

Министерство науки и образования  
Российской Федерации  
Ульяновский государственный университет

Инженерно-физический факультет высоких технологий

Кафедра радиофизики и электроники

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

по дисциплине

**КОНСТРУИРОВАНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ  
МИКРОСХЕМ, МИКРОСБОРОК И  
СВЧ-МОДУЛЕЙ**

Методические указания

Составитель: О.Ю. Сабитов

Ульяновск 2019

Министерство науки и образования  
Российской Федерации  
Ульяновский государственный университет

Рекомендовано к введению в образовательный процесс Ученым советом Инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ, протокол №11 от 18 июня 2019 г.

**О.Ю. Сабитов. Лабораторные работы по дисциплине «Конструирование интегральных микросхем, микросборок и СВЧ-модулей»: Методические указания.** – Ульяновск: УлГУ. 2019. – 61 с.

В методических указаниях к лабораторным работам приводятся задания и методика выполнения шести лабораторных работ по курсу «Конструирование интегральных микросхем, микросборок и СВЧ-модулей». Содержание заданий соответствует образовательному стандарту и типовой программе бакалавриата по направлению подготовки 03.03.03 – радиоп физика, профиль «Твердотельная электроника и нанoeлектроника».

Материал подготовлен на кафедре радиоп физики и электроники УлГУ.

© Ульяновский государственный университет, 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
<b>1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА</b> _____	4
<b>2. МЕТОДИКА БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ</b> _____	5
<b>3. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ</b> _____	8
<b>4. ПОРЯДОК ОТЧЕТНОСТИ И ПРИЕМА ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ</b> _____	10
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1</b> _____	11
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2</b> _____	25
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3</b> _____	31
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4</b> _____	35
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5</b> _____	45
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6</b> _____	56
<b>5. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ</b> _____	61

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

1.1. Целью лабораторного практикума по дисциплине «Конструирование интегральных микросхем, микросборок и СВЧ-модулей» является формирование у студентов практических навыков разработки и проектирования гибридных интегральных схем и микросборок.

1.2. Задание к каждой лабораторной работе предусматривает:

1.2.1. Предварительную домашнюю подготовку студента к лабораторной работе, включающую:

1.2.1.1. Проработку рекомендуемой литературы (список литературы приведен в конце методических указаний) и описания настоящих методических указаний по исследуемому объекту.

1.2.1.2. Подготовка ответов на контрольные вопросы.

1.2.1.3. Заготовку отчета (бланк протокола исследований) по выполняемой работе в соответствии с правилами оформления (см. раздел 4) со свободными местами для внесения результатов экспериментов, расчетов и формулирования выводов по работе.

1.2.2. Ознакомление с измерительными приборами, необходимыми для проведения эксперимента, принципом их работы и техническими характеристиками.

1.2.3. Проведение лабораторного эксперимента по измерению параметров и исследованию характеристик исследуемого объекта.

1.2.4. Выполнение необходимых расчетов, включая расчеты погрешности измерения, анализ полученных экспериментальных и расчетных результатов.

1.2.5. Формулирование выводов и оформление отчета по лабораторной работе (см. раздел 3).

## 2. МЕТОДИКА БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

- 2.1. К работе не допускаются студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, не ознакомившиеся с описанием работы и не имеющие предварительно заготовленного бланка протокола исследований.
- 2.2. Работа студентов разрешается только на исправном оборудовании.
- 2.3. Выполнение работы разрешается только бригадой, состоящей не менее чем из двух человек.
- 2.4. Подготовка приборов к работе осуществляется при отключенном питании, кроме случаев, оговоренных в указаниях к работе.
- 2.5. Сборка электрической цепи и изменение схемы измерения производится только при полностью отключенном напряжении и только с разрешения преподавателя, кроме случаев, оговоренных в указаниях к работе. Сборку электрической цепи осуществляет один из членов бригады, второй его контролирует.
- 2.6. Собрав и проверив схему измерения, необходимо установить ручку регулирования амплитуды напряжения источника сигнала в начальное положение, измерительные приборы – на наибольший предел и доложить преподавателю о готовности к работе.
- 2.7. Разрешение на подачу напряжения дает преподаватель после проверки схемы.
- 2.8. Включение производится только тех приборов, которые непосредственно задействованы для проведения эксперимента.
- 2.9. Выполнив тот или иной этап работы, необходимо снять напряжение и, показав результаты измерений преподавателю, получить разрешение на требуемые изменения в схеме. Сделав изменения в схеме, необходимо снова показать ее преподавателю и получить его разрешение на подачу напряжения для дальнейших исследований.
- 2.10. При обнаружении неисправности, появлении признаков перегрузки или перегрева оборудования, срабатывании защиты источника питания или при возникновении неясности в проведении работы немедленно снять напряжение и обратиться к преподавателю.
- 2.11. По окончании работы необходимо выключить все приборы, установить ручки регулирования и переключатели в начальное положение, демонтировать соединительные провода и кабели, доложить

преподавателю о завершении работы. Сдать все демонтированные провода и кабели и предъявить рабочее место инженеру или преподавателю.

### **2.12. Категорически запрещается:**

2.12.1. Приступать к выполнению работ без ознакомления с правилами техники безопасности.

2.12.2. Работать на неисправном оборудовании.

2.12.3. Выполнять работу одному человеку.

2.12.4. Самостоятельно включать главный щит электрического питания.

2.12.5. Включать оборудование без предварительной проверки его преподавателем и без разрешения преподавателя.

2.12.6. Включать незадействованные в эксперименте приборы.

2.12.7. Производить переключения в схемах, находящихся под напряжением, если этого не допускает инструкция к работе.

2.12.8. Касаться оголенных проводников и незаизолированных частей аппаратуры.

2.12.9. Оставлять без наблюдения приборы и установки, находящиеся под напряжением.

2.12.10. Использовать оборудование не по назначению, превышать номинальные параметры его работы.

2.12.11. Включать посторонние электрорадиоприборы и аппаратуру, кроме калькуляторов.

2.12.12. Производить порчу лабораторного оборудования и измерительных приборов, выполнять демонтаж их отдельных частей и блоков, пытаться самостоятельно устранить неисправность.

2.12.13. Загромождать рабочее место в лаборатории портфелями, одеждой, книгами, зонтами.

2.12.14. Облокачиваться на оборудование и приборы, бесцельно ходить по лаборатории, отвлекать товарищей, громко разговаривать, допускать в лабораторию посторонних.

2.13.15. Вмешиваться в работу других бригад.

2.14.16. Открывать без разрешения преподавателя форточки и окна.

### **2.13. При несчастном случае необходимо:**

2.13.1. Обесточить поражающее оборудование, высвободить пострадавшего от действия тока, но так, чтобы самому не оказаться под напряжением и сообщить о случившемся преподавателю.

2.13.2. Оказать первую помощь пострадавшему под руководством преподавателя, не допуская паники и неорганизованности.

2.13.3. При необходимости вызвать скорую помощь по телефону 03. Искусственное дыхание производить до приема пострадавшего врачом скорой помощи.

2.13.4. Доложить заведующему кафедрой.

### **3. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ**

3.1. Отчет оформляется на листах белой (клетчатой) бумаги формата А4 (210 x 297 мм) или близком к нему. Допускается использовать обе стороны листа.

3.2. Текст следует оформлять с соблюдением размеров полей: слева – 30 мм, справа – 10 мм, сверху – 20 мм, снизу – 30 мм.

3.3. На первом листе вверху необходимо сделать заголовок:

**УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**Инженерно-физический факультет высоких технологий**  
**Кафедра Радиофизики и электроники**  
Дисциплина      **«Конструирование интегральных микросхем,**  
**микросборок и СВЧ-модулей»**  
**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № \_\_**  
(название работы)  
Выполнил(и) студент(ы) группы \_\_\_\_\_  

---

**(№ группы) (Ф.И.О.)**

3.4. Отчет должен содержать:

- цель работы;
- задание с исходными данными;
- описание по пунктам выполненной работы, приведение необходимых схем, рисунков, таблиц, графиков, а также расчетных формул с численными значениями;
- выводы по каждому пункту экспериментальной части задания.

3.5. Текст отчета, рисунки, таблицы выполняются чернилами, фломастером или пастой одного цвета (черной, синей, фиолетовой) и оформляются в соответствии с требованиями к отчетам по научно-исследовательским работам (ГОСТ 7.32-81). Рисунки должны обязательно иметь номер и подрисуночные подписи, таблицы – сверху наименование и номер.

3.6. Принципиальные схемы и схемы замещения должны соответствовать ГОСТ 2.721-74 и представляются в виде рисунков.



3.7. Графики представляются в виде рисунков и имеют поясняющие обозначения или надписи, указывающие на принадлежность к экспериментальным или расчетным характеристикам.

3.8. Рисунки, оформленные на кальке или клетчатой (миллиметровой) бумаге, в отчете размещаются по ходу описания работы и должны быть приклеены.

3.9. Все листы отчета должны быть пронумерованы и скреплены.

#### **4. ПОРЯДОК ОТЧЕТНОСТИ И ПРИЕМА ЗАЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

4.1. Зачет по каждой лабораторной работе производится преподавателем при наличии правильно оформленного отчета в результате индивидуального собеседования со студентами по выявлению у них знаний и практических навыков по исследуемому объекту.

4.2. Допускается оформление одного отчета на бригаду студентов.

4.3. Прием зачета по лабораторной работе проводится во время текущего занятия или в любой период времени последующих занятий. Студенты, имеющие к началу очередного занятия более двух задолженностей, к занятию не допускаются.

4.4. По окончании лабораторного практикума организуется зачетное занятие, на котором преподавателем подводятся итоги выполнения работ и после сдачи всех задолженностей проводится устный опрос студентов по тематике лабораторного практикума.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ГИБРИДНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

1. Цель работы: Изучение конструкций пленочных и гибридных интегральных микросхем (ИМС)

2. Основные теоретические сведения.

2.1. Конструктивно-технологические особенности пленочных и гибридных ИМС.

Пленочные микросхемы состоят из диэлектрической подложки (либо металлической или полупроводниковой подложки, покрытой диэлектрическим слоем), на поверхности которой в виде пленок выполнены пассивные элементы, межэлементные соединения и контактные площадки. Пленочные микросхемы могут быть тонкопленочными (толщина пленок менее 1-10 мкм) и толстопленочными (толщина пленок более 10 мкм).

Пленочные ИМС в настоящее время являются чисто пассивными ИМС, так как с помощью пленочной технологии удается изготавливать только пассивные элементы ИМС (резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности), соединительные проводники и контактные площадки, а также элементы СВЧ-схем (полосковые волноводы, аттенуаторы, разветвители). Активные пленочные элементы не обладают пока достаточной воспроизводимостью параметров и стабильностью их во времени и не используются в серийно выпускаемых ИМС. Поэтому обычно к пленочным ИМС относятся прецизионные резистивные делители напряжения, наборы резисторов и конденсаторов, резистивно-емкостные цепи.

Гибридные микросхемы представляет собой пленочные микросхемы, содержащие кроме элементов компоненты и (или) кристаллы. Частным случаем гибридной ИМС является многокристальная микросхема.

В гибридных ИМС пленочная пассивная часть дополнена навесными дискретными компонентами: бескорпусными транзисторами и диодами, а также бескорпусными полупроводниковыми ИМС (в БГИС), миниатюрными резисторами, конденсаторами, катушками индуктивности больших номиналов, трансформаторами и т.д.

Гибридные ИМС имеют в ряде случаев особые схемотехнические преимущества перед полупроводниковыми за счет применения широкой номенклатуры навесных компонентов.

Комплект оборудования для производства гибридных ИМС дешевле, чем для изготовления полупроводниковых ИМС, а технологический процесс и процесс подготовки производства существенно проще.

Преимуществом гибридной технологии является и более высокий процент выхода годных ИМС (60-80% по сравнению с 5-30% для полупроводниковых ИМС). Брак, возникший при изготовлении гибридной ИМС, часто можно исправить. Методы расчета обычных электронных схем из-за дискретного вида пленочных элементов и навесных компонентов. Из-за малых паразитных емкостей и хорошей изоляции элементов и компонентов друг от друга гибридная ИМС имеет лучшие электрические свойства (меньшие наводки и паразитные связи), чем схема, собранная из обычных дискретных радиодеталей.

Гибридные ИМС наиболее часто применяются при создании аналоговой аппаратуры. Особенно удобно их использовать для реализации нестандартных функций, когда требуются конденсаторы большой емкости, высокоомные, высокостабильные или прецизионные резисторы. Пассивные элементы пленочных и гибридных микросхем выполняются на поверхности подложки в виде пленок различных материалов (резистивных, проводящих, диэлектрических).

При изготовлении гибридных ИМС используются как тонкие, так и толстые пленки. Толстопленочные ИМС имеют следующие преимущества перед тонкопленочными. Они дешевле в разработке и изготовлении при мелкосерийном производстве; при организации производства требуют меньших капитальных затрат (проще оборудование, менее жесткие требования к производственным помещениям); обладают большей механической прочностью; имеют более высокую влажнокоррозионную и теплоустойчивость; большую перегрузочную способность элементов, а также меньшие паразитные емкости межсоединений и взаимовлияние элементов.

В то же время в тонкопленочных ИМС можно без подгонки получать более узкие допуски на номиналы элементов, достигается более высокая плотность размещения элементов на подложке, которые обладает меньшими высокочастотными потерями и имеют более высокую радиационную стойкость

(за счет использования меньшей номенклатуры химических элементов с большей атомной массой). Тонкопленочные гибридные ИМС предпочтительнее в сложных аналоговых системах с жесткими допусками, где требуется высокая стабильность резисторов.

## 2.2. Подложки пленочных и гибридных ИМС.

Конструкторской основой гибридной ИМС является подложка. К материалам подложек предъявляются следующие требования:

- высокие диэлектрические и механические свойства;
- химическая инертность к осаждаемым веществам;
- термическая стойкость до нескольких сот градусов;
- согласование по температурному коэффициенту расширения с другими материалами, а также высокая чистота поверхности (12-14 класс по ГОСТ 278а-73).

Для изготовления подложек применяются боросиликатное и алюмосиликатные стекла, керамика и ситаллы. Недостатками стеклянных подложек являются их невысокая химическая стойкость и, главное, низкая теплопроводность, что не позволяет применять их при повышенном нагреве.

К достоинствам керамики относится высокая теплопроводность (у бериллиевой керамики в 200-250 раз больше, чем у стекла и всего в 5 раз хуже чем у меди). Однако керамические подложки имеют значительную шероховатость поверхности (несколько тысяч ангстрем), которая уменьшается после полировки.

Ситаллы имеют аморфно-кристаллическое строение и занимают промежуточное положение по параметрам между стеклами и керамикой.

