

### 2.4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВОДЯЩЕГО РИСУНКА КОММУТАЦИОННЫХ СТРУКТУР

**Цель работы:** изучение промышленной технологии комбинированного позитивного метода изготовления двусторонних печатных плат (ДПП).

#### Задание по работе

В данной работе необходимо изучить комбинированный позитивный метод изготовления печатных плат, освоить его основные этапы, проанализировать изменения состояния исходного материала заготовки. В процессе выполнения работы предлагается провести измерение геометрических параметров на образцах ДПП и изучение дефектов проводящего рисунка на фотографиях ДПП.

#### Теоретическая часть

Комбинированный позитивный метод применяют для изготовления ДПП различных классов точности (при ширине проводников  $t = 0,45; 0,25; 0,15$ ), а также наружных слоев МПП с металлизацией сквозных отверстий и МПП попарного прессования.

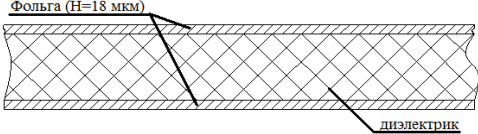
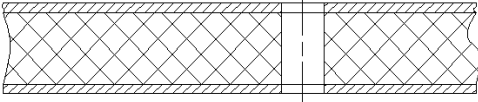
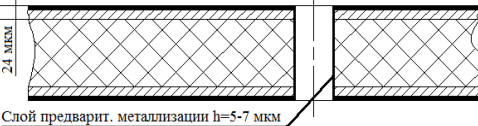
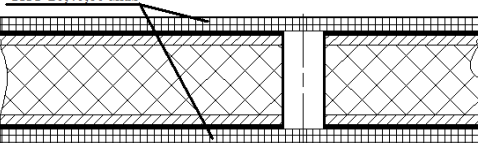
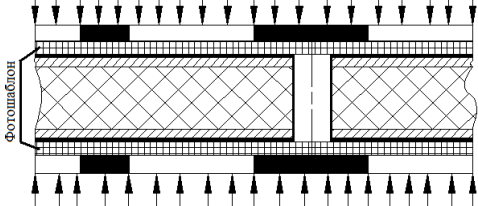
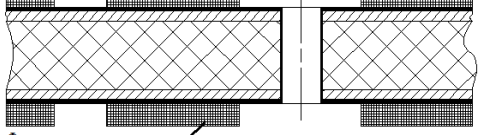
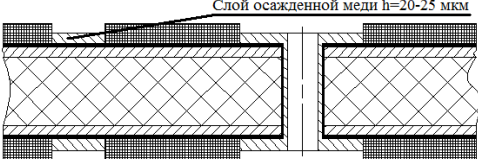
Платы имеют проводящий рисунок в виде печатных проводников на двух сторонах диэлектрического основания (СФ, FR) и в объеме диэлектрика в виде металлизированных отверстий, электрически соединяющих обе стороны.

Сущность метода состоит в том, что проводники (сигнальные цепи), шины земли и питания, контактные площадки различных типов, ламели печатных разъемов получают путем *удаления (травления) фольги* (Cu) с пробельных мест обеих сторон заготовки ДПП, а металлизированные отверстия – путем сверления и *осаждения* на их стенки токопроводящего слоя из металла (Cu).

