Оценочная карта показывает, что использование скрытого мостового соединения по большей части параметров лучше, чем у конкурентов, как с технической, так и экономической стороны. Эти качества помогут завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

### 5.1.3 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- выявление причин возникновения проблемы;
- анализ и структурирование процессов на предприятии;
- оценка причинно-следственных связей.

Построение диаграммы начинают с формулировки проблемной области/темы, которая является объектом анализа и наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы. Так как, важнейшим показателем проекта является получение разрабатываемого продукта с заявленными свойствами, в качестве проблемы была выбрана проблема зарастания химическим золотом поверхности подслоя хрома.

Затем были выявлены факторы, влияющие на объект анализа. Часто, для выявления таких факторов используется прием 6М:

- персонал (Manpower);
- оборудование (Machine);
- сырье, материалы, комплектующие (Material);
- технология проведения работ (Method);

- средства измерения и методы контроля (Measurement);
- производственная среда (Media).

Выявленные факторы подводят к стрелкам диаграммы первого уровня.

Далее к каждой стрелке подводят стрелки второго уровня и т. п. до тех пор, пока на диаграмму не будут нанесены все стрелки, обозначающие факторы, оказывающие заметное влияние на объект анализа. Каждый фактор более низкого уровня будет являться следствием по отношению к причине более высокого уровня.



Рисунок 5.1 – Диаграмма Исикавы

#### 5.1.4 SWOT-анализ

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

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

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены таблице 5.2.

Таблица 5.2 – SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. Не требуется новое оборудование</p> <p>С3. Высокая механическая прочность соединения</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С5. Есть заинтересованные заказчики</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Отсутствие инженеринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл3. Конечный прототип не завершён</p> <p>Сл4. Корректировка технологии по устранению большого числа брака при гальваническом осаждении не завершена</p> <p>Сл5. Слабая маркетинговая политика</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и института ОА им. академика В.Е. Зуева СО РАН</p> <p>В2. Технологию изготовления скрытых мостовых соединений можно использовать для изготовления конденсаторов на микрополосковых платах, с полным закрытием проводников защитным слоем</p> <p>В3. Более прочное и дешёвое в производстве мостовое соединение закрывает недостатки технологий конкурентов</p>		
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие знаний о новой технологии у потенциальных заказчиков</p> <p>У2. Усложнение технологии при избавлении от зарастания химическим золотом повысит цену на продукцию</p> <p>У3. У некоторых производителей ГИС на основе микрополосковых плат уже закуплено дорогостоящее оборудование для прецизионной сварки</p>		

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

В рамках данного этапа необходимо построить интерактивную матрицу проекта. Ее использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT. Возможно использование этой матрицы в качестве одной из основ для оценки вариантов стратегического выбора. Каждый фактор помечается либо знаком «+» (означает сильное соответствие сильным сторонам возможностям), либо знаком «-» (что означает слабое соответствие); «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-». Интерактивная матрица проекта представлен в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Интерактивная матрица проекта

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

Из анализа интерактивной матрицы проекта можно выявить преобладающее направление реализации проекта: B3C1C2C3C4C5.

В рамках **третьего этапа** составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 5.4.



Таблица 5.4 – Итоговая матрица SWOT-анализ

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>С1. Экономичность и энергоэффективность технологии</p> <p>С2. Не требуется новое оборудование</p> <p>С3. Высокая механическая прочность соединения</p> <p>С4. Наличие бюджетного финансирования</p> <p>С5. Есть заинтересованные заказчики</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p>Сл1. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой</p> <p>Сл2. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство под ключ</p> <p>Сл3. Конечный прототип не завершён</p> <p>Сл4. Корректировка технологии по устранению большого числа брака при гальваническом осаждении не завершена</p> <p>Сл5. Слабая маркетинговая политика</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p>В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и института ОА им. академика В.Е. Зуева СО РАН</p> <p>В2. Технологию изготовления скрытых мостовых соединений можно использовать для изготовления конденсаторов на микрополосковых платах, с полным закрытием проводников защитным слоем</p> <p>В3. Более прочное и дешёвое в производстве мостовое соединение закрывает недостатки технологий конкурентов</p>	<p>Использование инновационной инфраструктуры ТПУ и института ОА им. академика В.Е. Зуева поможет реализовывать конечный продукт. Наличие бюджетного финансирования поможет развитию технологии. Реализация новой более прочной и дешёвой технологии, без внедрения нового оборудования, способствует в реализации продукции.</p>	<p>Лаборатория Радиофотоники института ОА им. академика В.Е. Зуева предоставляет возможность повышения квалификации персонала заказчика на нашем оборудовании и на оборудовании заказчика, а также готовы осуществить производство под ключ. Имеется два принципиально разных решения проблемы с зарастанием химическим золотом.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p>У1. Отсутствие знаний о новой технологии у потенциальных заказчиков</p> <p>У2. Усложнение технологии при избавлении от зарастания химическим золотом повысит цену на продукцию</p> <p>У3. У некоторых производителей ГИС на основе микрополосковых плат уже закуплено оборудование для прецизионной сварки</p>	<p>Использование продукции по технологии НИР заинтересованным заказчиком (лидер в РФ в области производства СВЧ приборов) привлечёт других производителей. В массовом производстве выгоднее использовать методы ФЛ.</p>	<p>Усложнение технологии требует повышение квалификации персонала на других производствах, для обучения которых необходимо покинуть своё производство на время обучения. В связи с высокой загрузкой, не каждое производство сможет позволить себе отсутствие квалифицированного персонала на рабочем месте. Нет прототипа.</p>

Исходя из анализа матрицы, можно сделать вывод, что необходимо в первую очередь получить рабочий прототип. Далее использование нашей продукции заинтересованным заказчиком привлечёт других производителей СВЧ приборов. Помимо материальной продукции в качестве продукта будет предложено обучение данной технологии, что позволит расширить возможности производства ГИС. Также заказчикам будет презентована возможность получения конденсаторов прямой ФЛ, что позволит полностью защищать верхнюю обкладку. Часть материала будет передана преподавателям в ТПУ и ТУСУР, для ознакомления студентов с технологией из НТР, которые в дальнейшем, при трудоустройстве на различных предприятиях смогут предлагать её для решения проблем с мостовыми соединениями.

## 5.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются заинтересованные стороны проекта, изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Таблица 5.5 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Лаборатория Радиофотоники института ОА им. академика В.Е. Зуева	Получение новой технологии в области изготовления мостовых соединений. Публикации в высокорейтинговых журналах.
АО «Микроволновые системы»	Отказ от дорогостоящей технологии воздушного мостового соединения. Возможность получать надёжную продукцию

Таблица 5.6 – Цели и результат проекта

<b>Цели проекта:</b>	Разработать технологию изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем
<b>Ожидаемые результаты проекта:</b>	Получение технологии скрытого мостового соединения. Написание статьи в высокорейтинговые журналы по результатам работы.
<b>Критерии приемки результата проекта:</b>	Получена подложка с матрицей элементов с мостовыми соединениями. Опубликована статья в изданиях, индексируемых в SCOPUS или Web of Science импакт-фактор которых не менее 3.
<b>Требования к результату проекта:</b>	Количество годных элементов на подложке должно быть выше 80 процентов.
	Переключатель прошёл тестирование на циклические перемены температур без повреждений.
	Качество диэлектрика обеспечивает защиту переключателя от пробоя.

### 5.2.1 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 5.7.

Таблица 5.7 – Рабочая группа проекта

№	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, часы
1	Шестериков Е.В., ведущий инженер лаборатории плазменных гибридных систем НОЦ Б.П. Вейнберга, к.т.н.	Руководитель проекта	Координация реализации научного исследования	21
2	Рогожников Д.С., инженер лаборатории лидарных методов института ОА им. академика В.Е. Зуева СО РАН	Исполнитель проекта	Проведение экспериментальной работы, обработка и анализ данных	355
<b>ИТОГО:</b>				<b>376</b>

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.

