

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники

О. С. Чеховских
Е. М. Соколова

**УЧЕБНАЯ ПРАКТИКА
(ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПРАКТИКА)**

Методические указания по организации и проведению технологической
практики для студентов технических направлений подготовки и
специальностей

Томск
2019

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.859я73

Ч–56

Рецензент:

Кривин Н. Н., доцент кафедры КИПР, канд. техн. наук

Чеховских О.С.

Учебная практика (технологическая практика): методические указания по организации и проведению технологической практики для студентов технических направлений подготовки и специальностей / О. С. Чеховских, Е. М. Соколова. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2019. – 31 с.

Настоящее учебно-методическое пособие по организации и проведению технологической практики для студентов составлено с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) третьего поколения.

Учебно-методическое пособие содержит краткое описание технологического процесса изготовления печатных плат с пошаговой характеристикой каждой технологической операции, предназначено для студентов технических направлений подготовки и специальностей.

УДК 621.38(075.8)

ББК 32.859я73

© Чеховских О. С., Соколова Е.М., 2019
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2019

Оглавление

Введение.....	4
1 Общие положения	5
2 Порядок прохождения практики	5
3 Программа прохождения практики	6
3.1 Оборудование и материалы, используемые для производства печатных плат	6
3.2 Классификация печатных плат и методы их изготовления.....	7
3.2.1 Односторонние печатные платы	7
3.2.2 Двусторонние печатные платы.....	9
3.3 Индивидуальное задание на изготовление печатных плат и методика его выполнения	12
Контрольные вопросы	29
Список рекомендуемой литературы.....	30

Введение

Печатная плата (ПП) – пластина из диэлектрика, на поверхности и/или в объеме которой сформированы электропроводящие цепи электронной схемы. Печатная плата предназначена для электрического и механического соединения различных электронных компонентов. Электронные компоненты на печатной плате соединяются своими выводами с элементами проводящего рисунка обычно пайкой.

ПП широко применяются в авиационной, космической промышленности, аппаратуре средств связи, вычислительной технике, в системах автоматизации и в других областях промышленной, а также бытовой электроники. При изготовлении ПП в зависимости от их конструктивных особенностей и масштабов производства применяются различные варианты технологических процессов, в которых используются многочисленные химико-технологические операции и операции механической обработки.

Технологический процесс изготовления ПП является сложным и многооперационным и осуществляется с использованием большого количества оборудования. Он требует специалистов широкого профиля, знающих все аспекты производства ПП и способы комплексного решения современных проблем, возникающих в ходе их изготовления.

Практика студентов является неотъемлемой частью подготовки высококвалифицированных специалистов по всем специальностям и направлениям обучения. Главная цель данного учебного пособия состоит в том, чтобы помочь неопытному студенту познакомиться с особенностями технологии производства печатных плат, понять, что происходит на различных этапах этого технологического процесса и какие закономерности им управляют.

1 Общие положения

Практика – это вид учебной деятельности, направленной на формирование, закрепление, развитие практических навыков и компетенций в процессе выполнения определенных видов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Целью практики является закрепление и расширение знаний, полученных студентами в процессе теоретического обучения, в практических условиях, обеспечивающих прикладную направленность обучения с приобретением конкретных навыков и умений, на основе изучения работы участка печатных плат и личного участия студентов в производственной деятельности участка.

Задачи практики:

- освоение в практических условиях принципов и основ создания и изготовления ПП;
- закрепление и углубление теоретических знаний в области техники изготовления ПП;
- самостоятельная разработка проекта схемы ПП.

В результате прохождения практики **студент должен:**

- *знать* основные технологические и конструктивные свойства материалов и технологические характеристики оборудования, главные этапы технологического процесса, существующие методы изготовления ПП;
- *уметь* разрабатывать схему ПП в электронном виде, изготавливать фотошаблоны, определять тип ПП;
- *владеть* необходимыми знаниями о характеристиках технологического оборудования, техникой изготовления ПП, необходимыми знаниями по работе на специальном оборудовании для производства печатных плат, навыками подготовки отчетной и презентационной документации.

2 Порядок прохождения практики

Общая трудоемкость и продолжительность практики определяется рабочим учебным планом и календарным графиком.

Порядок направления студентов на практику, руководство и контроль ее прохождения, а также требования к оформлению и защите результатов практики регламентируются Положением об организации и проведении практик обучающихся в ТУСУРе.

Технологическая практика является этапом формирования профессиональных качеств обучающихся.

Студенты проходят технологическую практику в Центре технологической практики (далее – Центр), входящем в структуру ТУСУРа. Помещение Центра оснащено оборудованием для производства печатных плат и специализированными материалами, необходимыми для их изготовления.