Габаритные размеры подложек стандартизированы и получаются безотходным делением размера стандартной подложки (60x48 мм) на 2, 3, 4, 6, 8, 12 и более частей. Используется ряд толщин подложек: 0.6; 1.0 и 1.6 мм.

## 2.3. Пленочные резисторы.

Пленочные резисторы представляют собой узкую полоску резистивной пленки толщиной (0.01-0.2 мкм), снабженную пленочными контактными площадками и могут быть различной конфигурации (рис.1).

Резистивные пленки характеризуются величиной удельного поверхностного сопротивления - удельного сопротивления квадрата поверхности  $\rho_s$ , зависящего от удельного объемного сопротивления материала пленки  $\rho_v$  и ее толщины  $d$ , но не зависящего от размеров квадрата на

плоскости. При этом сопротивление резистора  $R$  определяется коэффициентом формы или числом квадратов  $n$ , укладываемых на длине резистора  $l$ .

Для резистора прямоугольной формы:

$$R = \rho_v \frac{l}{d \cdot b} = \rho_s \frac{l}{b} = \rho_s \cdot n, \quad (1)$$

где  $b$  - ширина резистора.

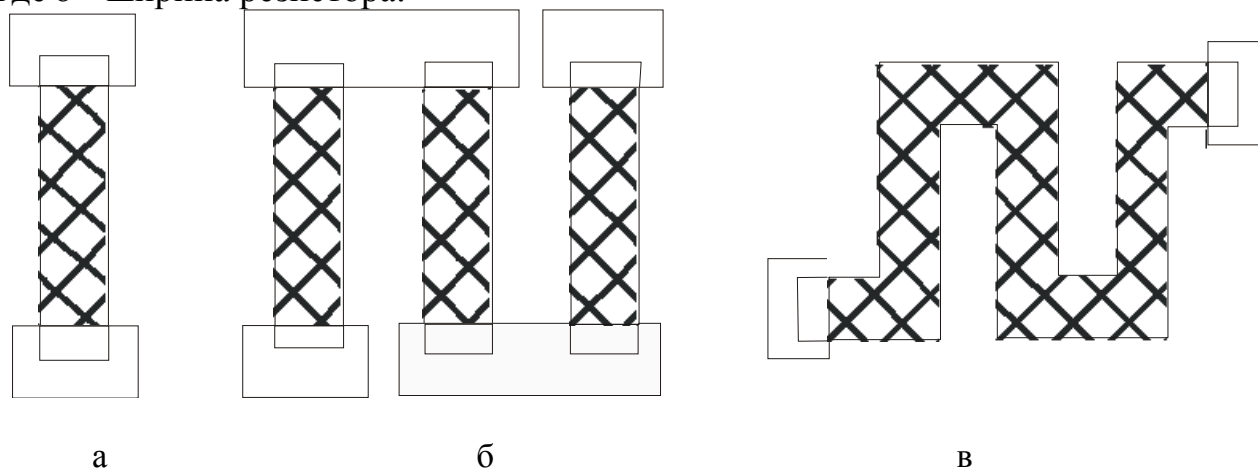


Рис.1. Конфигурации пленочных резисторов:  
 а - прямоугольная , б - прямоугольная с перемычками,  
 в - типа "меандр".

В качестве резистивных материалов используют пленки тугоплавких металлов и сплавов: хрома, нихрома, тантала, рения, молибдена, сплав МЛТ, а также металлокерамику, проводящие краски и пасты. Эти материалы позволяют получить  $\rho_s$  от 10 Ом до 40 кОм.

Минимальная ширина резистора ограничена способом формирования конфигурации пленки, требуемой точностью изготовления резистора, его мощностью рассеяния и составляет (50-200)мкм.

Резисторы без подгонки могут быть получены с допуском от  $\pm 5\%$  до  $\pm 30\%$ . Если требуется более высокая точность, то ее получают подгонкой, которая может быть осуществлена несколькими способами (рис.2). В качестве материала для тонкопленочных проводников и контактных площадок используют медь, золото, серебро, алюминий, никель с обязательным подслоем из нихрома ввиду плохой адгезии высокопроводящих металлов к диэлектрической подложке. В толстопленочных ГИМС для этой цели используются проводниковые материалы на основе золота-платины и серебра.

#### 2.4. Пленочные конденсаторы и индуктивности.

Пленочные конденсаторы могут быть нескольких видов (рис.3). Для

получения малой емкости (на ВЧ и СВЧ) используют гребенчатые конденсаторы, большой емкости - многослойные.

Подобно пленочным резисторам слой диэлектрика характеризуется оптимальной толщиной  $d$  для каждого материала и способа его нанесения (0.01-1 мкм), и емкость конденсатора  $C$  поэтому удобно выражать через удельную емкость  $C_0$  (емкость, приходящаяся на единицу площади перекрытия обкладок конденсатора).

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = C_0 S,$$

где  $\varepsilon_0$  - диэлектрическая проницаемость вакуума, 8.85 пФ/м,  $\varepsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика.

Значение  $C_0$  для различных диэлектрических пленок находится в пределах от 50 пФ/мм<sup>2</sup> до 5000 пФ/мм<sup>2</sup>. Используются пленки SiO, SiO<sub>2</sub>, GeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, TiO<sub>2</sub> и др.

Для материала верхних обкладок наиболее применим алюминий ввиду малой миграционной подвижности атомов и невысокой температуры испарения.

Возможно получение пленочных конденсаторов с емкостью до 10<sup>5</sup> пФ и допуском  $\pm(5-10)\%$ . Для получения конденсаторов с меньшим допуском используют подгонку путем секционирования верхней обкладки (рис. 4).

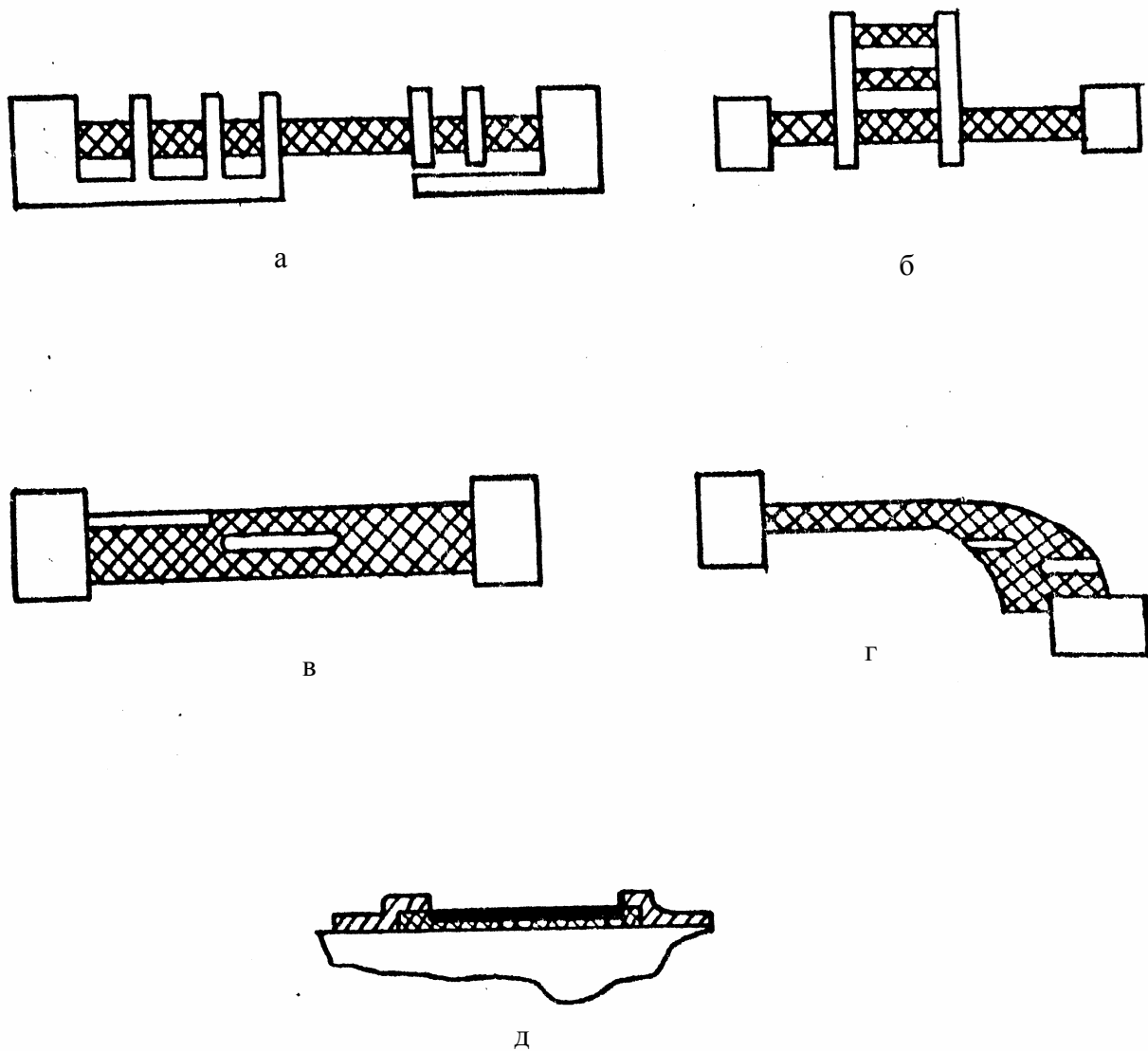


Рис.2. Способы подгонки резисторов: а, б - ступенчатым отключением или подключением закороченных заранее отрезков резистивной пленки; в - плавный или ступенчатый удалением части резистивной пленки с изменением ширины резистора; г - плавным удлинением пути тока; д - плавным уменьшением толщины резистивной пленки (например, за счет ее окисления).



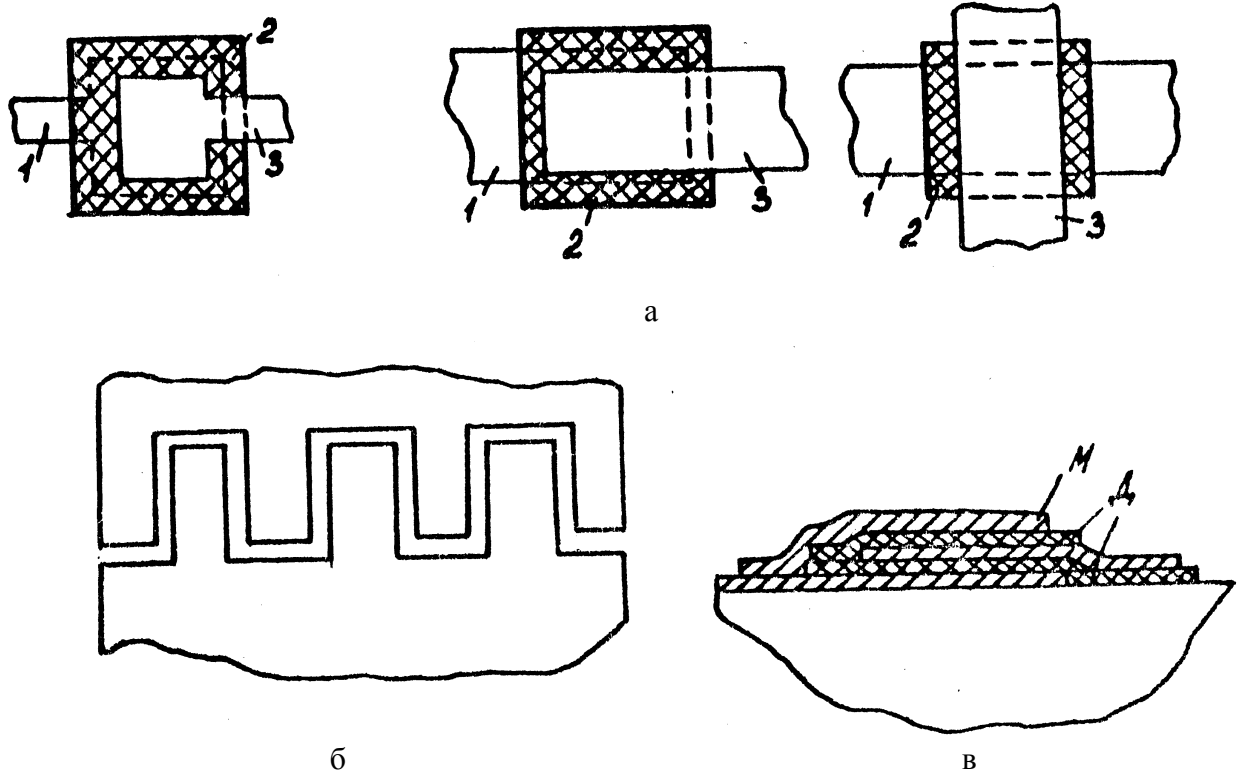


Рис.3. Виды пленочных конденсаторов: а - с одним слоем диэлектрика (1 - нижняя обкладка, 2 - слой диэлектрика, 3 - верхняя обкладка); б - гребенчатый; в - многослойный

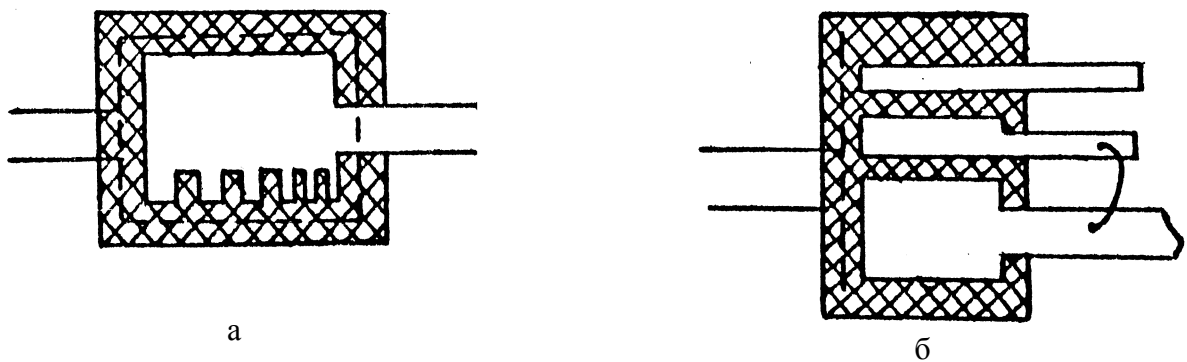


Рис.4. Варианты подгонки пленочных конденсаторов в сторону уменьшения (а) и увеличения (б) емкости.