### **5.2.2 Ограничения и допущения проекта**

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

Таблица 5.7 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/ допущения</b>
3.1. Бюджет проекта	159357 руб.
3.1.1. Источник финансирования	ООО «ИСК»
3.2. Сроки проекта:	01.02.2019 – 30.05.2019
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	20.12.2018
3.2.2. Дата завершения проекта	14.06.2019
3.3. Прочие ограничения и допущения	нет

### **5.3 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 5.8.

Таблица 5.8 – 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	3	01.02.2019	05.02.2019	Руководитель
2	Подбор и изучение материалов по теме	4	06.02.2019	11.02.2019	Инженер (дипломник)
3	Выбор направления исследований и способа решения задач	14	12.02.2019	01.03.2019	Руководитель, Инженер (дипломник)
4	Календарное планирование работ по теме	4	02.03.2019	07.03.2019	Руководитель
5	Построение плана экспериментов	10	08.03.2019	24.03.2019	Инженер (дипломник)
6	Определение материала для изготовления перемычки	10	25.03.2019	05.04.2019	Руководитель, Инженер (дипломник)
7	Определение и выбор материала диэлектрика	6	06.04.2019	15.04.2019	Инженер (дипломник)
8	Получение подложки с мостовыми соединениями	4	16.04.2019	20.04.2019	Инженер (дипломник)
9	Металлизация мостовых соединений	3	21.04.2019	24.04.2019	Инженер (дипломник)
10	Формирование топологии проводящего и резистивного слоёв микрополовковых плат с мостовым соединением	9	25.04.2019	15.05.2019	Инженер (дипломник)

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начало работ	Дата окончания работ	Должность исполнителя
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	6	16.05.2019	23.05.2019	Руководитель, Инженер (дипломник)
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки, составление презентации и подготовка к защите	5	24.05.2019	30.05.2019	Руководитель, Инженер (дипломник)
<b>Итого</b>	Руководитель Инженер (дипломник)	42 71			

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта. В таблице 5.9 представлены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 5.9 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме: «Разработка технологии изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем»

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ															
				февр.			март			апрел.			май			июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4	■															
2	Подбор и изучение материалов по теме	Инженер (дипломник)	5	□															
3	Выбор направления исследований и способа решения задач	Руководитель, Инженер (дипломник)	16		■	■	■												
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель	5				■												
5	Построение плана экспериментов	Инженер (дипломник)	14					□											

№ работ	Вид работ	Исполнители	T <sub>кi</sub> , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																	
				февр.			март			апрел.			май			июнь					
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2				
6	Определение материала для изготовления перемычки	Руководитель, Инженер (дипломник)	10								■	□									
7	Определение и выбор материала диэлектрика	Инженер (дипломник)	9									□									
8	Получение подложки с мостовыми соединениями	Инженер (дипломник)	4										□								
9	Металлизация мостовых соединений	Инженер (дипломник)	3											□							
10	Формирование топологии проводящего и резистивного слоёв микрополовковых плат с мостовым соединением	Инженер (дипломник)	20												□						
11	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Руководитель, Инженер (дипломник)	8																■	□	
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки, составление презентации и подготовка к защите	Руководитель, Инженер (дипломник)	4																	■	□

■ – руководитель; □ – инженер (дипломник).

## 5.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

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

1. материальные затраты НТИ;
2. затраты на специальное оборудование для научных работ
3. основная заработная плата исполнителей темы;
4. дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
6. накладные расходы.

### 5.4.1 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 требуемых материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} , \quad (2)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на электроэнергию (5,8 руб за 1 кВт/ч);  $P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

Эксперименты проводились 31 дней по 5 часов в день (155 часов). Затраты электроэнергии оборудованием приведены в таблице 5.10.



Таблица 5.10 – Затраты на электроэнергию

Оборудование	Мощность, кВт	Время работы, ч	Затраты на электроэнергию, руб
Ионо-плазменная установка ТЕМП-74М	10	100	5800
Станция деионизованной воды	1	50	290
Приточно-вытяжная система	50	155	44950
Установка совмещения и экспанирования	0,5	10	29
Центрифуга для нанесения ФР	0,05	1	0,3
Компьютер	0,1	188	109
Итого			51178,3

Расчет стоимости материальных затрат на материалы представлен в таблице 5.11.

Таблица 5.11 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

№	Материал	Единица материала	Цена, руб/ед.	Количество материала	Затраты, руб.
1	Мишень алюминия 99,99	шт	36000	0,1	3600
2	Мишень кремния 99,999	шт	60000	0,05	3000
3	Мишень из меди 99,97	шт	5000	0,3	1500
4	Диметилформаид	кг	300	5	1500
5	Фоторезист ФП 25ЭКО	кг	14500	0,2	2900
6	Прочее сырьё, материалы и реагенты				5000
Итого					17500

#### 5.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включены все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (для измерения оптических характеристик), необходимого для проведения работ по данной теме. Определение стоимости спецоборудования производилось по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта, учитывалась в виде амортизационных отчислений. Сумма амортизации за один год рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{F_{\text{п}} * a}{100\%}, \quad (3)$$

где  $F_{\text{п}}$  - первоначальная стоимость оборудования,  $a$  – норма амортизации, рассчитываемая по формуле:

$$a = \frac{1}{t} * 100\%. \quad (4)$$

где  $t$  – это срок полезного использования установки.

В рамках данного исследования оборудование и использовалось в в ограниченные сроки, поэтому сумма амортизации за проект рассчитывается по формуле:

$$A_{\text{проект}} = \frac{A_{\text{год}} \cdot N_{\text{исп.}}}{365 \cdot 24}, \quad (5)$$

где  $N_{\text{исп.}}$  – количество часов, в которые использовалось оборудование.

Данные по статье затрат на спецоборудование представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Срок службы, лет	Амортизация за год, тыс.руб.	Время работы, ч	Амортизация за проект, руб
1.	Ионо-плазменная установка ТЕМП-74М	15000	15	1000	100	11416
2.	Станция деионизованной воды	500	10	50	50	285
3.	Приточно-вытяжная система	1500	10	150	155	2654
4.	Установка совмещения и экспансии	400	15	26,7	10	31
5.	Центрифуга для нанесения ФР	150	10	15	1	2
<b>Итого</b>						<b>14388</b>

### 5.4.3 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20–30 % от тарифа или оклада.

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

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где,  $Z_{осн}$  – основная заработная плата,  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата (10 % от  $Z_{осн}$ ).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (7)$$

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (8)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 рабочих дня  $M = 11,2$  месяца, 5-дневная неделя;  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 5.13).

Таблица 5.13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	104	104
- выходные дни	14	14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24	24
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	223

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (9)$$

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

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{tc}$ );

$k_d$  – 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 5.14.

Таблица 5.14 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{tc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	33664	0,3	-	1,3	56 892	2 857	2,6	7428
Инженер	12663	0	-	1,3	16 462	827	44,4	36719
<b>Итого <math>Z_{осн}</math></b>								<b>44147</b>

#### 5.4.4 Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается

исходя из 10% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \times Z_{\text{осн}} = 4415 \text{ руб}, \quad (10)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты ( $k_{\text{доп}} = 0,1$ );  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 5.15 – приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 5.15 – Заработная плата исполнителей НИР

<b>Заработная плата</b>	<b>Руководитель</b>	<b>Инженер</b>
Основная зарплата	7428	36719
Дополнительная зарплата	743	3672
Зарплата исполнителя	8171	40391
Итого по статье $C_{зп}$ , руб	48562	

#### 5.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются 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:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (11)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2017 году вводится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 5.16.

Таблица 5.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата, руб.+дополнит.	8171	40391
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271	0,271
Сумма отчислений	2214	10946
<b>Итого</b>	13160	

#### 5.4.6 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

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

Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,3 \cdot (44147 + 4415) = 14569 \text{ руб.}$$

#### 5.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) 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.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.17.

Таблица 5.17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НТИ	17500
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	44147
3. Дополнительные расходы	4415
4. Отчисления во внебюджетные фонды	13160
5. Затраты на электричество	51178
6. Затраты на специальное оборудование	14388
7. Накладные расходы	14569
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>159357</b>

#### 5.4.8 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Данные рисков проекта сведены в таблицу 5.18.

Таблица 5.18 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Не получится подобрать сочетание составного резистивного слоя из хрома и тантала	Заращение подложки химическим золотом.	3	5	Высокий	Перерасчёт схем на резистивный слой 50 Ом/кв.	Толщины плёнки оксида тантала не хватит для увеличения проводимости резистивного слоя

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
2	Не получится прецизионно совместить негативный ФШ и топологией проводящего слоя, для осаждения золотого покрытия	Не полное покрытие проводников защитным слоем золота.	2	2	Низкий	Реализация составного резистивного слоя позволит отказаться от этого способа устранения химического золота	Наступит риск 1 в сочетании с невозможностью прецизионного совмещения на установке совмещения и экспансии
3	Возникновение пробоя диоксида кремния в ходе испытаний	Непригодность данного слоя для внедрения в производство.	1	1	Низкий	Увеличение толщины диэлектрика или использование оксида алюминия	Пробой диэлектрического слоя в ходе испытаний.

### 5.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^{p, a1, a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} \quad (13)$$



где  $I_{\phi}^p$  - интегральный финансовый показатель разработки;  $\Phi_{pi}$  – стоимость i-го варианта исполнения;  $\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналог).

В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группировались по статьям, представленным в таблице 5.19. В качестве альтернативных путей исследования рассматривается применение резистивного слоя из нихрома и РС-3710.

Таблица 5.19 – Группировка затрат по статьям

Наименование статьи	Сумма, руб.		
	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
Материальные затраты НТИ	17500	15000	19000
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	44147	44147	44147
Дополнительные расходы	4415	4415	4415
Отчисления во внебюджетные фонды	13160	13160	13160
Затраты на электричество	51178	51178	51178
Затраты на специальное оборудование	14388	14388	14388
Накладные расходы	14569	14569	14569
<b>Бюджет затрат НТИ</b>	<b>159357</b>	<b>156857</b>	<b>160857</b>

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{159357}{160857} = 0,99 ,$$

$$I_{\phi}^{a1} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{156857}{160857} = 0,98 ,$$

$$I_{\phi}^{a2} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{160857}{160857} = 1,00 .$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разы. В данной работе интегральные финансовые показатели разработки и аналогов были взяты за 1 из-за сложности расчета финансовых затрат на разработку аналогов.