3 Программа прохождения практики

3.1 Оборудование и материалы, используемые для производства печатных плат

Для производства ПП в Центре используется следующее оборудование:

- **фотоплоттер** используется для изготовления фотошаблонов;
- **станок сверлильно-фрезерный с ЧПУ** (2-х шпиндельный. ТИМАХ) используется для сверления переходных отверстий на печатных платах;
- **механическая зачистная машина** используется для подготовки поверхности стеклотекстолита (обезжиривание);
- **линия химической и гальванической металлизации** применяется для осаждения меди и наращивания металлорезиста на стенки диэлектрика в отверстиях и состоит из набора ванн с растворами и промывного каскада с водой;
- **ламинатор** используется для нанесения сухого пленочного фоторезиста на заготовку стеклотекстолита, предварительно нагретую до 100 °С в термическом шкафу;
- **установка экспонирования** воздействует ультрафиолетом на заготовку стеклотекстолита через фотошаблон. При этом происходит перенос рисунка схемы с шаблона на заготовку стеклотекстолита. Время экспонирования составляет от 14 до 20 секунд при освещенности в зоне экспонирования 3000 лк;
- **установка проявления конвейерного типа, струйного распыления (однокамерная)** (раствор натрия углекислого 1 % (10 г на 1 л воды). Температура раствора до 30 °С);
- **установка травления конвейерного типа, струйного распыления (трехкамерная, объем 140 литров)** используется для травления пробельных мест с целью получения рисунка схемы. Раствор применяется медно-хлористый соляно-кислый.
- **установка снятия фоторезиста** применяется для удаления фоторезиста с металлизированных участков печатной платы раствором щелочи 4 % (NaOH – 4 г, H₂O – 100 мл) при температуре 40 °С;

- установка нанесения жидкой паяльной маски (полуавтоматическая) – с её помощью происходит нанесение защитной паяльной маски на заготовку стеклотекстолита;

- установка горячего лужения PENTA – предназначена для нанесения на печатную плату финишного покрытия (олово – свинец) горячим способом, при температуре 260 – 270 °С.

Базовые материалы, используемые для производства ПП:

- фольгированные и нефольгированные диэлектрики. Конкретно в нашем случае это стеклотекстолит FR-4 (односторонний, двусторонний), толщиной от 0,5 до 2 мм, с фольгой от 18 до 105 мкм;

- защитная паяльная маска и маркировочная маска. Выпускаются в различной цветовой гамме, но в нашем случае используется белая и зеленая.

- фоторезисты (СПФ);

- химические реактивы;

- припой ПОС-61;

- флюс ФГПЛ-4.

3.2 Классификация печатных плат и методы их изготовления

Печатные платы подразделяют на:

- *односторонние* (один слой фольги):

- на слоистом прессованном основании;

- на рельефном литом основании.

- *двусторонние* (два слоя фольги):

- на металлическом основании;

- на диэлектрическом основании.

- *многослойные* (фольга не только на двух сторонах платы, но и во внутренних слоях диэлектрика).

3.2.1 Односторонние печатные платы

Преимущества: простота и низкая себестоимость изготовления.

Недостатки: низкая трассировочная способность вследствие низкой разрешающей способности рисунка схемы, одностороннего расположения широких проводников и большого расстояния между ними. Поэтому установка радиоэлементов высокой функциональной сложности на ОПП крайне ограничена.

Основные методы изготовления ОПП:

1. Химический негативный (таблица 3.1);

Таблица 3.1 – Основные этапы химического негативного метода

Основной этап ТП	Возможный способ получения
1. Входной контроль и термостабилизация диэлектрика	
2. Раскрой материала	
3. Получение заготовок и фиксирующих (базовых) отверстий	Резка
4. Подготовка поверхности заготовки	Механический способ
5. Получение защитного рельефа	1) Сеткография 2) Офсетная печать Подготовительные этапы: - изготовление трафаретов для сеткографии; - изготовление офсетной формы.
6. Сушка	1) Ультрафиолетовая сушка 2) Термическая сушка
7. Травление меди с проблемных мест	
8. Удаление защитного рельефа	
9. Получение монтажных отверстий	Сверление
10. Нанесение паяльной маски	Сеткография. Подготовительный этап: - изготовление трафаретов для нанесения паяльной маски
11. Сушка	1) Ультрафиолетовая сушка 2) Термическая сушка
12. Лужение	ПОС-61
13. Отмывка флюса	
14. Маркировка	Сеткография. Подготовительный этап: - изготовление трафаретов
15. Контроль электрических параметров	
16. Вырубка по контуру и получение крепежных отверстий	Штамповка