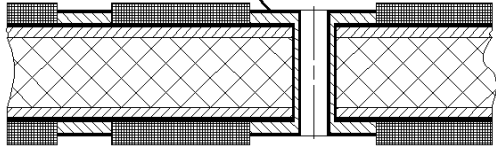
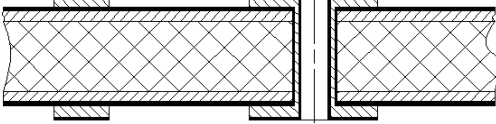
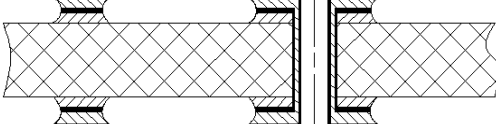
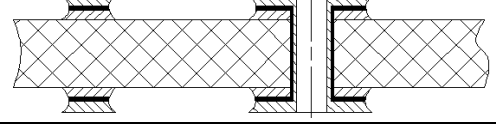
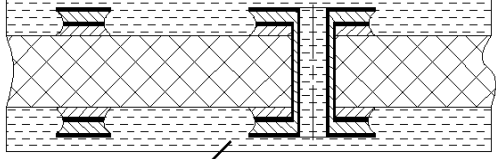
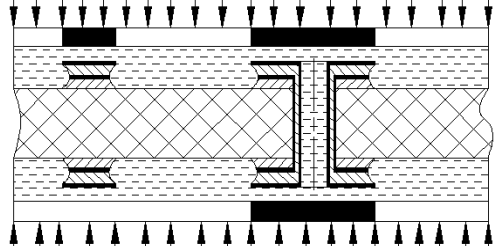
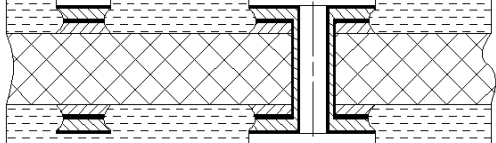
Геометрия проводящего рисунка печатной схемы обеспечивается с помощью позитивных фотошаблонов. Отсюда принятое название метода – **комбинированный позитивный**.

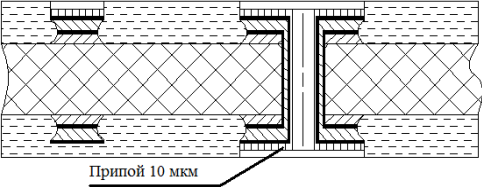
Таблица 2.7

## Эскизы изменений состояния исходного материала

Эскиз 1	Операция 2	Оборудование 3
 <p>Фольга (Н=18 мкм)</p> <p>диэлектрик</p>	1. Получение заготовки	Гильотинные ножницы
	2. Сверление переходных и монтажных отверстий	Специальный станок с ЧПУ и автоматической сменной инструмента
 <p>24 мкм</p> <p>Слой предварит. металлизации h=5-7 мкм</p>	3. Предварительная металлизация отверстий	Линия химико-гальванической обработки
 <p>СПФ 20:40:60 мкм</p>	4. Получение рисунка схемы. 4.1. Ламинирование фоторезиста (СПФ)	Ламинатор
 <p>Фотомаска</p>	4.2. Экспонирование рисунка с фотомаски	Установка экспонирования
 <p>Фоторезистивная маска</p>	4.3. Проявление рисунка с образованием фоторезистивной маски	Установка химической обработки с удалением незасвеченных участков
 <p>Слой осажденной меди h=20-25 мкм</p>	5. Гальваническое осаждение. 5.1. Осаждение меди (Cu)	Линия химико-гальванической обработки

Продолжение табл. 2.7

1	2	3
<p>Слой металрезиста <math>h=4-6</math> мкм</p> 	<p>5.2. Осаждение олова (Sn) – металрезиста</p>	<p>---//---</p>
	<p>6. Удаление фоторезистивной маски</p>	<p>Модульная линия конвейерного типа</p>
	<p>7. Травление. 7.1. Травление с пробельных мест</p>	<p>Установка струйного травления</p>
	<p>7.2. Травление олова с проводящего рисунка</p>	
 <p>Паяльная маска 50 мкм</p>	<p>8. Нанесение жидкой паяльной маски. 8.1. Нанесение и сушка</p>	<p>Установка для нанесения паяльной маски сеткографическим способом. Термошкаф</p>
	<p>8.2. Экспонирование</p>	<p>Установка экспонирования</p>
	<p>8.3. Проявление рисунка</p>	<p>Установка химической обработки</p>

1	2	3
 <p>Припой 10 мкм</p>	9. Горячее лужение. 9.1. Флюсование. 9.2. Горячее лужение проводящего рисунка	Установка для нанесения флюса. Установка для горячего лужения

Коротко рассмотрим основные этапы технологического процесса комбинированного позитивного метода изготовления ДПП (табл. 3.1).

1. *Получение заготовки.* Исходным материалом является лист фольгированного с двух сторон диэлектрика. Медная фольга различной толщины ( $h_{\text{ф}} = 5; 18; 20; 35; 50$  мкм) приклеена к диэлектрическому основанию (СФ) заводом-изготовителем материала.