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

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \quad I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p, \quad (14)$$

где  $I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;  $b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 5.20.

Таблица 5.20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,3	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,1	5	5	5
3. Высокая механическая прочность соединения	0,4	5	5	5
4. Надежность	0,2	5	5	5
ИТОГО	1	20	10	18

$$I_m^p = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 = 5,0,$$

$$I_1^{a1} = 3 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 = 4,4,$$

$$I_1^{a2} = 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 = 4,7.$$

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

$$I_{финр}^p = \frac{I_m^p}{I_{\phi}^p} = \frac{5,0}{0,99} = 5,1,$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\phi}^{a1}} = \frac{4,4}{0,98} = 4,5,$$

$$I_{\text{финр}}^{a1} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\phi}^{a2}} = \frac{4,7}{1,000} = 4,7.$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финал}}^{ai}}, \quad (15)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ср}}$  – сравнительная эффективность проекта;  $I_{\text{мэ}}^p$  – интегральный показатель разработки;  $I_{\text{мэ}}^a$  – интегральный технико-экономический показатель аналога.

Таблица 5.21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Разработка	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	0,98	1,00
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	5,0	4,4	4,7
3	Интегральный показатель эффективности	5,1	4,5	4,7
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,08	0,96	1,00

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Как видно из таблицы 5.21 разработка скрытого мостового соединения на основе смешанного резистивного слоя из хрома и тантала превосходят свои аналоги с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.

## **Глава 6. Социальная ответственность**

### **Введение**

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть путем объединения разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса.

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия [10].

Правила по охране труда и техники безопасности вводятся в целях предупреждения несчастных случаев, обеспечения безопасных условий труда работающих и являются обязательными для исполнения рабочими, руководящими, инженерно-техническими работниками.

Опасным производственным фактором, называется такой производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья [10].

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего, в определенных условиях, приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

При выполнении бакалаврской работы были использованы: установка ТЕМП-74М для осаждения покрытий, газовые баллоны со сжатым аргоном и кислородом, ПЭВМ, кислоты, фоторезисты и растворители. Ниже будет приведён анализ вредных и опасных производственных факторов, а также комплекс защитных мер.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства**

Весь персонал обязан знать и строго соблюдать технику безопасности. Обучение персонала технике безопасности и производственной санитарии производится согласно ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ, который включает в себя вводный инструктаж и инструктажа на рабочем месте ответственным лицом [11].

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

Для обеспечения безопасности оператора установки на рабочем месте в лаборатории приняты и реализованы следующие принципы:

1. Использование защитных ограждений, необходимых для исключения случаев прикосновения или опасного приближения к изолированным токоведущим и вращающимся частям. В лаборатории применяются сплошные ограждения - кожухи в электрических установках до 1000 В.

2. Для обеспечения защиты оператора установки от шума используются средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

3. Защита от вредных газо - и паровыделений предусматривает устройство местной вытяжной вентиляции для отсоса ядовитых веществ непосредственно от мест их образования. Загазованность воздуха парами ацетона, и спирта устраняется наличием центробежного вентилятора. В дополнение к общим защитным средствам применяются индивидуальные

средства защиты. При работе с ядовитыми и загрязненными веществами, пользуются спецодеждой – халатами, фартуками и так и далее. Дыхательные органы защищают изолирующими и фильтрующими приборами (ватно-марлевые повязки, респираторы, противогазы).

4. Для предотвращения происхождения ЧС, связанных с использованием баллонов со сжатыми газами, в лаборатории применены следующие мероприятия:

- баллоны установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом;
- баллоны с газом 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. Баллоны установлены в не зоны солнечных лучей;
- выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости;

5. Для предотвращения ЧС, связанных с электричеством, приняты следующие меры:

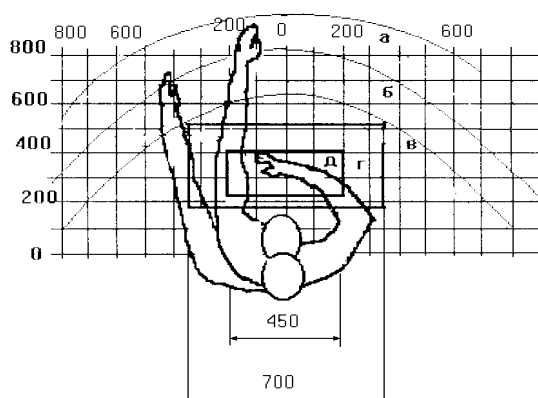
- напылительная установка присоединяется к питающей сети через общий рубильник, которым в случае необходимости можно обесточить все блоки питания установки;
- блок питания выполнен в отдельном корпусе;
- нетоковедущие части электрооборудования имеют защитное заземление с сопротивлением, не превышающим 4 Ом;
- все металлические части установки, которые находятся под напряжением, расположены так, что исключают случайное прикосновение;
- при включении высокого напряжения в установке предусмотрена световая сигнализация.

Для обеспечения безопасности при работе с химическими веществами в лаборатории приняты и реализованы следующие принципы:

1. Защита от вредных газо- и паровыделений предусматривает устройство местной вытяжной вентиляции для отсоса ядовитых веществ непосредственно от мест их образования. Также присутствует приточновытяжная система, обновляющая воздух в лаборатории в целом и поддерживающая микроклимат. В дополнение к общим защитным средствам применяются индивидуальные средства защиты. При работе с ядовитыми веществами, пользуются спецодеждой – химически стойкими халатами, защитными перчатками.

### 6.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследователя

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 6.1.



а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Рисунок 6.1 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

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

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а так же расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии



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

Экран и системные блоки производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Согласно [12] напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

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

Плотность магнитного потока должна быть не более:

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

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение при экранных фильтрах, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

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

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные и допустимые значения

характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с [13] и приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Оптимальные и допустимые параметры микроклимата

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

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

В ходе очистки образцы протираются этиловым спиртом. Концентрация паров низкая, поэтому нет необходимости обеспечивать дополнительную вентиляцию.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в используемой лаборатории регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20..25 °С, зимой – 13..15 °С. Лаборатория оснащена приточно-вытяжной системой с установкой микроклимата.

## 6.2 Профессиональная социальная безопасность

### 6.2.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при внедрении разработки на производстве

Условия проведения исследований на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, психофизиологические.

В таблице 6.2 представлены основные элементы производственного процесса изготовления скрытых мостовых соединений в производстве гибридных интегральных схем, формирующие опасные и вредные факторы.

Таблица 6.2 – Основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [13]. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация [14]. СП 52.13330.2016 <i>Естественное и искусственное освещение</i> . Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [15]. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий [16]. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов [17].
2. Превышение уровня шума		+	+	
3.Отсутствие или недостаток естественного света	+			
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека		+		

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплу тация	
6. Пожаровзрывоопасность		+		Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность [18].
7. Работа с газовыми баллонами		+		ПБ10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. - ПИО ОБТ, 1996 [19].
8. Работа с химическими реактивами		+		ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы [20].

На инженера, который работает с установкой напыления тонких плёнок, воздействуют следующие факторы: температура и влажность воздуха; шум, отсутствие естественного света, повышенное значение напряжения в электрической цепи, пожаровзрывоопасность, работа с газовыми баллонами.

Согласно [13] должны выполняться условия поддержания микроклимата рабочего места, которые не будут оказывать вредного влияния на здоровье работника. Температура в помещении в холодные и теплый период поддерживается согласно нормам около 22 °С, относительная влажность воздуха 40%.

Источник шумового загрязнения – вращающиеся части механических насосов. При работе механического насоса максимальность шумового загрязнения составляет 52 дБ на расстоянии 1м. Длительность возникновения максимальных шумов составляет не более 5 минут. Рабочее место расположено в 2-2,5 метров от установки. Предельно допустимый уровень шумов и средства защиты должны удовлетворять [16, 17]. Работающих в этих зонах, администрация снабжает средствами индивидуальной защиты, которыми являются специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противозумные каски, защитное действие которых основано на изоляции и поглощения звука.

Согласно [15] естественное освещение составляет 3% ( $KE0 e_n$ ), совместное 1,8 %, искусственное 200 лк (освещенность при комбинированном освещении от общего). Освещение комбинированное. В лаборатории на каждый стол установлены дополнительные источники света, что предотвращает недостаток освещённости рабочего места.