Рис.5. Тонкопленочные спиральные индуктивности круглой (а) и квадратной (б) формы

При этом возможно уменьшение емкости конденсатора за счет удаления выступов верхней обкладки, например, лучом лазера или увеличение емкости за счет подключения дополнительных секций к верхней обкладке.

Тонкопленочные индуктивности изготавливают обычно в виде круглой или квадратной спиралей из проводника, нанесенного на поверхность диэлектрической (иногда ферритовой) подложки (рис. 5). Предельное значение индуктивности спиральных катушек порядка 10 мкГн при добротности до 80-120.

#### 2.5. Компоненты гибридных ИМС.

После нанесения на подложку гибридной ИМС пленочных пассивных элементов на ней монтируют навесные компоненты: транзисторы, диоды, конденсаторы, катушки индуктивности, трансформаторы, кристаллы полупроводниковых ИМС. Компоненты могут иметь гибкие проволочные выводы или жесткие шариковые, столбиковые или балочные выводы (рис.6). Компоненты с гибкими выводами приклеивают к подложке с помощью эпоксидных клеев или припаивают с помощью припоев на специальные площадки. Гибкие золотые выводы диаметром 30-50 мкм припаивают или приваривают к контактным площадкам. Однако конструкция с гибкими проволочными выводами не позволяет автоматизировать процесс монтажа приборов в микросхемах.

Автоматизировать процесс монтажа позволяют конструкции компонентов с жесткими объемными выводами. Шариковые и столбиковые выводы гальванически наращивают на контактные площадки кристалла. Для установки таких приборов на подложку методом "перевернутого кристалла" требуется

точная оптико-механическая система, что усложняет процесс монтажа и визуального контроля качества соединения после монтажа.

Приборы с балочными выводами отличаются простотой монтажа, возможностью визуального контроля качества соединений, однако они занимают большую площадь на поверхности подложки и снижают плотность упаковки ИМС.

Монтаж компонентов с жесткими выводами выполняется с помощью ультразвуковой, термокомпрессионной сварки или пайки оплавлением.

Кроме этого в гибридных ИМС используются также полупроводниковые приборы, кристаллы которых монтируются в углублении керамического кристаллодержателя, а проволочные выводы прибора присоединены к металлизированным выступам держателя. С помощью металлизированных площадок на выступах держателя прибор припаивается к контактным площадкам подложки.

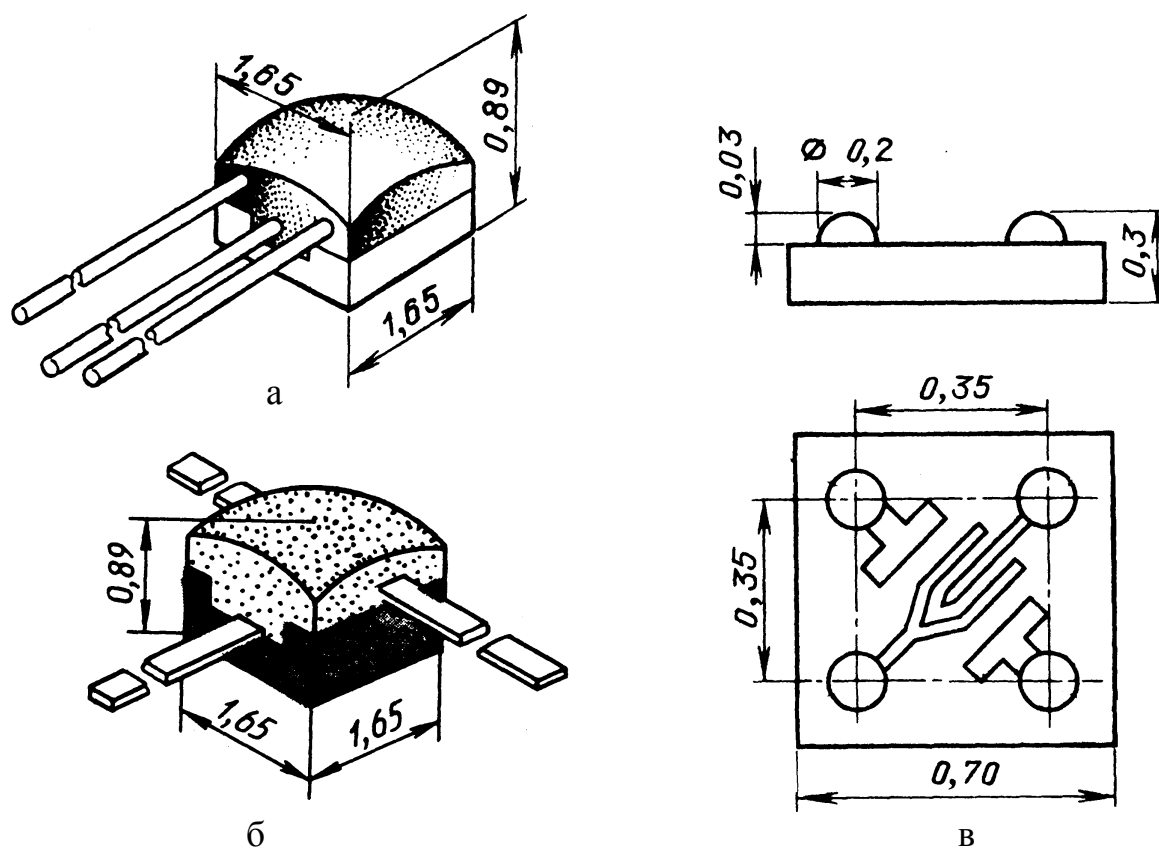


Рис.6. Конструкции бескорпусного биполярного транзистора с гибкими (а), балочными (б) и шариковыми (в) выводами.

В качестве пассивных навесных компонентов применяют миниатюрные

конденсаторы: керамические типов К10-9, К10-9м, К10-17, стеклокерамические типа К22-4, матрицы керамических конденсаторов типа К10-27, оксидно-полупроводниковые электролитические типов К52-6, К53-15, дроссели ДМ, трансформаторы ММТИ-35 и др. Установка пассивных навесных компонентов на подложку осуществляется с помощью клея, а монтаж производится пайкой или сваркой на специальных установках.

### 3. Экспериментальная часть.

#### 3.1. Перечень используемого оборудования.

1. Образцы пленочных и гибридных ИМС.
2. Микроскопы типа МБС, МИИ-4.
3. Вольтметр В7-36.
4. Измеритель LCR типа Е7-12.

#### 3.2. Порядок и методика выполнения работы.

1. Изучить конструктивно-технологические особенности пленочных и гибридных ИМС, конструкции пленочных элементов и навесных компонентов гибридных ИМС.

2. Используя микроскоп типа МБС (ОГМЭ) зарисовать эскиз топологии исследуемой пленочной (гибридной) ИМС.

3. Пользуясь справочными данными на ИМС, идентифицировать отдельные топологические участки с элементами исследуемой ИМС.

4. Используя микроскоп типа МБС (ОГМЭ) с окуляром  $8^x$  со шкалой, оценить размеры заданных пленочных резисторов и конденсаторов, для чего:

- механизмом диоптрийной наводки окуляра добиться резкого изображения шкалы;

- поворотом рукояток механизма фокусировки добиться резкого изображения полупроводниковой ИМС;

- подсчитать число делений шкалы, которое укладывается в измеряемый участок объекта, и это число умножить на число, указанное в переводной таблице, соответствующее тому увеличению головки микроскопа, при котором производится измерение.

Округленные значения увеличений, нанесенные на рукоятках барабана, крат.	Одно деление шкалы 0.1 мм соответствует величине на объекте, мм
0.6	0.17

1	0.1
2	0.05
4	0.025
7	0.014

5. Используя микроинтерферометр МИИ-4 (см. фото), измерить толщину резистивной пленки одного из заданных резисторов ИМС, для чего:

- поместить изучаемую микросхему на предметный столик микроинтерферометра пленочной частью вниз;

- подключить к сети блок питания 37 и выключателем 40 включить осветительную лампу фонаря 29, установив пластину со светофильтрами 32 в среднее положение, соответствующее работе в белом свете;

- установить рукоятку 34 стрелкой вверх (включить шторку);

- при наблюдении в винтовой окулярный микрометр 26 (МОВ-1-16<sup>X</sup> вращением микрометрического винта 28 (перемещение интерференционной головки) осуществить фокусировку микроскопа на исследуемую поверхность;

- вращением двух микрометрических винтов 23 и самого столика 22, вывести в центр поля зрения резкую границу (края) измеряемого резистивного слоя с подложкой или нижележащим слоем;

- поворотом рукоятки 34 перевести стрелку в горизонтальное положение; при этом в поле зрения должны быть видны интерференционные полосы. С помощью микрометрического винта 28 добейтесь наиболее резкого изображения полос и исследуемой поверхности. Для получения большей контрастности полос нужно поворотом кольца 33 несколько уменьшать отверстие апертурной диафрагмы;

- вращением винта 35 вокруг его оси установите необходимый для работы интервал между полосами;

- поворотом винта 35 вокруг оси интерференционной головки установите интерференционные полосы перпендикулярно к границе резистивного слоя на исследуемой поверхности;

- при работе с белым светом толщина слоя  $H$  определяется по формуле:

$$H = 0.27\Delta N, \text{ мкм} \quad (3)$$

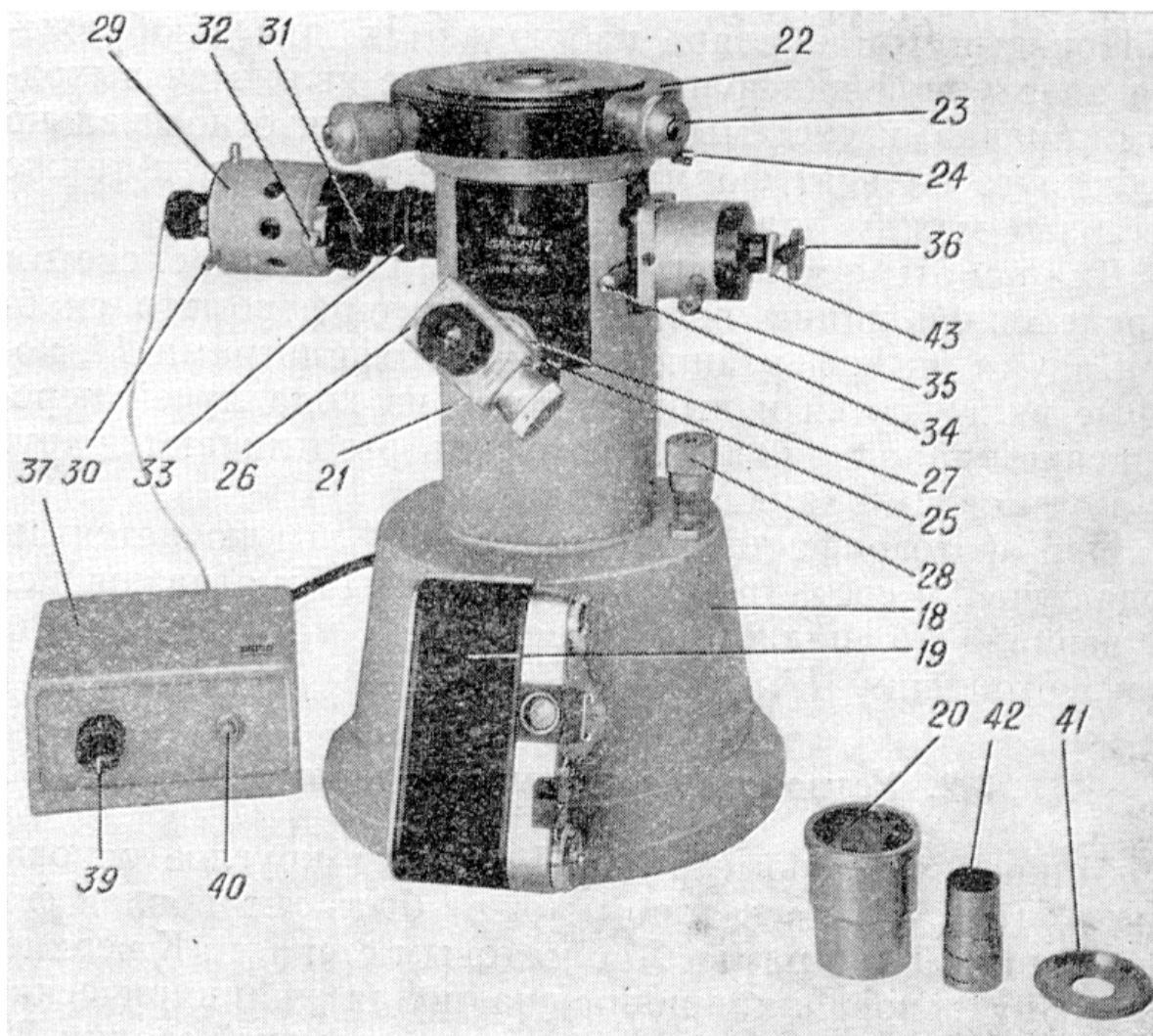
при работе с монохроматическим светом -

$$H = 0.5\lambda \cdot \Delta N \quad (4)$$

где  $\Delta N$  - величина изгиба полосы с долей интервала между полосами;

$\lambda$  - длина волны света, указанная в паспорте МИИ-4.

- для измерения с помощью винтового окулярного микрометра МОВ-1-16<sup>X</sup> 26 необходимо ослабить зажимной винт 25 и повернуть микрометр так, чтобы одна из нитей перекрестия совпала с направлением интерференционных полос, а другая - с направлением границы резистивного слоя на исследуемой поверхности, после чего закрепить микрометр 26 зажимным винтом 25.



Величина интервала между полосами выражается числом делений шкалы барабана окулярного микрометра 26. Для большей точности измерения наводку нити перекрестия сетки микрометра производят по середине, а не по краю полосы и производят первый отсчет  $N_1$  по шкалам окулярного микрометра 26; затем совмещают эту же нить перекрестия с серединой следующей полосы и получают второй отсчет  $N_2$  (рис.7).

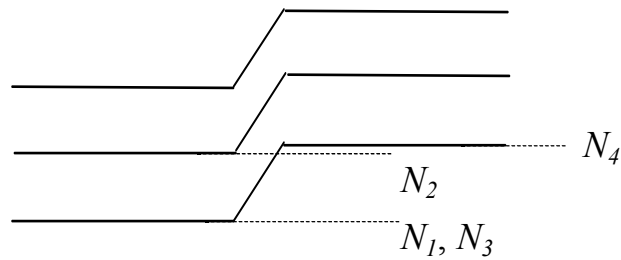


Рис.7.

Величину изгиба полос определяют, совмещая одну из нитей перекрестия сетки микрометра 26 с серединой полосы и по шкалам микрометра снимая отсчет  $N_3$ . Затем нить перекрестия совмещают с серединой той же полосы в месте изгиба и получают второй отсчет-  $N_4$  (рис. 7).