Основной метод получения заготовок ДПП – резка листа на гильотинных или дисковых ножницах с раскроем на полосы, а полос – на заготовки. Размеры заготовки определяются её типом: одинарная (для изготовления одной ДПП) или групповая (для изготовления нескольких ДПП); шириной технологического поля (20–30 мм) по периметру и между отдельными платами групповой заготовки (5–10 мм) и принятым на предприятии оптимальным соотношением длины и ширины заготовки.

2. *Сверление переходных и монтажных отверстий.* В наружном технологическом поле заготовки сверлят два базовых отверстия. Базовые отверстия получают на специальном станке, собрав несколько заготовок (обычно от 2 до 6) в пакет, затем сверлят и, не меняя установка пакета, штафуют. Штифты служат для базирования пакета заготовок на столе сверлильного станка с числовым программным управлением (ЧПУ). Для сверления применяют специальные одно-, двух- и четырехшпиндельные станки с точностью позиционирования в пределах  $\pm (0,001-0,005)$  мм.

3. *Предварительная металлизация отверстий.* Стенки просверленных отверстий имеют дефекты в виде наволакивания смолы, неравномерного микрорельефа и заусенцев, которые должны быть устранены перед металлизацией. Для этого применяют: механическую обработку абразивной суспензией, химическую обработку растворами на основе соляной и серной кислот, комбинированную химико-механическую обработку, плазмохимическое травление.

Типовой ТП предварительной металлизации диэлектрика предусматривает сенсбилизацию (адсорбция олова  $\text{Sn}^{2+}$ ), активацию (образование сверхтонкого слоя палладия Pd), химическое ( $h_{\text{мх}} = 1 \div 2$  мкм) и гальваническое меднение ( $h_{\text{тм}} = \text{до } 5\text{--}7$  мкм).

В настоящее время типовой ТП уступает место прямой металлизации диэлектрика на основе трехметалльного катализатора (Pd, Sn, Me). На стенках отверстий образуется металлическая пленка (Pd, Sn, Me) толщиной 60–80 Å с хорошей адгезией и высокой проводимостью. Прямая металлизация завершается гальванической затяжкой медью до  $h_{\text{тм}} = 5 \div 7$  мкм.

Таблица 2.8

Операции предварительного меднения стенок отверстий заготовки ДПП

Наименование операции	Реактив и характер воздействия	Режимы	
		Время	Температура
Обезжиривание	Кондиционер DS 270. Нейтрализация отрицательного и придание положительного заряда	7 мин	65°C
Промывка	Вода: струйная; проточная	30 с 1 мин	20°C 20°C
Активирование	Преактиватор DS 400 Активатор DS 500 Образование трехметалльного покрытия (Pd, Sn, Me)	~2 мин 7 мин	70°C 42°C
Промывка	Вода	2 мин	20°C
Интенсификация	Ускоритель DS 650 Образование мономолекулярной металлической пленки	7 мин	45°C
Промывка	Вода: струйная	30 с	20°C
Декапирование	10% раствор серной кислоты	50 с	18–25°C
Промывка	Вода	2 мин	20°C
Гальваническая затяжка	Электролит / $\text{CuSO}_4$ , $\text{N}_2\text{SO}_4$ , хлориды, добавка J-PlateCu 400	~8 мин	18–25°C
Промывка	Вода	~1 мин	20°C
Сушка	Горячий воздух	~8 мин	
Реактивы DS предложены фирмой-разработчиком системы прямой металлизации SYSTEM-S			

Приведенная выше табл. 2.8 иллюстрирует состав и длительность операций прямой металлизации, что позволяет организовать ТП предварительной металлизации отверстий на модульной линии автооператорного типа с автоматическим переносом заготовки в вертикальные ванны в соот-

ветствии с последовательностью операций ТП. Следует отметить, что одновременно медь осаждается и на фольгированные поверхности заготовок.

4. *Получение рисунка схемы.* Рисунок печатной схемы на заготовке ДПП может быть получен фотографическим способом (инструменты – фоторезист, фотошаблон) или сеткографическим способом (краска, сетчатый трафарет). Рассмотрим фотоспособ, который обеспечивает большую точность проводящего рисунка, однако отличается большей трудоемкостью по сравнению с сеткографическим способом.