Источники питания установки мощностью 10 кВт обеспечивают электрические характеристики питания установки и магнетронов с параметрами до 1 кВ и 10 А. Высокое напряжение в сети (380/220 В) может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение электрического тока через тело человека оказывает комплексное воздействие: термическое (нагрев), электролитическое и биологическое. Все это может привести к серьезным нарушениям в организме или смерти согласно данным из [17]. В соответствии с этим необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования  $R_3 \leq 4$  Ом;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В;
- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;
- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;
- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

Баллоны с газом находятся под высоким давлением (несколько десятков атмосфер), в связи с этим эксплуатация такого оборудования должна производиться с большой осторожностью и выполнением ряда технических требований, манометры должны проходить поверку. Газовый сосуд в случае утечки или разрушения может стать причиной взрыва. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением

описаны в [19]. В целях безопасности необходимо выполнение общих правил эксплуатации баллонов:

- баллоны должны быть установлены вертикально и надежно закреплены в таком положении металлическим хомутом, цепью, тросом и так далее, а также защищены от падения на них сверху каких либо предметов;
- баллоны с газом, устанавливаемые в помещениях должны находиться от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей;
- выпуск газов из баллона должен производиться через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора должна иметь манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости;
- во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

При работе в химической лаборатории необходимо соблюдать следующие требования техники безопасности согласно [21]:

- при работе с химическими реактивами в лаборатории должно находиться не менее двух сотрудников;
- приступая к работе, сотрудники обязаны осмотреть и привести в порядок свое рабочее место, освободить его от ненужных для работы предметов;
- работа с едкими и ядовитыми веществами, а также с органическими растворителями проводится только в вытяжных шкафах;
- при определении запаха химических веществ следует нюхать осторожно, направляя к себе пары или газы движением руки;

- при работах в вытяжном шкафу створки шкафа следует поднимать на высоту не более 20 - 30 см так, чтобы в шкафу находились только руки, а наблюдение за ходом процесса вести через стекла шкафа;
- при работе с химическими реактивами необходимо включать и выключать вытяжную вентиляцию не менее чем за 30 минут до начала и после окончания работ;
- смешивание или разбавление химических веществ, сопровождающееся выделением тепла, следует проводить в термостойкой или фарфоровой посуде;
- во избежание ожогов, поражений от брызг и выбросов нельзя наклоняться над посудой, в которой кипит какая-либо жидкость;
- нагревание посуды из обычного стекла на открытом огне без асбестированной сетки запрещено;
- ни при каких обстоятельствах нельзя допускать нагревание жидкостей в колбах или приборах, не сообщаемых с атмосферой;
- нагретый сосуд нельзя закрывать притертой пробкой до тех пор, пока он не охладится до температуры окружающей среды.

### **6.3 Экологическая безопасность**

#### **6.3.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду**

Эксплуатация напылительной установки не приводит к загрязнению окружающей атмосферы.

Воздействие на гидросферу в пределах ПДК. Отработанные опасные реагенты сливаются отдельно в ёмкости для хранения и в дальнейшем передаются на утилизацию.

Твердые отходы, которые бы могли привести к загрязнению литосферы - отсутствуют.

## **6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **6.4.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть в лаборатории при проведении исследований**

На рабочем месте могут произойти следующие типы ЧС:

- поражение электрическим током;
- пожар;
- химический ожог.

Наиболее типичная ЧС – поражение электрическим током.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор ЭВМ работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами.

Существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ЭВМ;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ЭВМ);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;



- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Для предотвращения чрезвычайной ситуации следует четко следовать технике безопасности (ТБ) на рабочем месте, в связи с этим выделим следующие действия оператора, необходимые для обеспечения безаварийной работы на установке.

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Все работы с вредными химическими веществами должны проводиться в вытяжном шкафу при исправно действующей вентиляции (ГОСТ 12.1.007).

Работы с кислотами и щелочами должны проводиться с учетом требований безопасности на применяемые вещества согласно ГОСТ 4461, ГОСТ 3118, ГОСТ 9285, ГОСТ 4328, ГОСТ 4204 и правилам безопасности при хранении, транспортировании и применении сильнодействующих ядовитых веществ, утвержденных ЦК профсоюза.

Растворы кислот, щелочей и пленкообразующих материалов в мерные пипетки следует набирать при помощи резиновой груши или использовать специальные автоматические пипетки. Не допускается засасывать раствор в пипетку ртом.

Пролившую кислоту следует засыпать песком, нейтрализовать кальцинированной содой по ГОСТ 5100 и убрать. При выделении газов или паров следует надеть противогаз.

При проливе щелочи следует нейтрализовать ее большим количеством воды.

При рассыпании сыпучих химических веществ их следует собрать совком, поместить в специальную тару для отходов и произвести влажную уборку.

Не допускается контактирование открытой поверхности кожи человека с вредными веществами.

Работающие должны пользоваться следующими средствами индивидуальной защиты:

- при работе с кислотами и щелочами - резиновыми техническими перчатками, респираторами типа РПГ-67А или промышленным фильтрующим противогазом, защитными очками типа Г, прорезиненными фартуками;
- при работе с органическими растворителями - резиновыми перчатками или напальчниками, при необходимости, респиратором типа РУ-60м-А, РУ-60му-А.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС – тел. 112.
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией.

#### **6.4.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС**

Техника безопасности при работе на установке ТЕМП-71М:

1. Перед началом работы оператор обязан: проверить у всех приборов и оборудования наличие надежного заземления; проверить состояние соединительных кабелей, проводов, шлангов для подвода воды; проверить наличие и состояние ограждений, предупредительных знаков и клапанов; убедиться в готовности средств пожаротушения и средств оказания первой помощи.

2. Требования ТБ во время работы: включить электропитание установки; открыть воду системы охлаждения; включить механический насос; включить и вывести на рабочий режим турбомолекулярный насосы; произвести загрузку и откачку вакуумной камеры.

3. Требования ТБ после окончания работы: закрыть вакуумную камеру и произвести ее откачку; остудить и выключить турбомолекулярный насосы; выключить механический насос; отключить электропитание установки; перекрыть воду системы охлаждения.

В случае, когда ЧС имеет место необходимо выполнить следующий набор операций (на примере типичной ЧС):

- освободить пострадавшего от действия электрического тока и оценить состояние пострадавшего (выключить общий рубильник);
- вызвать скорую медицинскую помощь или врача, либо принять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение;
- если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока или продолжительное время находился под действием тока, ему до прибытия врача необходимо обеспечить полный покой и в дальнейшем медицинское наблюдение в течение 2-3 часов;
- если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием, его следует ровно и удобно положить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой, дать понюхать нашатырный спирт. Если пострадавший плохо дышит, необходимо сделать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца;

- при отсутствии признаков жизни (отсутствие дыхания, пульса, реакции зрачка на свет) нельзя считать пострадавшего мертвым. Ему должна быть оказана первая медицинская помощь в виде искусственного дыхания и непрямой массаж сердца. Искусственное дыхание и непрямой массаж сердца следует делать непрерывно до прибытия врача;
- переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда ему или лицу, оказывающему помощь, продолжает угрожать опасность или когда оказание помощи на месте невозможно.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок следующие. Отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы, вывешивание плакатов, указывающих место работы, заземление корпусов всех установок через нулевой провод, покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией, недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения

возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий несгораемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Требования безопасности при работе с химически опасными веществами:

1. Перед началом работы лаборант химического анализа должен:
  - привести в порядок спецодежду. Обшлага рукавов застегнуть, волосы убрать под плотно облегающий головной убор;
  - проверить и убедиться в исправности приточно-вытяжной вентиляции;
  - проверить исправность приборов на рабочем месте и наличие четких надписей на бутылках и склянках с реактивами;

- проверить наличие и целостность стеклянной посуды, бюреток, пипеток, исправность электроприборов и их заземление, приборов КИП, правильность подключения датчиков кондуктометрического контроля к работающему оборудованию, состояние титровальных столов, достаточность реактивов и реагентов;

- проверить освещение рабочего места.

## 2. Требования ТБ во время работы:

- Взвешивать ядовитые вещества необходимо в вытяжном шкафу (под тягой).

- При попадании ядовитого вещества на наружную часть склянки необходимо снять капли его фильтровальной бумагой (оберегая руки) и сжечь ее в вытяжном шкафу (под тягой).

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ пользоваться стеклянной посудой, имеющей надколы, трещины, острые края.

- Работы, при которых возможно бурное протекание химического процесса, разбрызгивание горячих или вредных веществ, а также работы под вакуумом должны выполняться в вытяжных шкафах на противнях или поддонах. При работе следует пользоваться защитными очками, резиновым фартуком и перчатками.

- Растворы вредных веществ следует переливать только под вытяжной вентиляцией с применением ручного насоса, сифона или специальной воронки, снабженной воздухоотводящей трубкой и предохранительным щитком.

- Переносить бутылки с агрессивными веществами на небольшие расстояния в пределах рабочего места следует в корзинах с двумя ручками не менее чем двумя лицами после предварительной проверки прочности ручек и дна корзины.

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ брать руками твердые щелочи. Их следует брать с помощью пинцетов или фарфоровых ложек.

- Концентрированные кислоты и щелочи следует хранить в стеклянных бутылках с притертыми пробками, пробки привязывают к горлышку бутылей. Бутыли хранят в отдельном помещении, их устанавливают на полу в корзинах или деревянных обрешетках. На горлышках бутылей должны быть бирки с надписью.

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ сливать отработанные кислоты и щелочи в канализацию без предварительной их нейтрализации в специальной посуде.

- Разлитые кислоты и щелочи следует засыпать песком, затем песок удалить из помещения и лишь после нейтрализации проводить уборку. Нейтрализацию производить раствором кальцинированной соды.