Величина изгиба полосы в долях интервала между полосами выражается формулой:

$$\Delta N = \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} \cdot \quad (5)$$

Толщина измеряемой пленки определяется по формуле:

$$H = 0.27 \frac{N_3 - N_4}{N_1 - N_2} \cdot \quad (6)$$

6. С помощью вольтметра В7-36 и измерителя Е7-12 произвести измерение сопротивления и емкости заданных резисторов и конденсаторов ИМС.

7. Используя формулы (1), (2) и полученные в п.4, 5 значения размеров двух резисторов и двух конденсаторов рассчитать значения  $\rho_s$ ,  $\rho_v$  и  $C_0$  материалов пленочных элементов.

8. Результаты всех измерений и расчетов свести в таблицу.

9. Сформулировать выводы по работе.

#### 4. Содержание отчета.

1. Наименование и цель работы.
2. Необходимые теоретические сведения.
3. Эскиз топологии с идентифицированными топологическими участками и принципиальная электрическая схема исследуемой ИМС.

4. Результаты измерения размеров и значений сопротивлений и емкостей заданных пленочных элементов.

5. Определение значений  $\rho_s$ ,  $\rho_v$  и  $C_0$  заданных пленочных элементов.

6. Выводы по работе.

5. Контрольные вопросы.

1. Основные конструктивно-технологические особенности, достоинства и недостатки пленочных и гибридных ИМС.
2. Подложки пленочных и гибридных ИМС.
3. Конструкции пленочных резисторов.
4. Конструкции пленочных конденсаторов и индуктивностей.
5. Конструкции навесных компонентов.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 КОНСТРУКЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОНКО- И ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ ГИС

1. **Цель работы:** Изучение конструкций, проектирование и получение толсто пленочного резистора ГИС

### 2. Основные теоретические сведения.

2.1. Конструктивно-технологические особенности тонко- и толсто пленочных резисторов.

Пленочный резистор конструктивно состоит из резистивной пленки, имеющей определенную конфигурацию, и контактных площадок.. Во всех конфигурациях отсутствуют наклонные и кривые линии различных радиусов, по- этому изготовление фотошаблонов (или масок) резистивных слоев гибридных микросхем существенно упрощается.

При изготовлении резисторов с высокой мощностью рассеяния используют расщепление конструкции. Метод расщепления на ряд параллельных полосок позволяет уменьшить перегрев резистора и более равномерно распределить тепловую энергию по плоскости подложки при изменении только одного размера резистора — его ширины.

К пленочным резисторам предъявляются следующие основные требования: стабильность во времени; малая занимаемая площадь на подложке; низкий температурный коэффициент сопротивления; требуемая мощность рассеяния; низкий уровень шумов; малые значения паразитных параметров.

Конструирование пленочного резистора должно начинаться с выбора материала резистивной пленки. В тонко пленочных гибридных микросхемах используемые резистивные материалы можно разделить на три группы: металлы и их сплавы (тантал, хром, титан, нихром и др.); металлосилицидные сплавы (РС-3710, МЛТ-3М, РС-3001 и др.); керметы (керамика-металл).

Для выполнения резисторов толсто пленочных гибридных микросхем используют различные пасты. Резистивные пасты во многом сходны с проводящими. В качестве функционального материала в пастах применяют металлы Ag, Au, Pt, In, Os, Ro, сплавы Pt-Au, Pd-Ag, Pd-Au и комбинации металлов с окислами (Pd-PdO-Ag).

При выборе материала для резисторов рекомендуется стремиться к тому, чтобы все резисторы, расположенные на одной подложке, имели одинаковое

удельное поверхностное сопротивление  $\rho_0$ .

Помимо пленочных резисторов с сосредоточенными параметрами в гибридных микросхемах используют резисторы распределенного сопротивления, которые представляют собой резистивный слой прямоугольной либо иной конфигурации с расположенными по периметру или в зоне слоя омическими контактами. Эквивалентной схемой резисторов распределенного сопротивления является последовательно-параллельная связанная резистивная цепь.

Переход от пленочных резисторов с сосредоточенными параметрами к резисторам распределенного сопротивления имеет следующие преимущества:

- 1) уменьшение в 5—10 раз занимаемой полезной площади подложки;
- 2) снижение вероятности выхода схемы из строя из-за локальных механических дефектов: сквозных отверстий (проколов), царапин;
- 3) предотвращение старения резистивного слоя, поскольку в резисторах распределенного сопротивления наблюдаются более равномерное рассеяние тепловой энергии и относительно большая площадь слоя, что исключает локальный перегрев;

## 2.2. РАСЧЕТ ПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРОВ

Конструктивный расчет тонкопленочных резисторов заключается в определении формы, геометрических размеров и минимальной площади, занимаемой резисторами на подложке. При этом необходимо, чтобы резисторы обеспечивали рассеивание заданной мощности при удовлетворении требуемой точности  $\gamma_R$  в условиях существующих технологических возможностей.

Исходными для расчета являются:

схемотехнические данные (из принципиальной электрической схемы микросхемы) – номинал резистора  $R$ , Ом;

допуск на номинал  $\gamma_R$ , %;

мощность рассеяния  $P$ , мВт;

технологические данные и ограничения, которые зависят от выбора технологического метода создания пленочных элементов: масочного (М), фотолитографического (Ф), комбинированного — масочный совместно с фотолитографическим (МФ), электронно-ионного (ЭИ) и танталовой технологии (ТА);

эксплуатационные данные—диапазон рабочих температур, продолжительность работы и др.

Расчет пленочных резисторов начинают с выбора материала (см. табл. 2.2). Критериями выбора материала являются оптимальное значение  $\rho_0$ , максимальное значение  $R_0$  и минимальное значение ТКС. Далее проводят проверку правильности выбора материала с точки зрения обеспечения точности изготовления резисторов.

Полная относительная погрешность резистора определяется суммой погрешностей его изготовления и конструкции, а также погрешностей, обусловленных влиянием условий эксплуатации:

$$\gamma_R = \frac{\Delta R}{R} = \gamma_{K\phi} + \gamma_{\rho_0} + \gamma_{Rt} + \gamma_{R_{cm}} + \gamma_{Rk}$$

где  $\gamma_{K\phi}$  — погрешность коэффициента формы;  $\gamma_{\rho_0}$  — относительная погрешность воспроизведения  $\rho_0$ ;  $\gamma_{Rt}$  — температурная погрешность;  $\gamma_{R_{ct}}$  — погрешность, обусловленная старением пленки;  $\gamma_{Rk}$  — погрешность переходных сопротивлений контактов.

Конструкцию резисторов определяют по значению коэффициента формы. Номинал резистора является функцией  $\rho_0$  и геометрических размеров:

$$R = \frac{\rho_0 l}{b} = \rho_0 K_\phi$$

Если известен номинал резистора и выбран материал резистивной пленки, то коэффициент формы

$$K_\phi = \frac{R}{\rho_0}$$

При  $1 \leq K_\phi \leq 10$  рекомендуется конструировать резистор прямоугольной формы, при  $K_\phi > 10$  — резистор сложной формы (составной, меандр или типа змейки), при  $0.1 \leq K_\phi \leq 1$  прямоугольной формы, у которого длина меньше ширины. Конструировать резисторы с  $K_\phi \leq 0.1$  не рекомендуется, так как он будет иметь большие контактные площадки и занимать значительную площадь на подложке. Порядок дальнейшего расчета зависит от формы резистора.

### 2.3. Технология изготовления толстопленочных резисторов ГИС

Толстопленочные резисторы ГИС получают нанесением на подложку полужидких паст — стеклоэмалей. Эти пасты затем высушиваются при температуре  $400^\circ\text{C}$ , а затем вжигаются в подложку при температуре

500<sup>0</sup>...700<sup>0</sup> С.

Распространенным материалом для толсто пленочных резисторов является смесь порошков чистых металлов Ag и Pd и их окислов AgO-PdO. Исходная паста содержит также стекло марки 660а и органическое связующее. В процессе отжига происходит частичное окисление Pd до PdO, а также образование твердого раствора Ag-Pd. Сформированные на подложке в результате отжига паст толсто пленочные резистивные элементы имеют сложную структуру. Она состоит из стеклообразной фазы, содержащей хорошо проводящие зерна оксидов AgO, PdO и сплава AgPd. Электропроводящие зерна имеют аморфную структуру с размером частиц 0,01...1 мкм.

Для нанесения пасты на подложку требуемой конфигурации используется, как правило, установка трафаретной печати (рис.2.1.)



Рис.2.1. Установка трафаретной печати

Принцип действия установки основан на продавливании пасты через трафарет на подложку. Конфигурация пленки определяется конфигурацией шаблона, выполненного с помощью фотолитографического метода на капроновой сетке, натянутой на специальную рамку с направляющими штырями для ее установки и совмещения с подложкой ГИС. Поэтому данный метод иногда также называют сеткографией. Продавливание пасты через сетку осуществляется механически с помощью ракеля (рис.2.2).

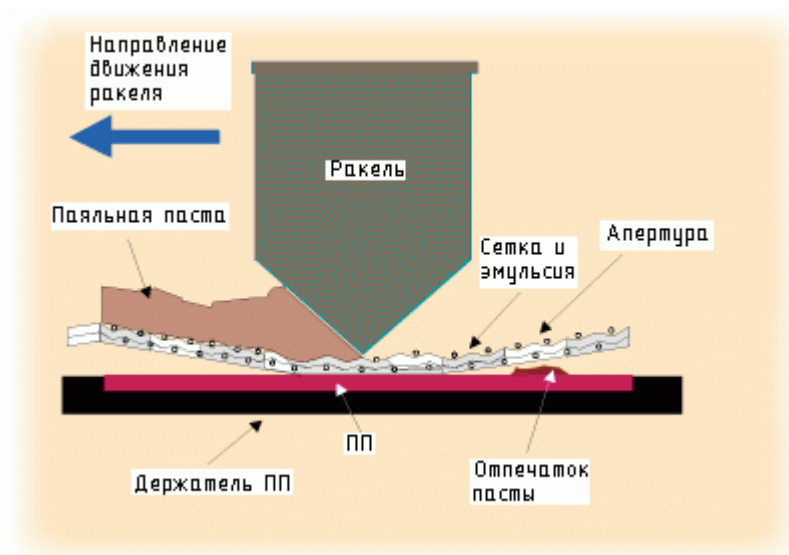


Рис.2.2. Продавливание пасты через сетку с помощью ракеля

### 3. Экспериментальная часть.

#### 3.1. Перечень используемого оборудования.

1. Установка трафаретной печати.
2. Керамические подложки ГИС.
3. Набор трафаретов.
4. Печь типа СНОЛ.
5. Вольтметр универсальный В7-40

1. Изучить конструктивно-технологические особенности пленочных резисторов ГИС.

2. Используя установку трафаретной печати нанести толстопленочный резистор.

3. Высушить пленку на воздухе в течение 30 мин.

4. Поместив подложку в печь, произвести операцию вжигания резистивной пасты при температуре 600°C в течение 1 часа.

5. Визуально оценить качество полученного толстопленочного резистора, степень адгезии пленки.

6. Используя вольтметр универсальный В7-40, оценить сопротивление толстопленочного резистора. Сравнить с проектным значением.

7. Сформулировать выводы по работе.

#### 4. Содержание отчета.

1. Наименование и цель работы.
2. Необходимые теоретические сведения.
3. Эскиз топологии пленочного резистора.
4. Результаты измерения сопротивления пленочного резистора.
5. Выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы.

1. Почему рекомендуется для всех номиналов резисторов, располагаемых на подложке, применять пленки с одинаковым удельным поверхностным сопротивлением?
2. Чем определяется сопротивление пленочного резистора?
3. В чем заключается лазерная подгонка толстопленочных элементов?
4. С каким допуском проектируется толстопленочный резистор для последующей подгонки?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### КОНСТРУКЦИИ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОНКО- И ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ ГИС

1. **Цель работы:** Изучение конструкций, проектирование и получение толстопленочного конденсатора ГИС

2. Основные теоретические сведения.

2.1. Конструктивно-технологические особенности тонко- и толстопленочных конденсаторов.

Конденсаторы относятся к числу наиболее распространенных элементов гибридных микросхем. По конструкции пленочный конденсатор в большинстве случаев представляет собой трехслойную структуру. Он состоит из нижней обкладки, диэлектрической пленки, и верхней обкладки. Вся конструкция наносится на подложку: Площадь нижней обкладки конденсатора, равная произведению  $b_1L_1$ , превышает площадь верхней обкладки, равной произведению  $b_2L_2$ , а площадь диэлектрической пленки больше площади нижней обкладки. Это исключает возможность замыкания обкладок и устраняет погрешность от их смещения.

К материалу обкладок пленочного конденсатора предъявляются следующие требования: высокая электропроводность, обеспечивающая малые потери энергии, хорошая адгезия, малая миграционная подвижность атомов. Последнее из этих требований не позволяет использовать в качестве материалов обкладок золото или медь, так как для них характерна высокая подвижность атомов. Вследствие их диффузии в диэлектрике могут возникать короткие замыкания. Для выполнения обкладок не пригодны также металлы с высокой температурой испарения, например никель или хром. Это связано с тем, что атомы таких металлов, обладая высокой энергией при температуре испарения, пронизывают диэлектрический слой и вызывают короткое замыкание обкладок.

Наиболее подходящим материалом для обкладок тонкопленочного конденсатора является алюминий. Алюминий имеет сравнительно невысокую температуру испарения, и, следовательно, его атомы имеют низкую энергию в процессе напыления. В ряду электропроводности алюминий занимает третье место после золота и серебра, т. е. электрическое сопротивление обкладок из

алюминия оказывается достаточно малым, что обеспечивает высокую добротность изготовленных конденсаторов. Конденсаторы с алюминиевыми обкладками надежны, поскольку атомы алюминия имеют малую миграционную подвижность. Это объясняется образованием на поверхности алюминия оксидного слоя  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , который препятствует диффузии атомов алюминия в диэлектрик. Для улучшения адгезии алюминия к подложке используют подслои титана или хрома.

Диэлектрик, применяемый в тонкопленочных конденсаторах, должен обладать малыми диэлектрическими потерями, высокой электрической прочностью, хорошей адгезией к подложке и к обкладкам, малым температурным коэффициентом емкости, стабильностью физических параметров в диапазоне рабочих температур, достаточно высокой диэлектрической проницаемостью. Кроме того, температурный коэффициент линейного расширения диэлектрика (ТКЛР) должен быть согласован с соответствующими коэффициентами подложки и материала обкладки.