Изображение схемы получают с помощью сухого пленочного фоторезиста (СПФ) путем экспонирования его с инструмента – позитивного фотошаблона на заготовку и проявления. Экспонированные и проявленные участки фоторезиста прочно удерживаются на пробельных местах заготовки, оставляя открытыми все зоны будущего проводящего рисунка.

СПФ представляет собой трехслойную структуру (лавсановая основа – СПФ – полиэтиленовая защитная пленка) и наносится с двух сторон на заготовку с помощью валкового ламинатора. Адгезия обеспечивается предварительной химико-механической обработкой заготовки, подогревом (5 минут, 100°C) в термощкафу, ламинированием (скорость 1,2–1,8 м/мин) с прижимом валков, нагретых до 115–120°C и термостабилизацией ламинированной заготовки (20°C, 20 мин).

Заготовки (2–4 шт.), ламинированные СПФ, размещают на столе установки экспонирования, совмещая каждую с фотошаблоном с помощью кнопок и базовых отверстий, полученных в технологическом поле перед операцией сверления монтажных отверстий.

Использование базовых отверстий на операциях сверления и экспонирования рисунка позволяет с достаточной точностью обеспечить совмещение центров контактных площадок с центрами монтажных и переходных отверстий ДПП.

Для проявления рисунка схемы применяют механизированную модульную линию конвейерного типа, в которой загружаемые вручную заготовки проходят модули проявления (струйная подача проявителя  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), промывки и сушки. Качество проявленного рисунка контролируют визуально или при небольшом увеличении.

5. *Гальваническое осаждение меди (Cu) в отверстиях и одновременно в остальных зонах проводящего рисунка (пробельные места закрыты фоторезистивной маской)* выполняют на программируемой линии предварительного меднения. На этой же линии гальванически осаждают на прово-

дящий рисунок олово (5–10 мкм) – металлорезист. Контроль качества рисунка визуальный.

6. *Травление меди* с пробельных мест осуществляется после удаления заготовки фоторезистивной маски на модульной линии конвейерного типа с ручной загрузкой. Роликовый конвейер перемещает заготовки через модули травления ( $\text{CuCl}_2$ ), кислой промывки ( $\text{HCl}$ ), каскадной промывки водой, модуль визуального промежуточного наблюдения, модуль снятия металлорезиста (травление олова с проводящего рисунка) и сушки. Химические растворы и воды подаются в рабочие зоны модулей распылением под давлением с воздействием на обе стороны заготовок ДПП. Операция завершается визуальным или оптическим контролем состояния проводящего рисунка.

7. *Нанесение паяльной маски*. Паяльная маска защищает полученный проводящий рисунок ДПП от внешних воздействий, оставляя открытыми места пайки навесных элементов, т. е. зоны контактных соединений с печатным монтажом. Применяют сухие и жидкие паяльные маски (ЖПМ). Последние обладают более высокой разрешающей способностью.

ЖПМ наносят на заготовку ДПП сеткографическим способом, высушивают ( $T = 85^\circ\text{C}$ ), экспонируют и проявляют. Окончательные защитные свойства ЖПМ приобретают в сушильном шкафу при  $T = 150^\circ\text{C}$  ( $t = 60$  мин). Геометрию рисунка паяльной маски контролируют визуально при соответствующем увеличении.

8. *Горячее лужение* осуществляют на специальной установке путем погружения и выдержки (около 6 с) заготовки в вертикальном положении в расплавленном припое ( $\text{Sn} - 63\%$ ,  $\text{Pb} - 37\%$ ), находящемся при температуре около  $235^\circ\text{C}$ . Сбрасывание излишков припоя и выравнивание толщины слоя лужения до 5–8 мкм осуществляется ножами – форсунками, подающими горячий ( $200^\circ\text{C}$ ) сжатый воздух с двух сторон извлекаемой из ванны заготовки.

Непосредственно перед горячим лужением на заготовку наносят водорастворимый флюс, а после лужения остатки его удаляют на установке отмывки конвейерного типа.

9. *Оптический контроль* качества проводящего рисунка ДПП позволяет выявить видимые дефекты печатной схемы. При двухкоординатном передвижении оператором стола с закрепленной заготовкой оптическая система установки контроля регистрирует контролируемые участки платы, увеличивает их и сравнивает с данными бездефектного изображения ДПП.