- При попадании кислоты на кожу или в глаза немедленно смыть ее обильной струей воды, затем промыть однопроцентным раствором пищевой соды, после чего доложить с случившемся начальнику смены.

- В случае попадания на кожу или в глаза щелочи необходимо смыть ее обильной струей воды и промыть трехпроцентным раствором борной кислоты.

- Все электронагревательные приборы должны устанавливаться на столах, защищенных стальными листами и покрытых листовым асбестом, на расстоянии 300 мм от стены. ЗАПРЕЩАЕТСЯ пользоваться электроплитами с открытой спиралью.

- ЗАПРЕЩАЕТСЯ хранить и принимать пищу в лабораториях, а также курить на рабочем месте.

Требования ТБ по окончании работы:

- привести в порядок рабочее место. Химическую посуду, использованную для анализов, вымыть хромовой смесью и высушить;

- сообщить принимающему смену или начальнику смены о всех неисправностях и нарушениях техники безопасности, замеченных во время работы и о принятых мерах по их устранению. Необходимо сделать запись в журнале;

- снять и убрать индивидуальные средства защиты;

- выключить все электроприборы, закрыть воду, отключить вытяжной шкаф;
- помыть руки с мылом;
- доложить о сдаче смены вышестоящему дежурному персоналу.

## **Выводы**

В данной главе были определены вредные и опасные факторы, формируемые при производстве скрытых мостовых соединений в гибридных интегральных схемах, среди которых можно выделить повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, пожаровзрывоопасность, химические и токсические факторы. Микроклимат поддерживается автоматически приточно-вытяжной системой. Работа с пожаро- и взрывоопасными веществами проводится согласно требованиям техники безопасности [18]. Работа с химреактивами производится согласно типовой инструкции по работе в лаборатории [21] с использованием химическистойких халатов и перчаток.

Также проводятся инструктажи по работе с высоковольтным оборудованием и опасными веществами, применяемыми в производстве гибридных интегральных схем.

Описаны методики снижения воздействия вредных факторов, а также регламент действий при возникновении чрезвычайных ситуаций, к которым могут привести опасные факторы.



## **Заключение**

В данной работе решалась задача, в которой необходимо создать перемычки между проводниками, которые нет возможности соединить, не замкнув с проводниками, проходящими между ними. В качестве решения была разработана технология изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве ГИС.

Сделан вывод, что наиболее подходящим материалом для изготовления проводящего слоя мостового соединения является алюминий, толщиной 300 нм, а в качестве диэлектрика - диоксид кремния (250 нм).

Для получения резисторов в данной технологии, необходимо использовать хром в качестве резистивного слоя.

В результате работы были получены схемы 412PM со скрытым мостовым соединением из алюминиевых перемычек и диоксида кремния, в качестве диэлектрика. Схемы прошли тестовые испытания, но технология требует дополнительной доработки для уменьшения количества бракованных схем.

Также разработка была оценена с экономической стороны.

Оценочная карта показала, что использование скрытого мостового соединения по большей части параметров лучше, чем у конкурентов, как с технической, так и экономической стороны. Эти качества помогут завоевать доверие покупателей путем предложения товара высокого качества со стандартным набором определяющих его параметров.

SWOT-анализ матрицы показал, что необходимо в первую очередь получить рабочий прототип. Далее использование нашей продукции заинтересованным заказчиком привлечёт других производителей СВЧ приборов.

Также был рассчитан бюджет проекта, который составил 159357 руб.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показал приемлемость существующего варианта решения поставленной в магистерской

диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. Разработка скрытого мостового соединения на основе смешанного резистивного слоя из хрома и тантала превосходят свои аналоги с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.

Были определены вредные и опасные факторы, формируемые при производстве скрытых мостовых соединений в гибридных интегральных схемах, среди которых можно выделить повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека, пожаровзрывоопасность, химические и токсические факторы. Микроклимат поддерживается автоматически приточно-вытяжной системой. Работа с пожаро- и взрывоопасными веществами проводится согласно требованиям техники безопасности. Работа с химреактивами производится согласно типовой инструкции по работе в лаборатории с использованием химически стойких халатов и перчаток.

Описаны методики снижения воздействия вредных факторов, а также регламент действий при возникновении чрезвычайных ситуаций, к которым могут привести опасные факторы.



## Приложение Б

### Раздел 1

Разработка технологии изготовления скрытого мостового соединения проводников в производстве гибридных интегральных схем

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ71	Рогожников Дмитрий Сергеевич		

Консультант НОЦ Б.П. Вейнберга ИЯТШ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор НОЦ Б.П. Вейнберга	Блейхер Г.А.	д.ф.-м.н., доцент		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Демидова О.М.	Старший преподаватель		

## Introduction

Microelectronics is a subfield of electronics. Microelectronics relates to the study and manufacture (or microfabrication) of tiny, highly reliable electronic devices with low power consumption and low cost, etc. [1]. Modern microelectronics based on the production of various digital integrated circuits (ICs). One of the varieties of integrated circuits is a hybrid integrated circuit (HIC).

The manufacturing of HIC is widespread, due to the possibility to mount add-on semiconductor devices such as transistors, diodes, quartz resonators, etc. on an integrated circuit. This feature allows separating the production of add-on devices and substrates, such as microstrip boards.

The production of microstrip boards, as a rule, is carried out on alumina ceramics ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) and can be divided into several technological operations: 1) an adhesive layer is sprayed, which can serve simultaneously as a resistive layer; 2) a conductive layer (usually a copper one) is sprayed onto it; 3) the topology of passive elements, conductors and contact pads using photolithography (PL) processes are formed. Further, on the electrical conductor's topology, the galvanic deposition of a gold coating with a nickel underlayer is performed to protect against corrosion. If it is necessary, PL is produced on a resistive layer to obtain resistors.

HIC production technology is well developed, but some tasks require the development of new technologies. An example of such a task is the necessity to create a jumper between conductors that cannot be connected without closing with the conductors passing between them. There are two solutions today to this important issue. In the first solution, a jumper wire between the conductors is formed on the top of the dielectric layer (polyimide) that protects against the circuit. In the second solution, the bridge connection is carried out after the board manufacturing by desoldering of the gold wire between conductors with a certain air gap.

This implementation of jumpers carries a number of disadvantages:

1) the jumper is easy to tear during transportation or other manipulations with the circuit;

2) for desoldering jumpers expensive precision equipment is needed.

In this regard, there is a need to develop an alternative technology that can eliminate these disadvantages.

As an alternative method, a hidden bridge connection can be used. The method based on the following operations: a jumper is formed, and then a dielectric layer with windows for connecting leads and forming a circuit topology in which electrical conductors are connected using a bridge junction.

The 412 PM circuit board was used to implement the bridge connection, (Appendix 1).

The major aim of the research work was to develop manufacturing technology for hidden bridge connection of electrical conductors in the production of hybrid integrated circuits.

The research project consisted of five main experimental points:

1) to form a conductive jumper layer by the method of contact photolithography;

2) to obtain dielectric materials (silicon oxide — minimum 200 nm, aluminum oxide — minimum 500 nm) by magnetron sputtering of silicon and aluminum targets in an oxygen atmosphere;

3) to study the obtained dielectrics for suitability in present work;

4) to prepare the topology of the dielectric layer for the selected dielectric;

5) to manufacture a 412PM circuit with a hidden bridge connection.

## Chapter 1. Techniques for producing bridge junctions

### 1.1 Air bridge junction

Air bridge connection occupies a leading position in the manufacture of bridge connections. It is due to that the formation of an air bridge requires fewer operations than obtaining bridges by the photolithography technique. Schematically, the air bridge is shown in Figure 1.1.

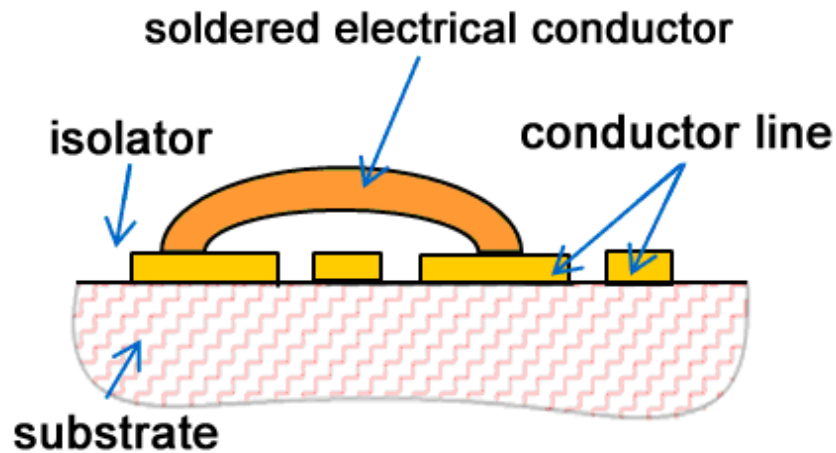


Figure 1.1 – Air bridge junction

For reducing the parasitic inductances of the jumper is often made from several wires [2].

This technology is carried out in two main stages:

- 1) the formation of the layout topology on the substrate;
- 2) desoldering wire jumper with the installation of micro-welding.