### 2.3. РАСЧЕТ ПЛЕНОЧНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

Исходными для определения геометрических размеров конденсаторов являются: схемотехнические данные (из принципиальной электрической схемы)— номинал конденсатора  $C$ , пФ; допуск на номинал  $\gamma_C$ , %;

рабочее напряжение  $U_p$ , В;

тангенс угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  или добротность  $Q$  ( $Q = 1/\text{tg}\delta$ );

технологические данные и ограничения;

эксплуатационные данные — диапазон рабочих температур, рабочая частота  $f_p$  и др.

Расчет пленочных конденсаторов начинают с выбора материала обкладок и материала диэлектрика. Чтобы конденсатор занимал как можно меньшую площадь, нужно выбрать материал диэлектрика с максимальной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ , с высокой электрической прочностью  $E$ , а также с малыми значениями ТКЕ и  $\text{tg}\delta$ . Для обеспечения высокой добротности конденсатора необходимо, чтобы материал обкладок имел малое удельное поверхностное сопротивление.

Емкость конденсаторов, состоящих из двух обкладок, разделенных диэлектриком



$$C = C_0 S$$

где  $C_0$  — удельная емкость;  $S = S_B$  — площадь взаимного перекрытия обкладок (площадь верхней обкладки конденсатора).

Удельная емкость, исходя из условий электрической прочности, определяется из соотношения

$$C_{0U} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{d},$$

где  $\varepsilon_0 = 0,0885$  пФ/см<sup>2</sup> — относительная диэлектрическая проницаемость;  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика;  $d$  — толщина диэлектрика.

Минимальную толщину диэлектрика выбирают таким образом, чтобы конденсатор надежно выдерживал заданное рабочее напряжение:

$$d \geq U_p K_3 / E,$$

где  $K_3$  — коэффициент запаса по напряжению ( $K_3 = 2 — 3$ ).

### 2.3. Технология изготовления толсто пленочных конденсаторов ГИС

Толсто пленочные конденсаторы ГИС получают последовательным нанесением на подложку паст — проводящей (нижняя обкладка), диэлектрическая (диэлектрик), проводящая (верхняя обкладка). Эти пасты затем высушиваются при температуре 400<sup>0</sup>С, а затем вжигаются в подложку при температуре 500<sup>0</sup>...700<sup>0</sup>С.

В качестве проводящих паст в толсто пленочных ГИС используются Ag-Pd пасты марок ПП-1, ПП-3 ( $r_{кв}=0,05$  Ом) с высоким содержанием дисперсного серебра, пасты на основе меди (ПМП,  $r_{кв}=0,01$  Ом), пасты на основе алюминия (АП-2,  $r_{кв}=0,03$  Ом). Особенностью проводниковых паст является повышенная температура вжигания, достигающая 780...900 °С.

Для диэлектрических паст используется обычно пасты на основе сегнетоэлектриков, например титанат бария BaTiO<sub>3</sub> с высокой диэлектрической проницаемостью.

Варьируя материал и процентное содержание примесей можно изменять электрические параметры толстых плёнок в очень широких пределах.

Для нанесения пасты на подложку требуемой конфигурации используется, как правило, установка трафаретной печати (рис.2.1.)

### 3. Экспериментальная часть.

#### 3.1. Перечень используемого оборудования.

1. Установка трафаретной печати.
2. Керамические подложки ГИС.
3. Набор трафаретов.
4. Печь типа СНОЛ.
5. Измеритель иммитанста E7-14

1. Изучить конструктивно-технологические особенности пленочных конденсаторов ГИС.

2. Используя установку трафаретной печати последовательно нанести слои толстопленочного конденсатора.

3. Каждый слой сушить на воздухе в течение 30 мин.

4. Поместив подложку в печь, произвести операцию вжигания каждого слоя пасты в течение 1 часа. Проводящие слои вжигать при температуре 700°C, диэлектрический – 900 °C.

5. Визуально оценить качество полученного толстопленочного конденсатора, степень адгезии пленки.

6. Используя Измеритель иммитанста E7-14, оценить емкость и добротность толстопленочного конденсатора. Сравнить с проектным значением.

7. Сформулировать выводы по работе.

#### 4. Содержание отчета.

1. Наименование и цель работы.
2. Необходимые теоретические сведения.
3. Эскиз топологии пленочного конденсатора.
4. Результаты измерения емкости и добротности пленочного конденсатора.

5. Выводы по работе.

#### 5. Контрольные вопросы.

1. От чего зависит площадь, занимаемая пленочным конденсатором?
2. С каким допуском проектируется толстопленочный конденсатор для последующей подгонки?
3. Чем определяется добротность конденсатора?
4. Что такое коэффициент запаса конденсатора?

## Лабораторная работа № 4

# ПАЙКА ПРОВОДОВ И ПЛАТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ МОНТАЖЕ СВЧ-МИКРОСБОРОК

**Цель работы:** изучение основных приемов пайки проводов и деталей электромагнитных устройств, материалов (припоев и флюсов), используемых в процессе пайки, а также приобретение практических навыков при пайке проводов и элементов печатных плат.

### 3.1 Основные теоретические сведения

#### 3.1.1 Назначение пайки

В практике выполнения электромонтажных работ, при ремонте электрооборудования и эксплуатации электроустановок для соединения между собой деталей из однородных и разнородных материалов применяется *пайка*.

*Главные преимущества пайки* заключаются в следующем: соединяемые детали нагреваются до температур, при которых их структура и механическая прочность не изменяются; при соединении деталей и узлов отпадает необходимость дополнительной обработки мест соединения, высокая прочность соединения, не происходит коробления и деформации соединяемых деталей.

*Сущность пайки* заключается в соединении между собой твердых металлических деталей и проводников с помощью расплавленного припоя. Температура плавления припоя должна быть ниже температуры плавления соединяемых деталей. Припой должен легко растекаться по поверхности и растворять металл основы у шва в месте пайки.

Поверхность деталей, подлежащих пайке, очищают от окислов и загрязнений механическим и химическим путем. Для химической очистки поверхностей применяют флюсы.

#### 3.1.2 Припой и флюсы (виды, применение)

Выбор припоя производят в зависимости от соединяемых металлов или сплавов, от способа пайки, температурных ограничений, размера деталей, требуемой механической прочности коррозионной стойкости. В таблицах 1–3 приведены некоторые марки припоев, их состав и основные свойства.

**Таблица 1 – Состав и основные свойства оловянно-свинцовых припоев**

Марка	Химический состав, %	Температура, °C		Область применения
		плав- лени я	пайк и	
ПОС 61	Олово – 61, свинец – остальное	190	240	Лужение, пайка меди и ее сплавов, токопроводящих частей электрических машин и аппаратов
ПОС 61М	Олово – 62, медь – 2, свинец – остальное	192	240	То же
ПОС 40	Олово – 41, свинец – остальное	238	290	Пайка и лужение токопроводящих частей из меди, латуни и бронзы
ПОСС у 95–5	Олово – 95, сурьма – 5	240	290	Пайка коллекторов, якорных секций, бандажей, токопроводящих соединений электрических машин и деталей электрооборудования
ПОСС у 40–05	Олово – 40, сурьма – 0,5, свинец – остальное	235	285	Пайка бандажей, коллекторов и секций электрических машин и приборов
ПОСС у 30–05	Олово – 41, сурьма – 0,5, свинец – остальное	255	305	Пайка меди и ее сплавов, проводов, кабелей, бандажей и деталей аппаратуры
ПОСК 5018	Олово – 51, кадмий – 19, свинец – остальное	145	185	Пайка деталей из меди и ее сплавов

**Таблица 2 – Состав и основные свойства серебряных припоев**

Марка	Химический состав, %	Температура плавления, °С	Область применения
ПСр 72	Серебро – 72, медь – 28	779	Пайка токопроводящих деталей из меди, латуни, бронзы, и др. металлов, кроме алюминия
ПСр 45	Серебро – 45, медь – 30, цинк – 25	725	Пайка меди и ее сплавов, в том числе различных токопроводящих частей электрических машин и аппаратов
ПСр 7-1-ф	Серебро – 45, медь – 28, фосфор – 1	795	Пайка узких и глубоких зазоров, (без флюса), обеспечивающая механическую прочность и электрическую проводимость

**Таблица 3 – Состав и основные свойства припоев для алюминия и его сплавов**

Марка	Химический состав, %	Температура, °С		Область применения
		плав-ления	пайки	
П250А	Олово – 80, цинк – 20	250	300	Лужение и пайка концов алюминиевых проводов
П300А	Цинк – 60, кадмий – 40	310	360	Пайка соединений, сращивание электрических проводов при обмотке трансформаторов

*Флюсами* называют вещества, которые растворяют и удаляют оксиды и загрязнения с поверхности паяемого соединения. Кроме того, во время пайки они защищают от окисления поверхность нагреваемого металла и расплавленный припой. Все это способствует увеличению растекаемости припоя и жидкого флюса.

Флюс выбирают в зависимости от соединяемых пайкой металлов или сплавов и применяемого припоя, а также от характера сборочно-монтажных работ. Различают две группы флюсов: *химически активные (протравы)* и *химически пассивные*. Химически активные флюсы (соляная кислота, бура, хлористый цинк и алюминий) растворяют пленку окиси на поверхности металла, а химически пассивные только защищают спаиваемую поверхность от окисления. Пленку окиси при использовании химически пассивных флюсов

необходимо удалять механическим способом, зачищая спаиваемые поверхности стеклянной шкуркой, напильником, надфилем или ножом.

При использовании химически активных флюсов после пайки все участки, которые подвергались действию флюса, нужно тщательно промыть теплой водой. Если этого не сделать, флюс, взаимодействуя с металлом, будет разрушать его.

В таблице 4 приведены марки некоторых пассивных (бескислотных) флюсов, в таблице 5 — марки активных (кислотных) флюсов.

**Таблица 4 – Состав и основные свойства бескислотных (пассивных) флюсов**

Марка, название флюса	Химический состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
Канифоль светлая	Эфиры смоляных кислот	Пайка меди, латуни, бронзы легкоплавкими припоями	Протирка кистью или тампоном, смоченным в спирте или ацетоне
КЭ	Канифоль – 20-25, спирт этиловый – 80-75	То же	То же
ВТС	Вазелин – 63, триэтаноламин – 6,5, кислота салициловая – 6,3, спирт этиловый – 21,2	Пайка проводниковых изделий из меди, латуни, бронзы, константана, серебра, платины и ее сплавов	То же
ФТКА	Фтороборат кадмия – 10, фтороборат аммония – 8, триэтаноламин – 82	Пайка алюминиевых проводов	То же

**Таблица 5 – Состав и основные свойства кислотных (активных) флюсов**

Химический состав, %	Область применения	Способ удаления остатков
----------------------	--------------------	--------------------------

Хлористый цинк – 25-30, соляная кислота – 0,6-0,7, вода – остальное	Пайка деталей из черных и цветных металлов	Тщательная промывка в воде
Хлористый цинк (насыщенный раствор) – 3,7, вазелин технический – 85, дистиллированная вода – все остальное (флюс-паста)	То же, когда по роду работы удобнее пользоваться пастой	То же
Канифоль – 24, хлористый цинк – 1, спирт этиловый – остальное	Пайка цветных и драгоценных металлов (в том числе золота), деталей из черных металлов	Промывка в ацетоне
Канифоль – 16, хлористый цинк – 4, вазелин технический – 80 (флюс-паста)	То же, для получения соединений повышенной прочности, но только деталей простой конфигурации, не затрудняющих промывку	То же
Хлористый цинк – 1,4, глицерин – 3, спирт этиловый – 40, вода – остальное	Пайка никеля, платины и сплавов, в которые входит платина.	Тщательная промывка в воде

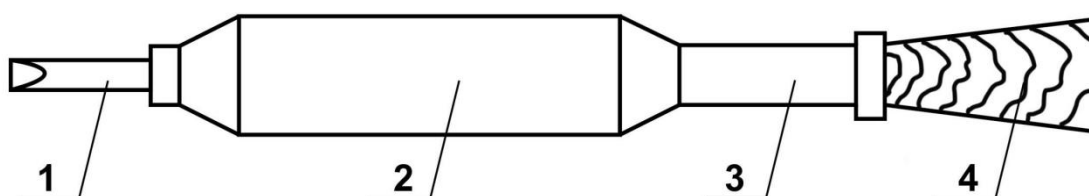
### 3.1.3 Паяльники

Для нагрева места пайки и расплавления мягких припоев применяются *паяльники* и реже — *паяльные лампы* или *газовые горелки*.

*Паяльник* — инструмент, предназначенный для соединения, как правило, металлических деталей посредством пайки. Большинство современных паяльников имеют встроенный электронагревательный элемент, работающий от осветительной сети, от понижающего трансформатора либо от аккумуляторов. Этот тип паяльников называется *электропаяльником*. Реже встречаются паяльники со встроенной газовой горелкой (горючий газ подаётся из встроенного баллончика или, реже, из внешнего источника). Существуют также

паяльники с внешним подогревом, это наиболее старый вид паяльников.

*Электрический паяльник* (рисунок 1) нагревается при пропускании тока через электрическое сопротивление или электрической дугой. В первом случае применяются нагревательные элементы из нихромовой проволоки, во втором — нагревание паяльника осуществляется электрической дугой, создаваемой между угольным электродом и медным рабочим стержнем паяльника. Электрические паяльники изготавливаются для работы от сети 220 и 127 В или для работы на напряжении 6, 12, 20, 24 и 36 В от понижающего трансформатора.



**1 – медный рабочий стержень, 2 – металлический кожух,  
3 – металлическая трубка, 4 – деревянная ручка, 5 – провод**

**Рисунок 1 – Электрический паяльник**

Медный рабочий стержень электрического паяльника может быть расположен перпендикулярно рукоятке, по оси или под углом  $135^\circ\text{C}$  к ней. В электрических паяльниках нагревательные элементы из нихромовой проволоки размещаются вокруг медного стержня и изолируются от него слюдой. Во избежание быстрого охлаждения нагревательный элемент заключается в металлический кожух, заполненный асбестовой изоляцией.

Напряжение к электрическим паяльникам подводится двумя проводами, проходящими внутри ручки. Для долговечной работы электрических паяльников следует применять провода с термостойкой изоляцией.

С помощью электрических паяльников с нагревателями из нихромовой проволоки можно получить температуру нагрева не выше  $400^\circ\text{C}$ , с помощью дуговых — более  $400^\circ\text{C}$ . Однако медные паяльники рекомендуется нагревать до температуры не выше  $600^\circ\text{C}$ .



*Бензиновые и газовые паяльники* применяются в тех случаях, когда необходимо прогреть и паять крупные детали.