2. Химический позитивный (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Основные этапы химического позитивного метода

Основной этап ТП	Возможный способ получения
1. Входной контроль диэлектрика.	
2. Раскрой материала.	
3. Получение заготовок и фиксирующих	Штамповка.
4. Подготовка поверхности.	Механический способ.
5. Получение защитного рельефа на пробельных участках.	1) Сеткография (СГ) 2) Офсетная печать Подготовительный этапы: - изготовление трафаретов для СГ; - изготовление офсетной формы
6. Нанесение металлорезиста на проводники.	1) Ультрафиолетовая сушка (УФ) 2) Термическая сушка
7. Удаление защитного рельефа.	
8. Травление меди с пробельных мест.	
9. Сверление или пробивка отверстий.	
10. Вырубка по контуру и получение крепежных отверстий.	Штамповка

3.2.2 Двусторонние печатные платы

ДПП подразделяются на два типа:

- общего применения (1,2,3 класса точности);
- прецизионные (5,6 класса точности).

Классификация методов изготовления ДПП на жестком фольгированном основании:

1. Комбинированный позитивный метод (SMOTL и SMOBS процессы).
2. Комбинированный негативный метод.
3. Электрохимический метод.
4. Тентинг-метод.
5. Комбинированный позитивный метод.
6. Метод фрезерования.

Рассмотрим некоторые методы более подробно.

Тентинг-метод или метод образования завесок над отверстиями ПП.

Тентинг-метод применяют при изготовлении ДПП, двусторонних слоев с металлизированными переходами и МПП.

Основные этапы тентинг-метода:

1. Входной контроль и термостабилизация диэлектрика.
2. Получение заготовок.
3. Получение фиксирующих отверстий.
4. Получение входящих переходных отверстий.
5. Химическая и гальваническая металлизация поверхности ДПП и стенок отверстий.
6. Нанесение сухого пленочного фоторезиста (СПФ).
7. Получение защитного рельефа фотохимическим способом.
8. Травление меди с проблемных мест.
9. Удаление защитного рельефа.
10. Нанесение паяльной маски.
11. Нанесение покрытия на участки проводящего рисунка, свободные от маски.
12. Отмывка флюса.
13. Получение крепежных отверстий и обработка по контуру.
14. Промывка.
15. Контроль электрических параметров.

Основные достоинства и преимущества тентинг-метода:

- наименьшая продолжительность технологического цикла;
- не используются щелочные медно-хлоридные травильные растворы, содержащие аммонийные соединения, затрудняющие обработку сточных вод;
- улучшенные экологические показатели производства;
- экономичность технологического процесса.

Электрохимический (полуаддитивный) метод.

В настоящее время широко применяется электрохимический метод изготовления прецизионных ДПП и ДПП общего применения на нефольгированном жестком, гибком основании, а также слоев МПП. Данный метод имеет несколько вариантов исполнения, в зависимости от которого ПП могут быть изготовлены по 3-му, 4-му или 5-му и выше классам точности. В таблице 3.3 приведена последовательность основных этапов различных вариантов изготовления ПП.

Таблица 3.3 – Основные этапы ТП изготовления ДПП на жестком нефольгированном основании электрохимическим (полуаддитивным) методом (прецизионных ДПП и общего применения)

Основной этап	Возможный способ получения
1. Входной контроль диэлектрика	
2. Получение заготовок	Резка
3. Получение фиксирующих отверстий	Сверление
4. Получение монтажных и переходных отверстий	Сверление
5. Подготовка поверхности	1) Физические методы; 2) Химические методы
6. Металлизация заготовок	ДПП общего применения: - термолиз меди и предварительное электролитическое меднение - прямая металлизация
7. Подготовка поверхности	Механическая зачистка; Подтравливание
8. Нанесение защитного рельефа	Фотохимический способ
9. Электрохимическая металлизация	Гальваническое меднение и нанесение металлорезиста (олово-свинец)
10. Удаление защитного рельефа	
11. Травление меди с пробельных мест	Травление с удалением металлорезиста
12. Нанесение паяльной маски	Сеткография
13. Нанесение покрытия на участки проводящего рисунка, свободные от маски	Горячее лужение (ПОС-61)
14. Отмывка от флюса	
15. Обработка по контуру	Сверление отверстий и фрезерование по контуру
16. Промывка	
17. Контроль электрических параметров	

Метод фрезерования (метод оконтуривания).

Этот механический метод применяют при единичном изготовлении ДПП полностью на одном универсальном станке. Он включает следующие этапы:

- подготовка управляющего файла для станка;
- сверление монтажных и переходных отверстий по программе;

- фрезерование (высвобождение) мест от фольги твердосплавными коническими фрезами с углом при вершине 60 или 30 градусов. Файл оконтуривания генерируется в одной из программ CAD-CAM;

- металлизация монтажных и переходных отверстий.