For reducing the parasitic inductance, the surface mount of two parallel jumpers is used (Figure 1.2).

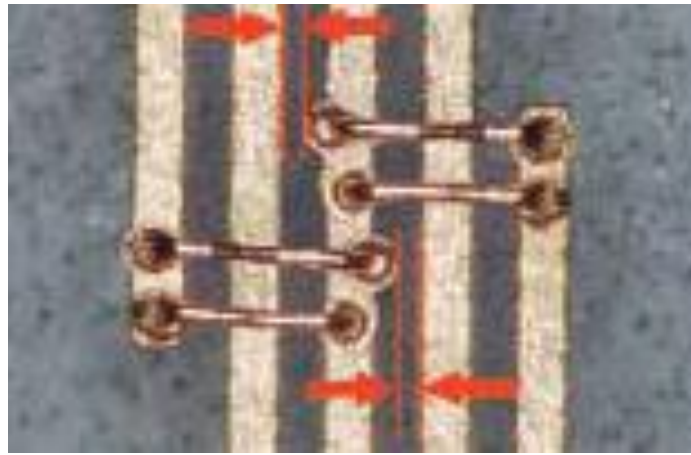


Figure 1.2 – Dual overhead jumpers [3]

The disadvantages of this approach are related with the usage of expensive precision equipment for desoldering of gold wire, additional complexity, as well as low mechanical resistance of the formed jumpers (there is a probability of the closing conductors when mechanically acting on a thin wire). The problem of solder precision can be seen in Figure 1.2, where two solder points are shifted beyond the edges of the conductor.

### 1.2 Polyimide Bridge junction

The Polyimide Bridge junction, in contrast to the air bridge junction, has a rigid mount of the jumper on the circuit substrate (Figure 1.3).

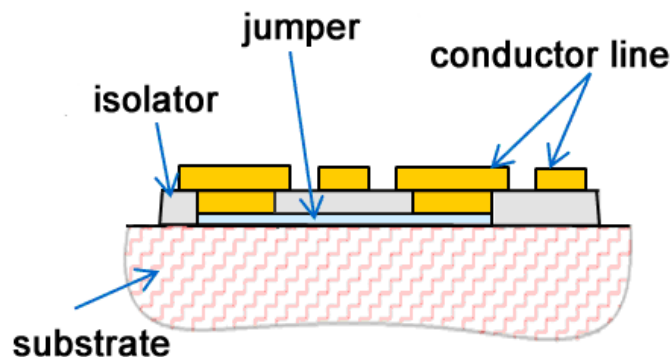


Figure 1.3 – Polyimide Bridge junction



The Polyimide Bridge junction is carried out in three stages, using the photolithography processes:

- 1) the formation of the circuit topology on the substrate;
- 2) the formation of the polyimide topology over the jumpers;
- 3) the formation of the jumper topology.

An example of this implementation is presented in Figure 1.4.

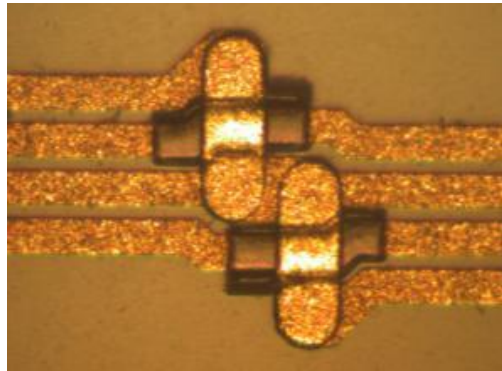


Figure 1.4 – Bridge jumpers with protective dielectric [4]

This implementation eliminates the closure of the jumper with a conductor under it due to the rigid fixation of the jumper. The use of photolithography in the formation of a bridge junction allows manufacturing a plurality of bridge junctions on a plate simultaneously in a single technological cycle. It reduces the number of faulty production and increases the productivity of manufacturing circuits with bridge joints.

The disadvantages of this technology for manufacturing bridge junctions are the large thickness of the polyimide layer (from 3 to 6  $\mu\text{m}$ ) [5] in combination with the difference in thermal coefficients of linear expansion (TCLE) of conductors. For polyamide, the TCLE is  $55 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  [5], the gold coating and the copper substrate is  $14 \cdot 10^{-6}$  and  $17 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  [6], respectively. Prerequisites for the destruction of the bridge junction during the cyclic heating and cooling process are created. Also, protruding jumpers can be damaged when handling microstrip boards.

Most microwave circuits with bridge junctions use metalized holes or slots that allow electrically connecting the front and screening sides of the microstrip

board. An even layer on substrates with stitched grooves or holes cannot form a dielectric layer of polyimide. It is due to when polyimide is applied in a centrifuge from the grooves (holes), thickening areas – “rays” are formed. These “rays” lead to a different thickness of the dielectric on the jumpers. An example of “rays” from polyimide is presented in Figure 1.5.

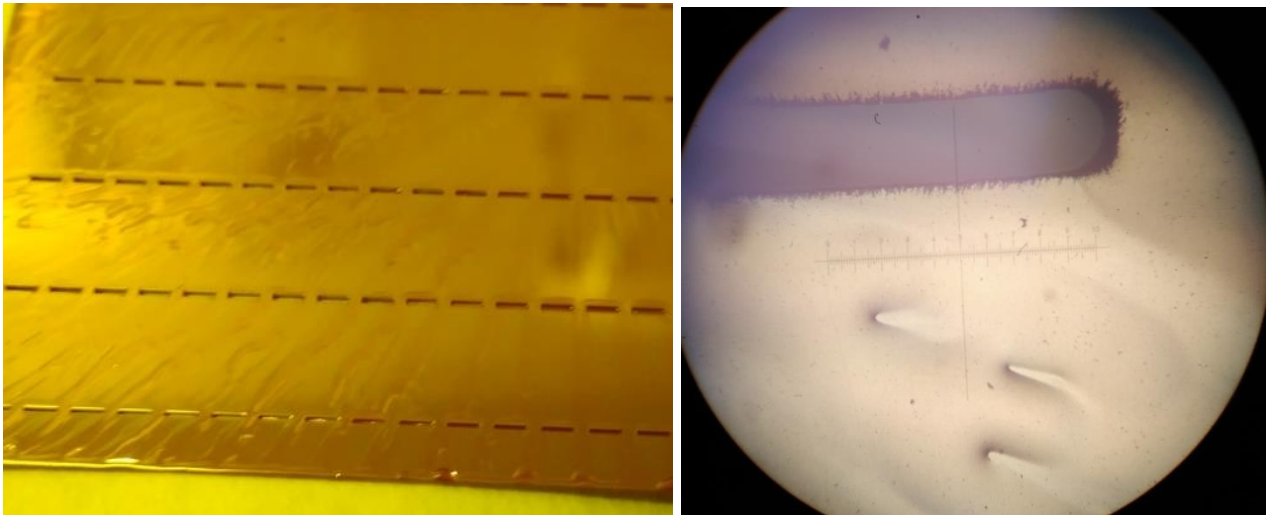


Figure 1.5 – “Rays” obtained by applying polyimide in a centrifuge

The above drawbacks lead to the need to search for new methods of manufacturing microstrip boards with bridge junctions.

### **1.3 Hidden bridge junction**

Analyzing the pros and cons of the overhead bridge junction and the Polyimide Bridge junction, when developing new technology for the manufacture of a bridge connection, the following requirements were formulated:

- 1) rigid fixation on ceramics, both of the scheme itself and of the jumper elements;
- 2) the dielectric must have a thickness that does not lead to its cracking due to different thermal expansion coefficient with metal conductors and jumpers;

3) the breakdown voltage of the dielectric should be at least twice the operating voltage of the microstrip board (30 V);

4) any technological solutions for the formation of a bridge junction should not affect the performance of the circuit.

Rigid fixation of the circuit and elements of the jumper was realized by several steps. At first form a jumper is needed, then manufacture a dielectric layer with “windows” for connections to the circuit conductors, and finally form the topology of the main circuit. As a result, the jumper cannot be mechanically removed, because will be hidden under the topology of the main circuit. Schematically, such an implementation is presented in Figure 1.6.

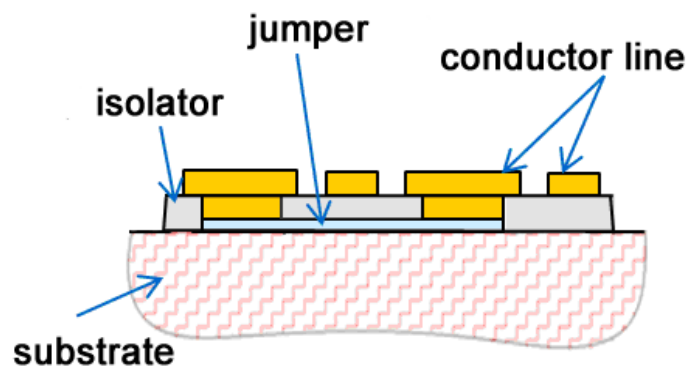


Figure 1.6 – Hidden bridge junction scheme

As mentioned in paragraph 1.2, polyimide is not suitable as a dielectric for plates with grooves and holes. However, the 412PM circuit includes such grooves (Appendix 1). It also has a minimum thickness of 3 microns. This will lead to a significant bending of conductors, the thickness of which most often varies from 1 to 4 microns when implementing the circuit in Figure 1.6.