Обнаруженные дефекты запоминаются, а по окончании контроля выводятся в виде изображений на мониторе, предоставляя оператору информацию для принятия решений. Некоторые дефекты оператор может немедленно удалить вручную.

10. *Автоматический электроконтроль* позволяет выявить короткие замыкания и разрыва в проводящем рисунке ДПП. Четыре специальных щупа установки со скоростью 800 точек в минуту по программе тестирования обходят все электрические цепи платы. При этом контролируемый в данный момент участок отображается на экране монитора, а обнаруженные несоответствия с предварительно проконтролированной тест-платой вносятся в специальный чек со штрих-кодом. Считывая штрих-код, легко определить место разрыва или короткого замыкания.

### Подготовка к работе

Опытные образцы и средства для проведения замеров и расчётов

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с ТП изготовления плат комбинированным позитивным методом.
2. Изучить характерные дефекты рисунка печатной платы (таблица 2.7).
3. Получить опытные образцы у преподавателя для проведения замеров
4. Ознакомиться с установкой для проведения замеров:



Рис. 2. 20. Внешний вид светового микроскопа



При работе с микроскопом необходимо соблюдать операции в следующем порядке:

- 1) Работать с микроскопом следует сидя;
- 2) Микроскоп установить перед собой, немного слева на 2-3 см от края стола. Во время работы его не сдвигать;
- 3) Открыть полностью диафрагму, поднять конденсор в крайнее верхнее положение;
- 4) Работу с микроскопом всегда начинать с малого увеличения;
- 5) Опустить объектив на расстояние 1 см от предметного стекла;
- 6) Установить освещение в поле зрения микроскопа, используя электроосветитель или зеркало. Глядя одним глазом в окуляр и пользуясь зеркалом с вогнутой стороной, направить свет от окна в объектив, а затем максимально и равномерно осветить поле зрения. Если микроскоп снабжен осветителем, то подсоединить микроскоп к источнику питания, включить лампу и установить необходимую яркость;
- 7) Положить опытный образец на предметный столик так, чтобы изучаемый объект находился под объективом. Глядя сбоку, опускать объектив при помощи макровинта до тех пор, пока расстояние между нижней линзой объектива и микропрепаратом не станет 4-5 мм;
- 8) Смотреть одним глазом в окуляр и вращать винт грубой наводки на себя, плавно поднимая объектив до положения, при котором хорошо будет видно изображение объекта.
- 9) Передвигая опытный образец рукой, найти нужное место, расположить его в центре поля зрения микроскопа;
- 10) Если изображение не появилось, то надо повторить операции из пунктов выше;
- 11) По окончании работы снять с рабочего столика опытный образец и сообщить преподавателю о завершении снятия измерений

**5. Исследовать ширину и длину проводников ДПП после некоторых операций ТП путем статистической обработки измерений**



**Рис. 2. 21.** Процесс выполнения замеров опытных образцов

6. Занести результаты измерений в отчет по лабораторной работе.
7. Сделать выводы по собранным измерениям об изменениях ширины дорожек после выполнения некоторых операций ТП.
8. Ответить на контрольные вопросы.

**Завершение работы**

После выполнения работы необходимо вернуть опытные образцы преподавателю или лаборанту, привести в порядок рабочее место, выключить задействованные электронные приборы, а также подготовить отчёт по лабораторной работе.

## Порядок оформления отчета по лабораторной работе

В отчете по выполненной работе должны быть представлены:

1. Цель и задачи экспериментального исследования;
2. Краткий конспект теоретической части и теоретические расчеты;
3. Результаты экспериментальных исследований;
4. Выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных показателей;
5. Ответы на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Почему метод изготовления ДПП на фольгированном диэлектрике назван комбинированным позитивным методом?
2. Каково назначение в ДПП металлизированных отверстий?
3. Как определяют размеры заготовок ДПП?
4. Что представляет из себя сухой пленочный фоторезист?
5. Какова роль металлорезиста в производстве ДПП?
6. Роль паяльной маски?
7. На каких операциях возможны изменения геометрии рисунка печатной схемы на плате?
8. На каких операциях и с какой целью используют базовые отверстия, выполненные в технологическом поле заготовки ДПП?
9. Укажите способы контроля геометрии проводящего рисунка в технологии ДПП.
10. Как проверить толщину и качество слоя металлизации в отверстиях ДПП?