*Ультразвуковые вибрационные паяльники* применяются для пайки алюминия и его сплавов.

Для пайки применяются также *паяльные лампы* и *газовые горелки*.

### **3.1.4 Подготовка деталей к пайке**

Чтобы пайка получилась прочной, спаиваемые поверхности или выводы деталей устройств следует вначале *облудить*. Делается это так. Зачищают вывод (поверхность) детали надфилем, напильником, наждачной бумагой или ножом и, положив защищенный вывод на канифоль, прикладывают к нему горячий паяльник. Канифоль плавится и покрывает зачищенный вывод. Если имеется жидкий флюс, то после зачистки вывода детали его нужно покрыть флюсом с помощью кисточки. После этого паяльником расплавляют кусочек припоя и опускают в него зачищенную часть вывода. Поворачивая деталь и перемещая паяльник по поверхности вывода, облуживают вывод. Аналогично облуживают концы проводов. Делать это необходимо очень быстро, чтобы не испортилась деталь подогревом или не расплавилось изоляционное покрытие провода. Особенно осторожно следует облуживать полупроводниковые диоды, транзисторы и конденсаторы: вывод вблизи корпуса детали необходимо придерживать пинцетом или плоскогубцами, отводящими часть тепла.

### **3.1.5 Процесс пайки**

После облуживания деталей их соединяют механически. Способы механического соединения зависят от особенностей спаиваемых деталей. Соединяемые детали припаивают друг к другу следующим образом. Жало паяльника с капелькой припоя на конце опускают в канифоль, а затем прикладывают к месту соединения деталей. Для равномерного растекания припоя, заполнения им всех зазоров между соединяемыми поверхностями место пайки прогревают паяльником.

Количество припоя должно быть минимальным. Во избежание ожогов во время пайки, а также для предохранения деталей от перегрева их поддерживают пинцетом, кругло- или плоскогубцами. Продолжительность пайки должна быть не более 5 секунд. После окончания пайки детали нельзя трогать до полного затвердевания припоя. Остатки канифоли с места пайки удаляют спиртом, деревянной палочкой или аккуратно соскабливают ножом. Пайка должна быть чистой и блестеть.

### **3.1.8 Техника безопасности при пайке**

При работе с электрическими паяльниками следует соблюдать меры предосторожности во избежание поражения электрическим током. Пайку элементов надо производить исправным паяльником, у которого *не пробита изоляция и отсутствует контакт между нагревательным элементом и металлическим корпусом или жалом.*

Во время пайки следует остерегаться ожогов, особенно в случае, если спаиваемые детали обладают пружинящими свойствами. *Невнимательность может привести к разбрызгиванию горячего припоя и попаданию его на кожу (на лицо, в глаза).*

*При ожогах кожи* на обожженную поверхность надо наложить стерильный материал и поверх него вату, закрепить повязку бинтом и отправить пострадавшего к врачу.

В процессе пайки выделяются вредные для здоровья пары олова и свинца. Об этом нужно помнить и *не наклоняться низко над местом пайки*, а также стараться *не вдыхать испарения*. В помещении, где производится пайка, *должна быть хорошая вентиляция.*

*Работать со щелочами и кислотами* нужно в резиновых перчатках, спецодежде из кислотостойкой ткани и в предохранительных очках.

*При попадании кислоты или щелочи на кожу или в глаза* пораженное место следует в течение 10-15 минут промыть проточной водой и наложить примочку: при ожогах кислотами — из раствора соды (чайная ложка соды на стакан воды) или

нашатырного спирта, при ожогах щелочью — из слабого раствора уксуса или борной кислоты (чайная ложка на стакан воды).

*После окончания пайки* обязательно вымыть руки теплой водой с МЫЛОМ.

### **3.2 Пояснения к лабораторной установке**

Лабораторная работа выполняется вне стенда, поэтому для нее необходимы электрические паяльники, отрезки изолированных проводов с медными или алюминиевыми жилами, печатные платы, подходящие припой и флюсы, а также вспомогательные инструменты и средства: пинцеты, монтажные ножи, плоскогубцы, шлифовальные шкурки, кисточки для нанесения жидких флюсов и др.

### **3.3 Порядок выполнения работы**

#### **3.3.1 Пайка проводов**

1) Очистить провода от изоляции так, чтобы между оставшейся частью изоляции и зачищенным концом жилы каждого провода был зазор не менее 10мм.

2) Удалить (при необходимости) с поверхности проводов окислы и окалины так, как это описано в пункте 3.1.4.

3) Включить паяльник в сеть и подождать пока он нагреется.

4) Зачистить рабочую поверхность паяльника от окалины.

5) Залудить зачищенные концы проводов (см. пункт 3.1.4).

6) Осуществить пайку проводов, как это описано в пунктах 3.1.5 – 3.1.7.

#### **3.3.2 Пайка печатных плат, устранение неполадок в платах**

1) Внимательно осмотреть плату и при обнаружении видимой неполадки (деталь отпаяна от платы) припаять так, как описано в опыте 3.3.1

2) С помощью омметра определить разрыв в цепи в местах спайки элементов с платой, после чего перепаять неработающее устройство.

### **3.4 Содержание отчета**

Результаты пайки (провода, платы) согласно пунктов 3.3.1 и 3.3.2.

### **3.5 Контрольные вопросы**

1) Поясните, какими преимуществами обладает пайка в сравнении с другими способами соединения деталей и узлов электротехнических узлов ? В чем сущность пайки ?

2) Что такое флюсы и какое значение они имеют при проведении пайки деталей ? Какие две группы флюсов существуют ?

3) Что такое паяльник и какие разновидности паяльников существуют ?

4) Что такое электрический паяльник ? Как он устроен ?

5) Перечислите основные этапы подготовки деталей к пайке.

6) Поясните, как осуществляется сама пайка непосредственно ?

7) Какие особенности следует учитывать при пайке проводов и деталей из алюминия и его сплавов ? Допустимо ли применение в процессе пайки алюминия оловянно-свинцовых припоев марки ПОС ?

8) Перечислите правила техники безопасности при осуществлении паяльных работ.

## Лабораторная работа №5 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОПРОФИЛИРОВАНИЯ ПРИ МОНТАЖЕ КОМПОНЕНТОВ СВЧ-МОДУЛЯ

**Цель работы:** исследование термических процессов при оплавлении паяльной пасты. Построение термопрофиля экспериментальным путем.

### **Общие сведения:**

**Термопрофиль.** Термопрофиль – это зависимость температуры элементов печатного узла от времени пайки. Термовременные профили оплавления обычно составляются, учитывая спецификацию на паяльную пасту, обусловленную свойствами сплава и флюса, входящих в её состав. Минимальную температуру выбирают, исходя из температуры плавления эвтектического припоя, так чтобы произошло полное смачивание спаиваемых поверхностей для образования правильной паяной галтели.

Верхнее ограничение температуры пайки  $T_2$  создаёт максимально возможная температура кратковременного нагрева компонентов, устанавливаемая в их спецификациях. С учётом погрешности верхний предел нагрева устанавливают на  $5^\circ$  меньше установленной для компонента с самой низкой допустимой температурой нагрева. Очевидно, что температурный градиент, устанавливающийся в печи, должен укладываться в диапазон  $(T_2 - T_1)$ . Чтобы не выйти из этих пределов, в печи создают несколько зон, так чтобы скорость нагрева и охлаждения при движении конвейера была не больше  $4^\circ\text{C}$  в секунду. На рис. 1 показан теоретический температурный профиль при пайке оплавлением.

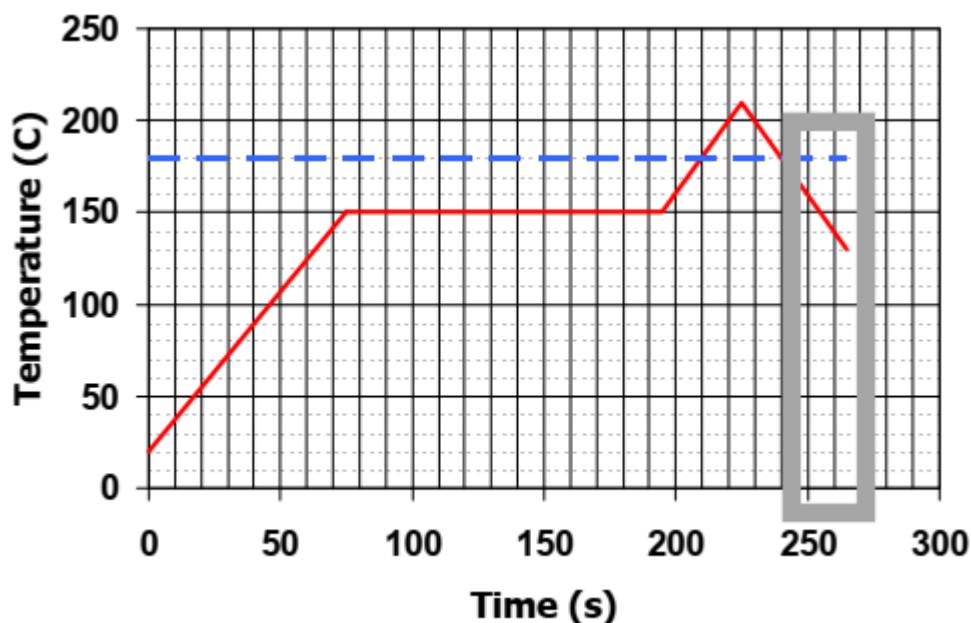


Рис. 1. Теоретический термопрофиль оплавления паяльной пасты.

**Способы передачи тепла.** Пайкой оплавлением называется оплавление припоя, обычно имеющего вид припойной пасты, который прикреплен к печатной плате. Необходимая для этого тепловая энергия ( $Q$ ) генерируется в печи для пайки оплавлением и передается на печатную плату.

$$Q = c m (T_1 - T_2) \quad (1)$$

Где  $c$  - удельная теплоемкость,  $m$  - масса,  $(T_1 - T_2)$  - разность температур

В физике известны следующие основные типы распределения тепла, которые необходимо учитывать в различных конструкциях печей для пайки оплавлением: конвекция, перенос тепла, конденсация и излучение тепла.

Под переносом тепла понимается передача тепла в точке контакта тел, имеющих разную температуру. Жидкости, газы и твердые вещества отдают или получают тепло в месте контакта друг с другом, если между ними имеется разница температур. Количество передаваемого тепла  $Q$  зависит от времени  $t$ , площади контактной поверхности  $A$ , разности температур  $(T_1 - T_2)$  и коэффициента

теплопроводности  $\alpha$ , который в принципе зависит от свойств материалов.

$$Q = \alpha A t (T_1 - T_2) \quad (2)$$

Чем больше коэффициент теплопроводности  $\alpha$ , тем больше тепла может быть передано за единицу времени.

Практически на всех производствах печатных плат (ПП) используются конвейерные печи с конвекционным нагревом.

Под термином "конвекция" понимается перенос тепла потоком жидкости или газа. Если жидкости или газы нагреваются, их плотность уменьшается и возникающая при этом подъемная сила порождает циркуляцию и конвекцию. Тепловая энергия сама по себе не обладает текучестью, ею обладает вещество, переносящее эту энергию. Поэтому конвекция всегда привязана к теплоносителю. Конвекция может быть создана принудительно; это происходит в конвекционных печах для пайки оплавлением, оснащенных вентиляторами, турбинами или соплами. В системах с принудительной конвекцией перенос тепла увеличивается вместе со скоростью потока газа (воздуха или азота).

Коэффициент теплопроводности $\alpha$ [Вт/м <sup>2</sup> ·К <sup>-1</sup> ]	
воздух неподвижен	5
скорость потока воздуха 5 м/с	10 – 20
скорость потока воздуха 20 м/с	40 – 60

Таблица 1: Коэффициенты теплопроводности

**Тепловой режим печатной платы.** Таким образом, используемые термопары устанавливаются непосредственно на имеющую неправильную форму область материала, который моделирует тепловой режим неокрашенного материала печатной платы (Рис. 4). Поскольку область, на которой производятся измерения, не имеет прорезей, отверстий и кромок платы, их влияние можно определить путем сравнения с датчиками поперечного профиля.

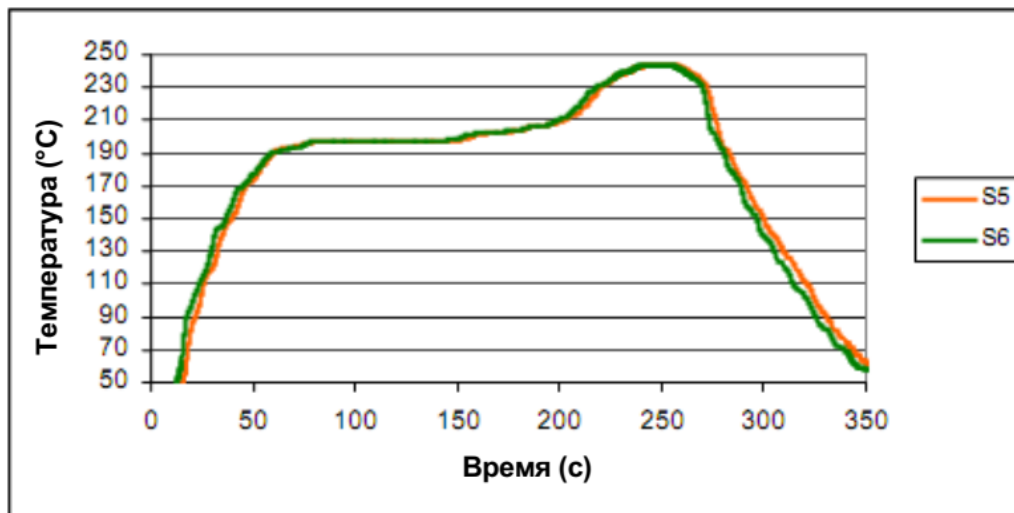


Рисунок 4: Тепловой режим печатной платы

**Терморазрыв зон нагрева.** Большинство печей для пайки оплавлением имеют несколько зон нагрева, регулируемых независимо друг от друга. Таким образом решается задача реализации разных температурных профилей внутри одной установки. Это достигается благодаря разным температурным характеристикам внутри одной зоны и различным скоростям транспортировки плат внутри печи. Однако результат можно считать удовлетворительным лишь в том случае, если различные установки действительно могут повлиять на тепловой профиль. Под "хорошим терморазрывом" мы понимаем малое влияние соседних зон нагрева друг на друга. При более высоких температурах та или иная зона излучает тепло в соседние зоны. Если терморазрыв между обеими зонами и их реакция на управление недостаточны, этот нежелательный тепловой поток будет способствовать повышению температуры соседних зон (см. Рис. 5).