It was decided to use a dielectric material obtained by magnetron sputtering to avoid problems with the “rays” on substrates with holes and grooves, Silicon dioxide and alumina with dielectric constant values of 4 and 9.0, respectively, were chosen as dielectrics for operation. In this work, we will study the use of a film of silicon dioxide with a thickness of 250 nm and aluminum oxide with a thickness of 500 nm.

The thin film technology is used to form the topology of microstrip boards. Films are obtained using a vacuum ion-plasma installation TEMP-74M. The

following sequence of metal films sprayed onto a carrier substrate was used for obtaining topology microstrip boards with resistors:

1) tantalum - as a resistive and adhesive layer (open tantalum is covered with an oxide film, which reduces its conductivity. This feature is used to prevent the circuit from overgrowing during galvanic deposition of metals);

2) copper - as a conductive layer.

Next, the topology of the conductors on the copper layer is obtained by the PL method, and then a gold coating with a nichrome underlayer is electroplated. The topology of resistors is formed by the PL methods. A mixture of hydrofluoric, nitric acid and water is used for etching tantalum.

During the formation of bridges with a dielectric layer, the following problem was to be solved: etchant of tantalum releases silicon dioxide and alumina. As an option to solve the problem, it was decided to use chromium as a resistive layer. Chromium is covered with a thin layer of oxide, insufficient to significantly reduce the conductivity. High conductivity leads to overgrowing with nickel during galvanic deposition of areas outside the copper topology (Figure 1.7).



Figure 1.7 – The topology overgrown with nickel during galvanic deposition on a resistive chromium layer

Overgrowing of topology makes microstrip board unusable. In this work, we tried to reduce the current density during galvanic deposition of nickel to eliminate overgrowth.

For the jumper fabrication, the following deposition options were investigated (5 experimental substrates without holes for each variant):

- 1) alumina ceramics - tantalum (75 Ohm / sq.) - copper (500 nm) - chromium (200 nm);
- 2) alumina ceramics - tantalum (75 Ohm / sq.) - copper (500 nm) - chromium (200 nm), etched before precipitating nickel for nickel (1 micron) - gold (1 micron);
- 3) alumina ceramics - chromium (500 nm);
- 4) alumina ceramics - aluminum (300 nm).

The topology of the jumpers was formed by means of contact PL after the spraying process. Then, the samples from variants 1–3 were deposited with 1  $\mu\text{m}$  of the copper layer. The topology of the windows for dielectric deposition was formed using PL. The explosive PL on the copper layer was carried out to eliminate the possible clogging of the vacuum chamber by the PR products during dielectric deposition.

We could not use copper as a mask when spraying a dielectric since etchant for copper etches and aluminum for variant 4. Therefore, substrates with aluminum bridges were made with a photoresistive mask for the explosive PL.

Then silicon dioxide was sprayed onto substrates with bridges of each type and explosive PL was produced. Thus, the idea of the suitability of the formation of a bridge connection from each of the studied jumper manufacturing options was formed.

Chromium and copper were sprayed on the selected variant of the bridge joint to form the topology of the 412PM scheme. After the conductor's topology formation, a gold plat with a nickel sublayer was deposited. Then the PL of the resistive layer was produced and conclusions were drawn about the quality of the technology implementation.

## Chapter 2. The main stages of photolithography

### 2.1 Stages of manufacturing microstrip boards

The photolithography method was used when forming the circuit topology. The substrate goes through the technological cycle presented in Figure 2.1 and Figure 2.2.

Figure 2.1 shows the steps from flashing holes in a substrate to forming a conductor topology using PL.

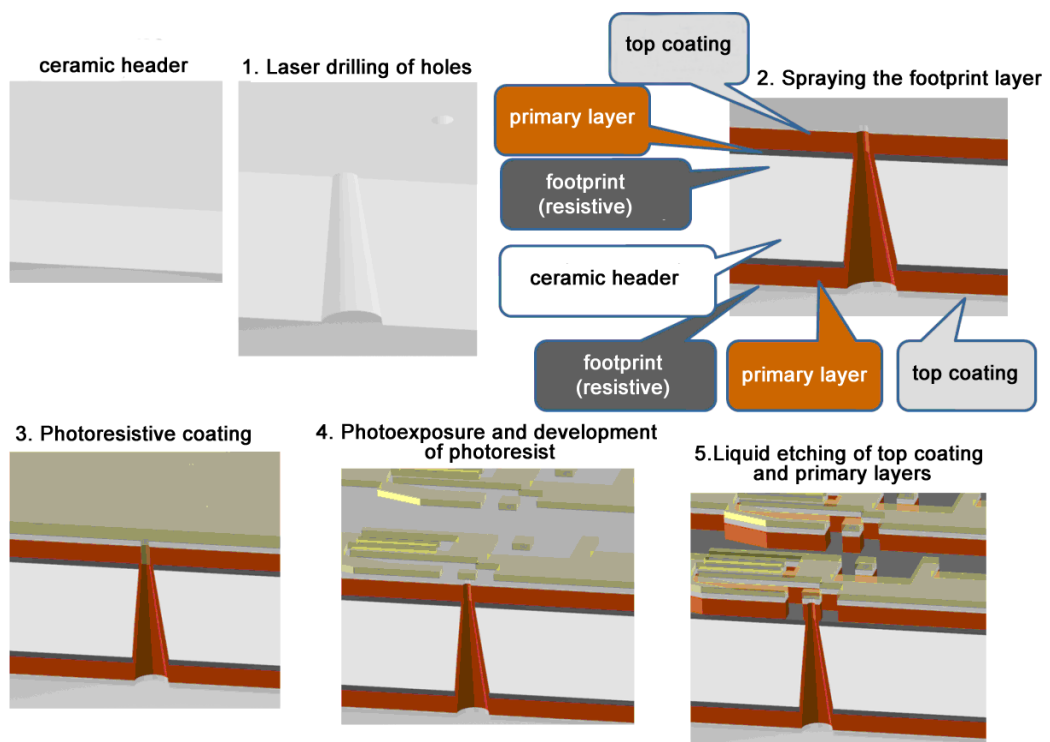


Figure 2.1 – Formation of the conductor topology

After the formation of the conductor topology, a protective layer of gold is deposited, after which the topology of the resistors is formed (Figure 2.2).

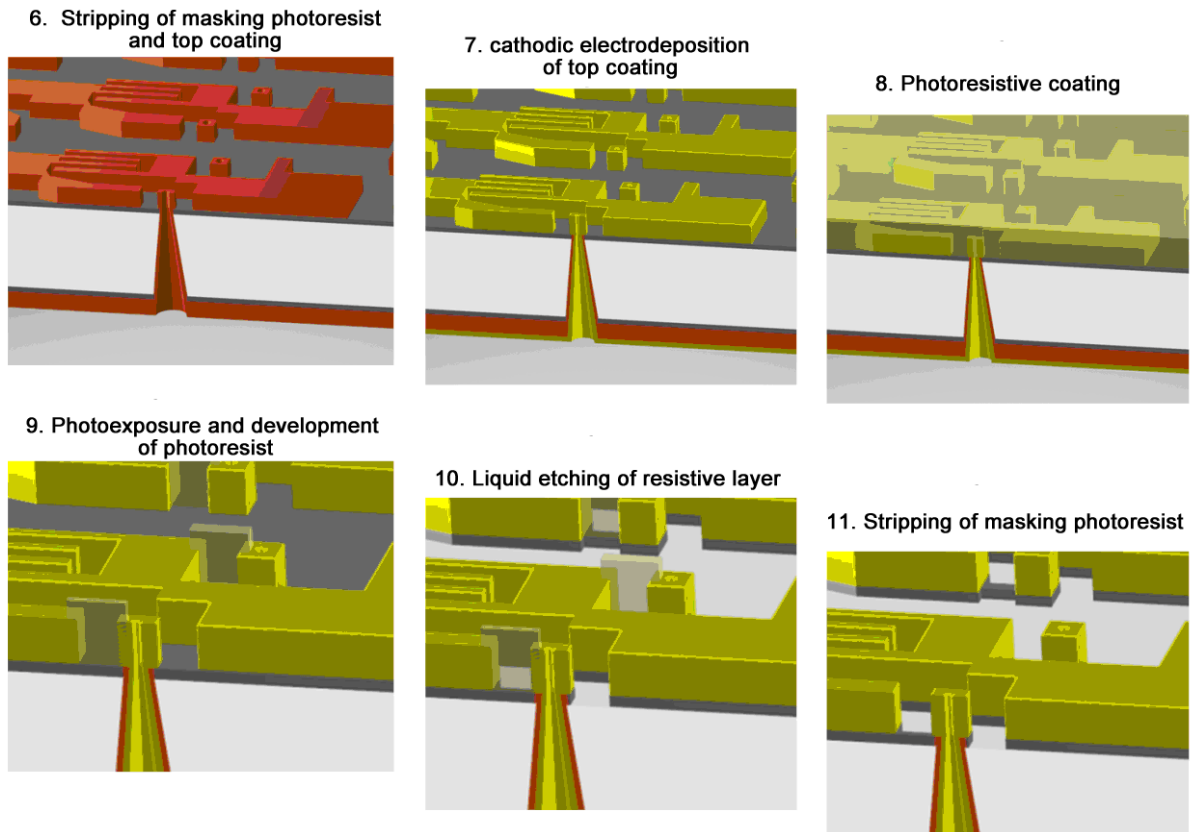


Figure 2.2 – Formation of the resistors topology

When using explosive photolithography, the scheme shown in Figure 2.3 is applied. First, a mask is formed on areas of the substrate where there should not be a dielectric (Figure 2.3a). Then the dielectric layer is deposited (Figure 2.3b) and the mask layer is removed by an explosion method. As a result, the dielectric remains in places where there was no protective mask (Figure 2.3c).