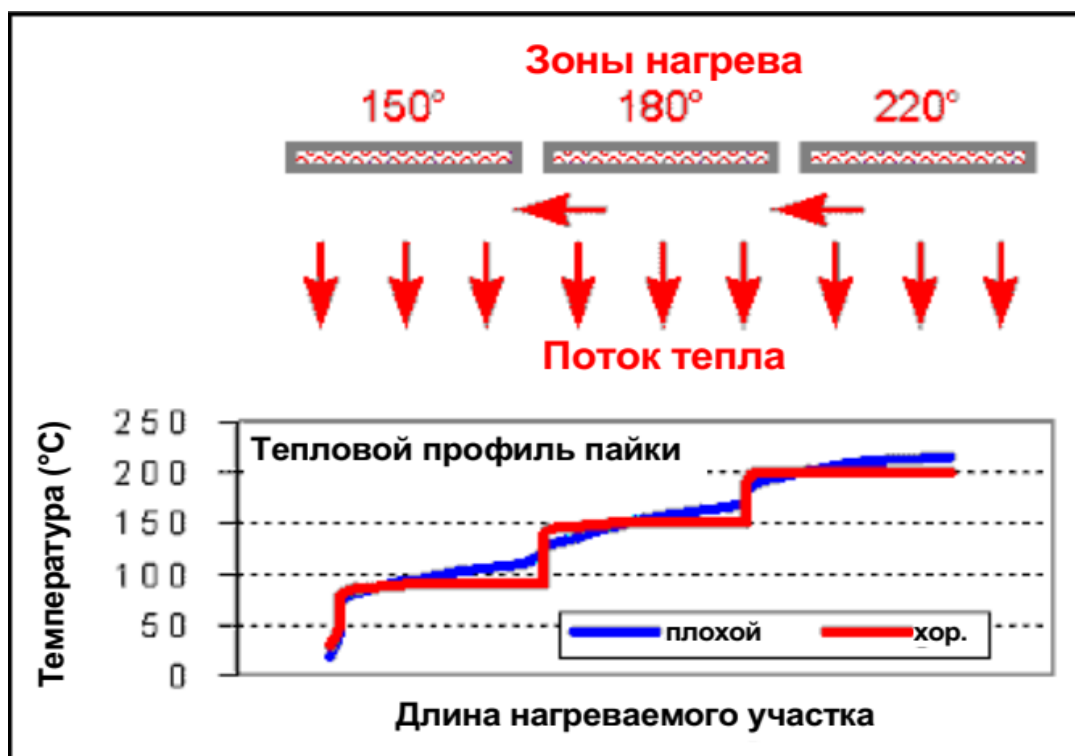


Рисунок 5: Терморазрыв

Измерение терморазрыва производится с помощью термопар, которые установлены на высоте 6 мм над поверхностью платы и измеряют температуру окружающей атмосферы (газа). Одна термопара фиксирует максимальную температуру газа, поскольку через имеющееся отверстие происходит лишь минимальная передача тепла на измерительную плату.

Для измерения зональные температуры печей для пайки оплавлением было бы предпочтительно увеличивать равномерными шагами, например, в случае с 5 зонами нагрева установить следующие температуры: 50, 100, 150, 200, 250°C. Если подтверждено наличие хорошего терморазрыва, результат измерения имеет ярко выраженный ступенчатый профиль. Чем более сглаженной выглядит форма ступенчатого профиля, тем больше влияют друг на друга соседние зоны нагрева. На Рис. 6 показан хороший терморазрыв между зонами в печи для пайки оплавлением, которая была отрегулирована для работы в высокотемпературном режиме (температура газа > 300°C).

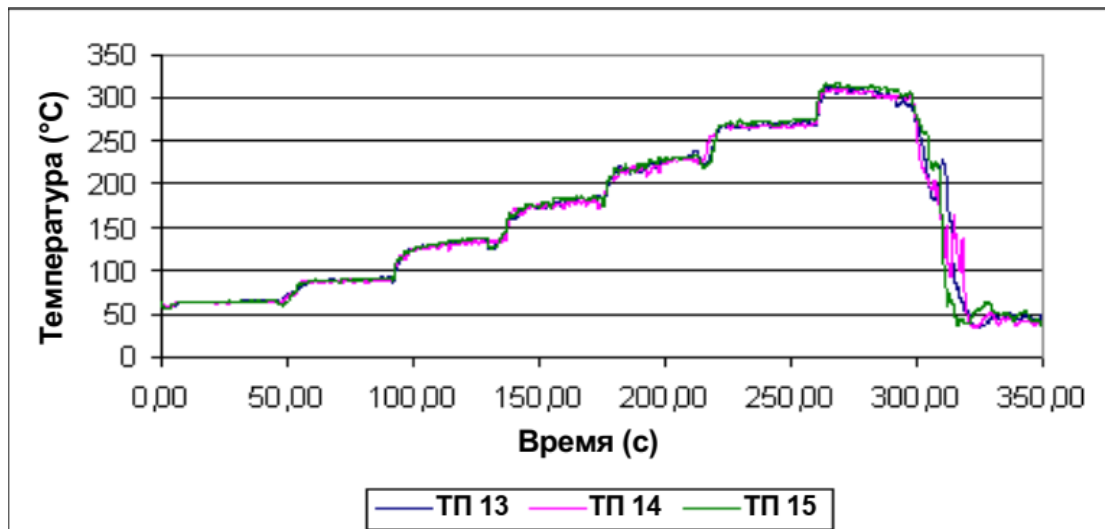


Рисунок 6: Проверка терморазрыва

Ступенчатая форма профиля с крутыми, резкими повышениями при переходе к следующему уровню температуры соответствует требованиям к качественно спроектированной и изготовленной печи для пайки оплавлением.

**Влияние скорости транспортировки.** Перенос тепла зависит от времени. Эта зависимость имеет линейный характер. Такое отношение делает возможной реализацию различных профилей температуры оплавления лишь путем изменения скорости транспортировки плат через печь при постоянных температурах в зонах нагрева. Например, результатом более высоких скоростей транспортировки являются более низкие максимальные температуры, а также меньшее время задержки на том или ином уровне температуры. На Рис. 7 показаны два профиля температуры, определенные при скоростях транспортировки, равных 85 и 120 см/мин. Промежуток времени выше ликвидуса, т.е. в данном случае при температуре 217°C, уменьшен с 42 с до 31 с, и максимальная температура снизилась примерно на 4 К.

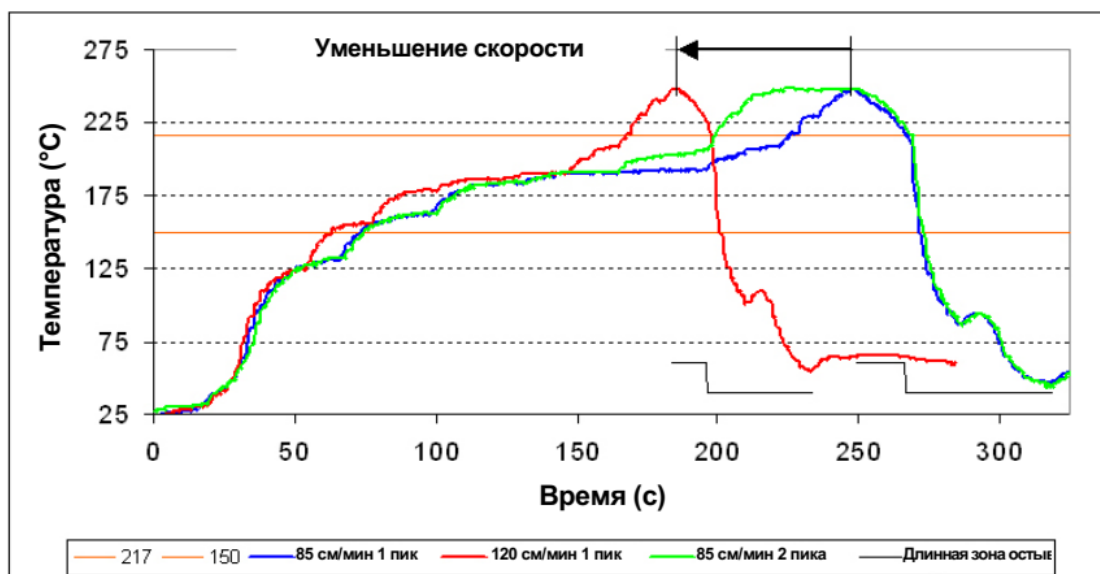


Рисунок 7: Влияние скорости транспортировки

**Прикрепление термопар к точке измерения.** При присоединении термопар к точке измерения (к плате) требуется добиться прочного соединения с отличной теплопроводностью и одновременно безопасным механическим креплением. Этого можно достичь разными способами:

- Использованием простых механических зажимов
- Пайкой или сваркой
- Приклеиванием

При качественном исполнении одинаковых результатов измерения можно добиться при помощи всех способов крепления.

На Рис. 8 показано

крепление термопары с помощью клейкой ленты. Для этих целей выпускаются ленты из каптона, алюминия, теплопроводного пластика и стеклоткани. При соединении термопара никогда не должна подвергаться механическим нагрузкам.

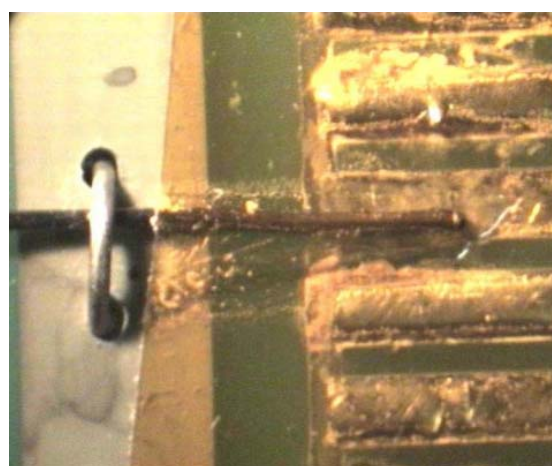


Рисунок 8: Крепление термопары с помощью

Недостаток дешевого и быстро осуществляемого крепления с помощью ленты заключается в

том, что оно требует большого участка поверхности платы и в долгосрочной перспективе недостаточно прочно. Зачастую такие соединения разрушаются после нескольких циклов пайки оплавлением. Для долговечного соединения, способного выдержать большее число циклов, рекомендуется высокотемпературная пайка. Однако на практике соединения такого типа имеют свои недостатки:

- При этом, как правило, используется припой с высоким содержанием свинца (Pb90Sn), который плохо увлажняется.
- Оболочка термопары из легированной стали мало подвержена смачиванию.
- Как правило, сам модуль выходит из строя.
- Нанесённый в точке измерения припой повышает теплоёмкость.

В повседневной практике изготовления плат наиболее рекомендуемым методом является соединение с помощью термостойкого клея. Такие клеи имеются почти на любом предприятии, выпускающем печатные платы, поскольку они требуются для поверхностного монтажа радиоэлементов. При приклеивании термопары к точке измерения необходимо добиться отличного механического соединения между термопарой и точкой измерения (например, радиокомпонентом) и лишь затем наносить клей. Следует помнить: чтобы не менять массовые пропорции в точке измерения, следует наносить ровно столько клея, сколько его абсолютно необходимо для соединения (см. Рис. 9).



Рисунок 9: Прикрепление термопары без оболочки с помощью клея для монтируемых на поверхности плат радиоэлементов

### **Описание установки:**

Конвейерная печь оплавления припоя конвейерного типа серии RS-II (Рис.11) представляет из себя конвейер окруженный нагревательными элементами и блок управления печью.

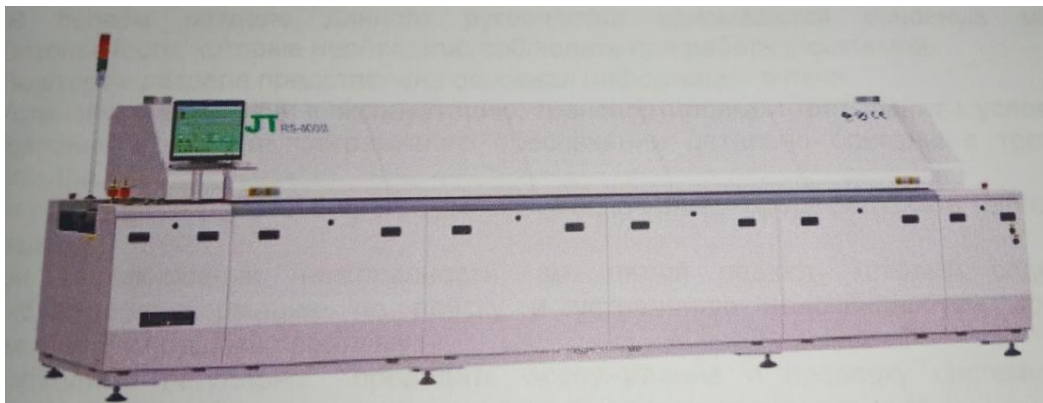
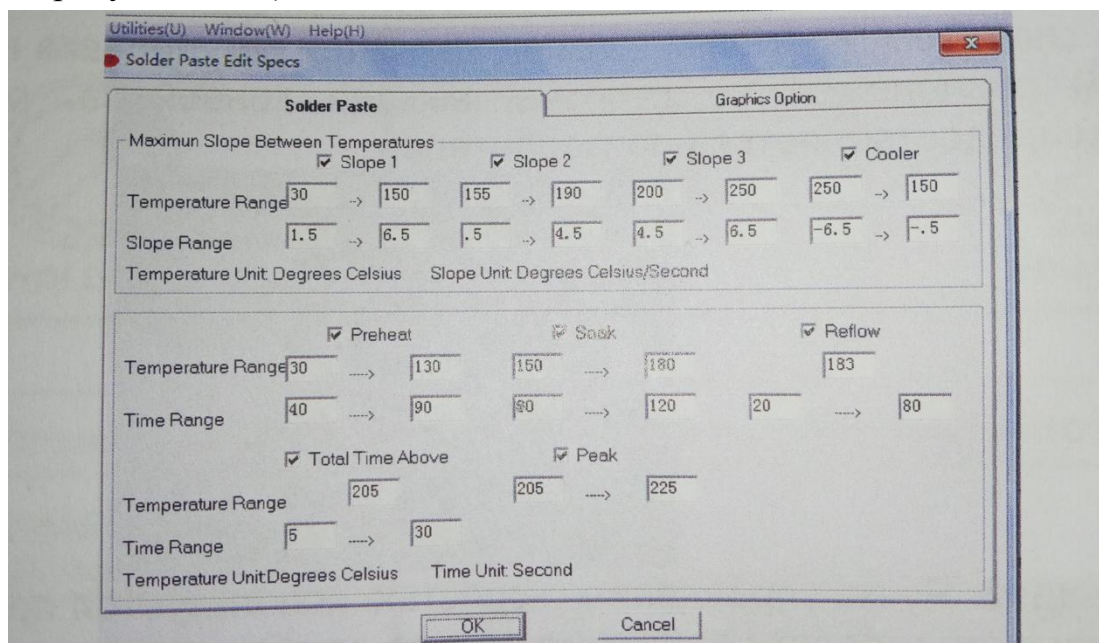