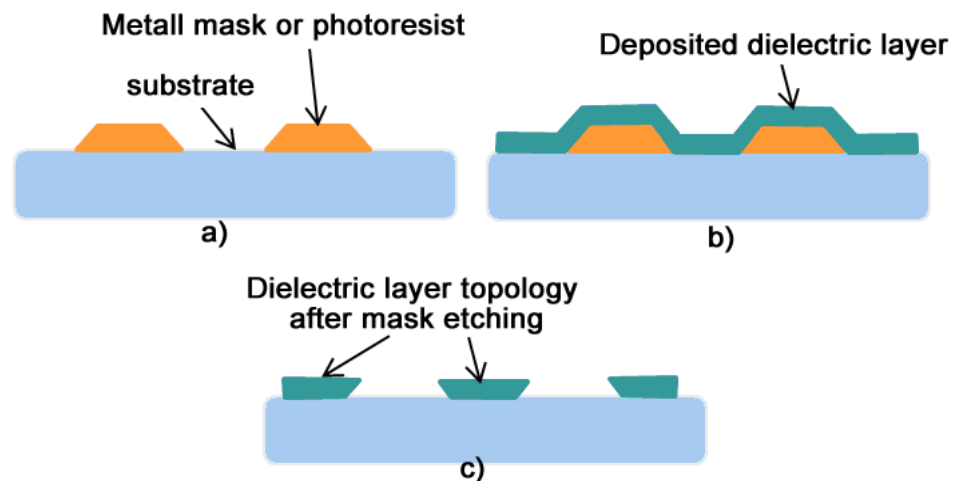


Figure 2.3 – Formation of the dielectric layer topology

The dielectric of the hidden part of the bridge connection was formed by this method.

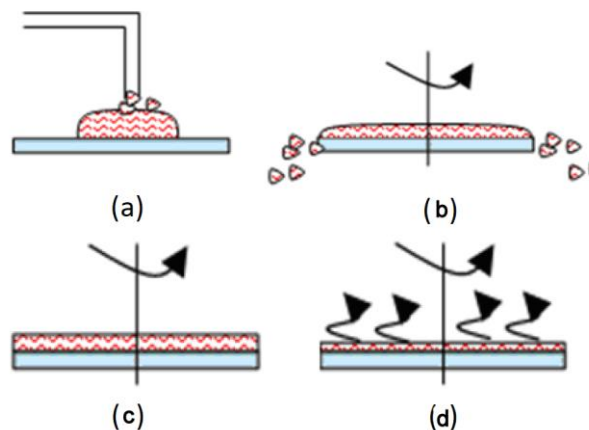
## 2.2 Contact photolithography technique

In the present work, the topology formation of the circuit elements was carried out using contact photolithography. The main stages of this technique include:

- deposition on the substrate of a photoresistive layer by centrifuge method;
- drying of the PR-layer in the drying box;
- photoexposure through the mask, defining the pattern of future circuits;
- image development;
- plasma desmearing
- formation of the topology of the conductors, by etching the masked layer;
- photoresist stripping.

In present work, the photoresist was applied by Centrifuge method.

The applying photoresist technology by the centrifuge method includes 4 stages (Figure 2.4):



(a) dispensing, (b) spreading of photoresist on the plate, (c) formation of PR film of the required thickness, (d) evaporation of the solvent.

Figure 2.4 – Centrifuge Method [7]



We used a positive photoresist FP 25EKO (manufactured by FRAST M company), applied by centrifuging at a speed of 2000 revolutions per minute.

The substrates are dried in a convection oven at a temperature of 90° C for 30 minutes after applying the PR.

Next, the substrate passes the stage of combining and exposure through a photomask (FM), which determines the topology of the photoresistive mask. The substrates are aligned along the holes in the substrate and the marks on the FM using an installation for alignment and exposure. Exposure dose for FP25EKO was 1463 mJ·s<sup>-1</sup>.

The next step is the manifestation in a 0.5% solution of sodium hydroxide for 25 seconds, followed by washing in deionized water and drying.

After the photomask formation, the substrates are subjected to plasma cleaning in the oxygen environment on the YES-1000 installation, in which the residual FR and impurities are removed on the exposed surface of the photomask.

The etching process of the unprotected masked layer is performed and the photoresist is removed.

As a result, of the above operations, the topology of the circuit layers is formed.

## Список публикаций

- 1) Рогожников Д.С., Юрьева А.В., Шабунин А.С., Осаждение металлических покрытий с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТПУ, 2016 г. – с. 43-45.
- 2) Адамов Е.В., Рогожников Д.С., Удалов А.А., Цыганков С.А., Разработка системы обнаружения браконьеров с применением электромагнитных датчиков // Ресурсоэффективным технологиям – энергию и энтузиазм молодых: сборник научных трудов VII Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования. – Томск: ТПУ, 2016 г. – с. 152-155.
- 3) Рогожников Д.С., Юрьева А.В., Шабунин А.С., Осаждение металлических покрытий с помощью магнетронной распылительной системы с жидкофазной мишенью // Доклад на XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Томск: ТПУ, 29.04.2016 г.
- 4) Адамов Е.В., Рогожников Д.С., Удалов А.А., Цыганков С.А., Разработка системы обнаружения браконьеров с применением электромагнитных датчиков // Доклад на VII Всероссийской конференции студентов Элитного технического образования. – Томск: ТПУ, 29.04.2016 г.
- 5) Адамов Е.В., Рогожников Д.С., Удалов А.А., Разработка системы логистики склада производства шампуней и автоматизация точного разлива жидкостей из бочек // Доклад на первом техническом чемпионате России. – г.Санкт-Петербург: компания «Unilever», 12.03.2017 г.

## Список используемой литературы

- 1) Интегральные микросхемы // Языки программирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://life-prog.ru/1\\_30271\\_lektsiya--integralnie-mikroshemi.html](https://life-prog.ru/1_30271_lektsiya--integralnie-mikroshemi.html) (дата обращения: 7.03.2019).
- 2) Дробахин О. О., Плаксин С. В., Рябчий В. Д., Салтыков Д. Ю. Техника и полупроводниковая электроника СВЧ. – Севастополь: Вебер, 2013.– 322 с.
- 3) Хохлун А.Р., Бейль В.И. Некоторые особенности технологии производства современных многокристальных микросборок и «систем в корпусе» типа МКМ-К // Технологии в электронной промышленности. – 2011. – № 4. – С.46-49.
- 4) Радченко А.В. Сверхширокополосный транзисторный усилитель диапазона 6-18 ГГц с выходной мощностью 6 Вт // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии. – Севастополь, Вебер, 2011 г.
- 5) Applied Thin-Film Products // Polyimide Supported Bridges [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.thinfilm.com/bridges.html> (дата обращения: 7.03.2019).
- 6) Коэффициенты температурного расширения металлов // Thermalinfo.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy/koeffitsienty-teplovogo-rasshireniya-ktr-metallov> (дата обращения: 7.03.2019).
- 7) Atthi N., Saejok K., Supadech J., Jeamsaksiri W. Improvement of Photoresist Film Coverage on High Topology Surface with Spray Coating Technique // Journal of the Microscopy Society of Thailand 24. . – 2010. – № 1. – P.42-46.
- 8) ТЕМП-74М установка вакуумного магнетронного напыления: руководство по эксплуатации и инструкция по обслуживанию и ремонту установки. – Томск: ООО «ИСК», 2014. – 48 с.

- 9) Криницына З.В., Видяев И.Г. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: методическое пособие. – Томск: ТПУ, 2014. – 73 с.
- 10) Федеральный закон «Об основах охраны труда» от 17.07.1999 г. № 181-ФЗ.
- 11) ГОСТ 12.0.004-2015 ССБТ. Организация обучения безопасности труда. Общие положения
- 12) СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». – М.: Госкомсанэпиднадзор, 2003.
- 13) СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- 14) ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.
- 15) СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95.
- 16) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий.
- 17) ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
- 18) Пожаро- и взрывобезопасность промышленных объектов. ГОСТ Р12.1.004-85 ССБТ. Пожарная безопасность.
- 19) ПБ10-115-96. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением. - ПИО ОБТ, 1996.
- 20) ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.
- 21) РД 34.03.277-93. Типовая инструкция по охране труда для лаборанта химического анализа.