Рисунок 11: Конвейерная печь оплавления припоя конвейерного типа серии RS-II

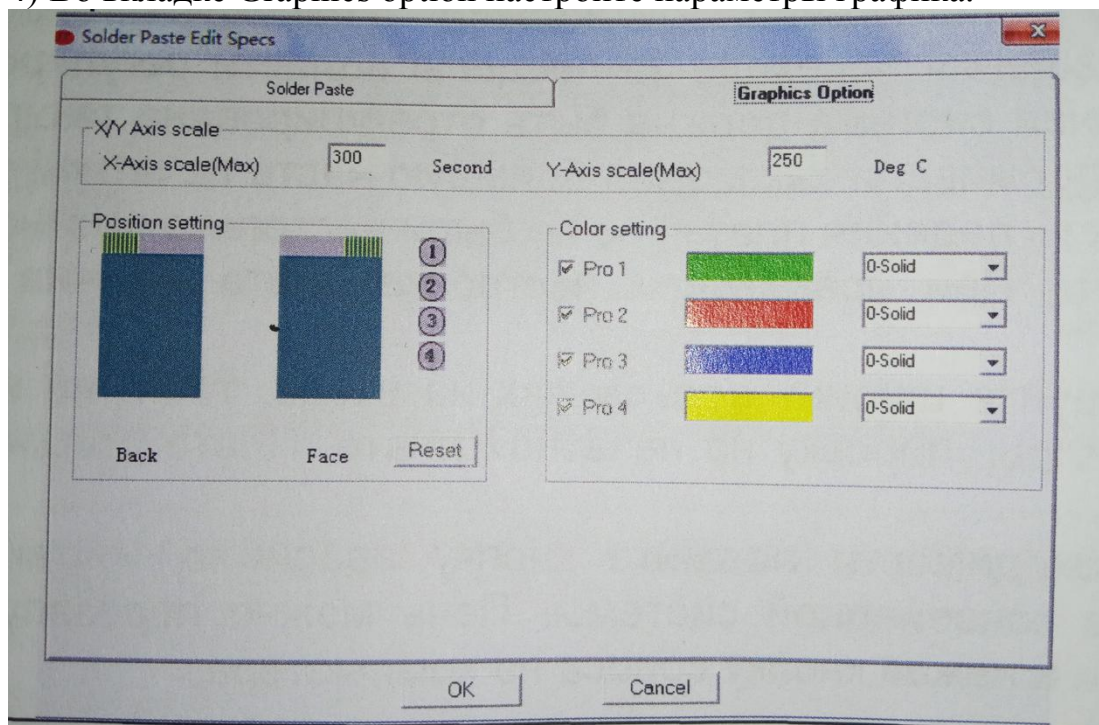
### **Экспериментальная часть:**

- 1) Под присмотром инженера включить конвейерную печь.
- 2) В блоке управления открыть тестирование профиля температуры (temperature profile testing) на панели заголовка.

3) Настройте параметры процесса в окне редактирования параметров паяльной пасты (solder paste edit specs) в соответствии с требованиями процесса пайки. (рекомендуемые значения приведены на рисунке ниже)



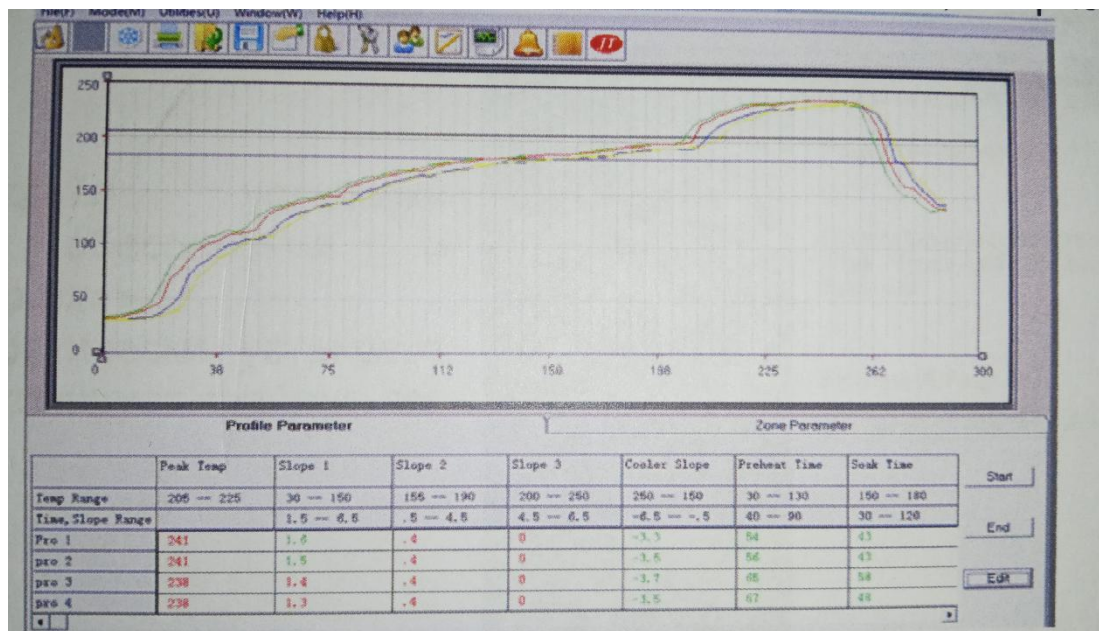
4) Во вкладке Graphics option настройте параметры графика.



5) Отрегулировать ширину конвейера для данной платы.

6) На тестовую плату, при помощи термоскотча, прикрепить 3 термопары.

7) Убедитесь, что печь разогрелась до заданных температур, после чего в окне тестирования профилей температуры нажмите кнопку «Start» затем поместите тестовую плату в печь, после того как плата выйдет из печи и тестирование будет закончено нажмите кнопку «end».



8) В окне тестирования профилей температуры будут сформированы профили с параметрами процесса. Эти профили нужно зафиксировать.

9) После повторной настройки параметров процесса повторить пункты 7 и 8.

10) По полученным профилям нужно составить термопрофиль для данной платы и сделать вывод по данной работе.

### **Контрольные вопросы:**

- 1) Что такое термопрофиль? Нарисовать и объяснить.
- 2) Что такое удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности?
- 3) Куда должны устанавливаться термопары на плате?
- 4) Что понимается под термином "терморазрыв"?
- 5) На что влияет скорость транспортировки платы?
- 6) Какие бывают способы прикрепления термопар к плате?

## **Лабораторная работа №6 МОНТАЖ КОМПОНЕНТОВ НА ПЕЧАТНУЮ ПЛАТУ МИКРОСБОРОК**

**Цель работы:** Изучение технологических характеристик операции автоматической установки поверхностно-монтируемых компонентов.

### **Теоретические основы.**

Принципы работы и характеристики оборудования для автоматической установки компонентов на плату.

Развитие электронных компонентов постоянно идет в направлении уменьшения размеров и стоимости, увеличения степени интеграции, производительности и функциональности. В связи с этим растет спрос на новые варианты конструктивного исполнения компонентов (корпусирования), а вслед за этим - на увеличение плотности межсоединений на печатной плате, чтобы уменьшить дезинтеграцию активных компонентов при переходе на очередной иерархический уровень межсоединений в аппаратуре, сегодня идет речь не о полном вытеснении компонентов с выводами для пайки в отверстия, а о увеличении доли компонентов поверхностного монтажа.

Вместе с тем, с точки зрения сборочного производства, все сводится к многообразию конфигураций соответствующих "посадочных мест" на плате и относительно однообразию (простоте) способов захвата компонентов из технологической тары для последующей установки на плату (за счет плоской верхней поверхности компонента, допускающей применение вакуумного захвата). Последнее обстоятельство дало мощный импульс развитию механизированного (полуавтоматического) и роботизированного (автоматического) оборудования для поверхностного монтажа.

В настоящее время сформировались три принципа автоматической установки компонентов в технологии поверхностного монтажа в зависимости от требований к точности позиционирования и производительности оборудования:

— использование одноголовочного манипулятора со сменными вакуумными захватами, соответствующими размерам и форме компонентов. При этом обеспечивается наибольшая гибкость и точность позиционирования широкого ряда компонентов в ущерб производительности;

— использование многоголовочных систем. Это позволяет повысить производительность без существенного ухудшения точности



установки. Наибольшую скорость установки компонентов обеспечивают карусельные системы с вращающимися установочными головками. Для быстрого захвата компонента, кроме вращения карусели с головками, вращаются и сами головки, чтобы для каждого из устанавливаемых компонентов использовался соответствующий ему захват, закрепленный на головке;

— использование параллельно работающих нескольких одноголовочных манипуляторов или многоголовочных систем. Принцип работы в данном случае состоит в разбиении платы на несколько секций, каждая из которых индивидуально обслуживается отдельной системой или манипулятором.

Принцип разбиения может быть произвольным: по однородности компонентов, по полю одинаковых плат в групповой заготовке, по разбиению большой платы на отдельные зоны каким-либо образом. Моделирование процесса установки позволяет выбрать оптимальный вариант параллельной работы и достичь максимальной производительности до 100 тыс. компонентов в час. Возможности автоматических установщиков компонентов на поверхность характеризуются их производительностью, точностью позиционирования (установки), номенклатурой устанавливаемых компонентов, наличием электро- и видеоверификаторов, позволяющих избежать попадания негодных и несоответствующих компонентов на плату. Имеет значение также время подготовки производства и переналадки на другой типоразмер печатных узлов, включая возможность замены питателей непосредственно во время работы установщика по мере опустошения питателя. Большую роль играет также используемое в работе программное обеспечение. Переход установщика с изделия на изделие начинается задолго до фактической загрузки питателей (рис. 1) с требуемыми для сборки изделия компонентами, а именно, еще на этапе обработки входных данных и составления программ монтажа. Любая программа такого рода не зависимо от типа установщика должна содержать в себе ответ на четыре основных вопроса, а именно: *откуда*, *что*, *куда* и *как* поставить на печатную плату. Под словом *откуда* понимается технологический носитель компонента, под словом *что* понимается сам SMD-компонент, под словом *куда* — координаты геометрического центра корпуса компонента, под словом *как* — ориентация SMD-компонента на плате или угол поворота компонента.



Рис.1

Когда речь идет о составлении программ для установщиков SMD-компонентов, под этим понимают обычно получение из систем проектирования печатных узлов отчетов Pick and Place, в которых как раз и содержится вся необходимая информация для составления программ сборки. Весьма желательно добавить еще два инструмента.

Первый инструмент представляет собой библиотеку связей между основными обозначениями компонентов разных разработчиков и принятых на предприятии.

Второй инструмент, получая готовую программу для монтажа, обладает полной информацией о местоположении и типе SMD-компонентов на плате, включая информацию о геометрии конкретных корпусов компонентов. Он позволяет смоделировать результат монтажа компонентов на плату до непосредственной сборки изделия в виде некоего подобия сборочного чертежа. В результате появляется возможность оценки правильности выбора тех или иных корпусов для компонентов, их совмещения с посадочными местами на плате, включая контроль полярности монтажа.

Гибкий высокоточный автомат установки поверхностно-монтируемых элементов (установщик) JUKI (рис.2) разработан для мелкосерийного и прототипного производства. Данная машина предназначена для становки электронных компонентов поверхностного монтажа на печатные платы, заранее покрытые паяльной пастой. Головка захватывает компонент из питателя (рис.1) обнаруживает центр компонента и размещает его на плате, на позиции с запрограммированными координатами.



Рис.2

В данной лабораторной работе поэтому ставится лишь задача предварительного ознакомления с работой установщика **под руководством и в обязательном присутствии инженера лаборатории.**

#### **Лабораторное задание.**

Для успешной работы в лаборатории (для допуска к работе) необходимо накануне занятия обязательно прочитать теоретические основы. На занятии в лаборатории обучающимся предлагаются следующий вариант лабораторного задания:

#### *Монтаж компонентов на печатную плату*

1. Получить у преподавателя печатную плату с нанесенной паяльной пастой и носители с компонентами (компонентом).

2. Закрепить плату на монтажном столе в соответствии с указаниями преподавателя или инженера лаборатории. При этом постарайтесь не прикасаться к контактным площадкам с нанесенной на них паяльной пастой.

3. Установить носители в магазины, заправить ленточные носители в питатели под руководством инженера лаборатории. Закрепить магазины с носителями на установщике. При использовании палеты с компонентами установить палету на монтажном столе в соответствии с указаниями инженера лаборатории.

4. Под руководством инженера лаборатории или преподавателя включить установщик JUKI и запустить программу ISS-SERVER.

5. В режиме непосредственного общения с клавиатурой установщика или с помощью программы запрограммировать установку компонентов на плату.

6. Запустить в программу установки и установить компоненты на плату.

7. Остановить (и при необходимости и по указанию инженера лаборатории выключить) установщик, снять плату с установленным компонентом.

#### *Контрольные вопросы*

1. Как закрепить плату на монтажном столе?
2. Каким образом установщик учитывает смещения платы при ее установке на монтажный стол?
3. Как заправить ленту с компонентами в питатель?
4. Какие преимущества установщика в отличие от ручного монтажа ?

## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родионов, Ю. А. Производство гибридных интегральных схем : учебное пособие / Ю. А. Родионов. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. — 300 с. — ISBN 978-5-9729-0460-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/98352.html>
2. Смирнов, С. В. Методы и оборудование контроля параметров технологических процессов производства наногетероструктур и наногетероструктурных монокристаллических интегральных схем : учебное пособие / С. В. Смирнов. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2010. — 115 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/13944.html>
3. Основы физики гибридных наноструктур : учебное пособие / А. В. Баранов, В. Г. Маслов, А. О. Орлова, А. В. Федоров. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2014. — 125 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/67821.html>
4. Поляков, В. И. Проектирование гибридных тонкопленочных интегральных микросхем : учебное пособие по дисциплине «Конструкторско-технологическое обеспечение производства ЭВМ» / В. И. Поляков, Э. В. Стародубцев. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2011. — 80 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/71504.html>
5. Филяк, М. М. Конструктивно-технологические основы микроэлектроники : учебное пособие / М. М. Филяк. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2011. — 112 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/30059.html>