Для исключения разброса ширины реза при фрезеровании применяют специальные прижимные головки. При этом контролируют глубину врезания фрезы в заготовку и равномерность прижима заготовки к рабочему столу.

Металлизацию переходных отверстий осуществляют:

- пустотелыми заклепками;

- облуженными пустотелыми заклепками, содержащими припой с флюсом, которые вставляют в отверстие. При этом с помощью паяльника расплавляют припой;

- специальными пастами, которые разогревают в печах при температуре $(160 \pm 10) ^\circ\text{C}$.

Основными преимуществами механического способа являются высокая оперативность и простота реализации, а недостатками – низкая производительность и высокая стоимость оборудования.

3.3 Индивидуальное задание на изготовление печатных плат и методика его выполнения

Цель работы: практическое изучение технологии изготовления ПП на производстве, ознакомление с оборудованием, применяемым при производстве ПП, формирование навыков изготовления ПП.

Основные материалы: стеклотекстолит односторонний толщиной 1,5 мм; фольга толщиной 18 мкм.

Задание: изготовить одностороннюю ПП по заданной схеме.

Технологическая практика: схема ПП выдается каждому студенту преподавателем индивидуально.

Проектно-технологическая практика: схема ПП разрабатывается каждым студентом самостоятельно.

Алгоритм выполнения задания

Шаг 1. Подготовка проекта печатной платы

- 1) Проверьте проект ПП на технологические допуски.
- 2) Заполните заготовки до требуемого количества ПП, добавьте технологические отверстия.
- 3) Создайте необходимые фрезеровочные контуры.
- 4) Экпортируйте файла сверловки и гербер¹-файл слоев для создания фотошаблона.

¹ Gerber – формат файлов с расширением *.gbr для изготовления печатных плат.

Шаг 2. Изготовление фотошаблона

1) Создайте предварительный фотошаблон на специальной пленке при помощи фотоплоттера (рисунок 3.1).

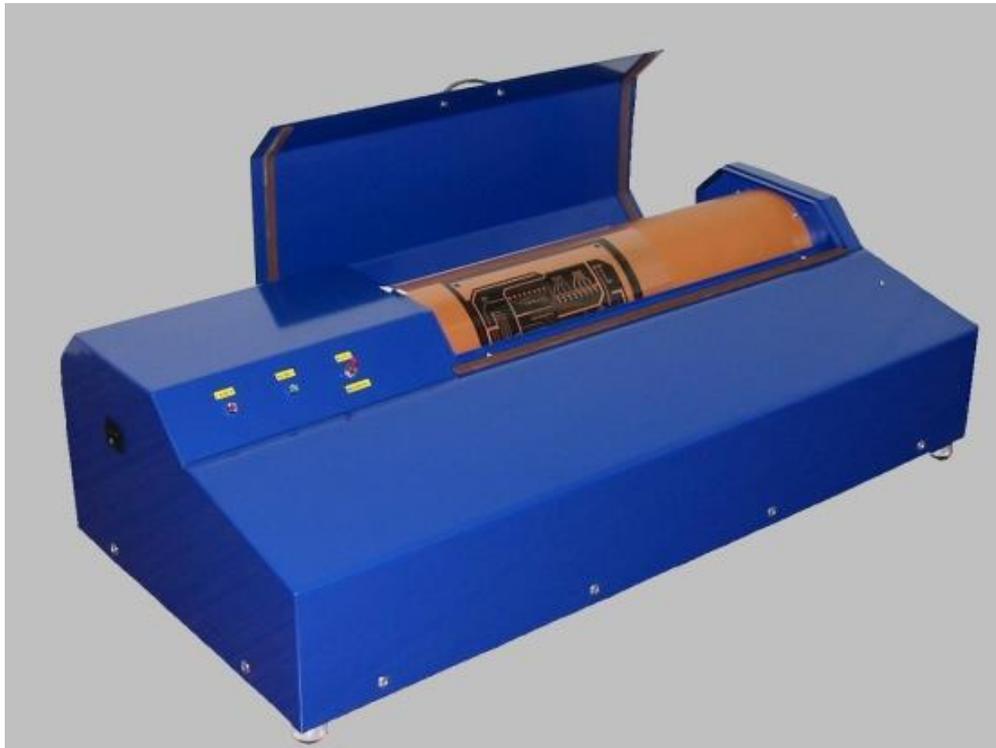


Рисунок 3.1 – Фотоплоттер FP 3000

2) Проявите фотошаблон в растворе проявителя (G101C) и закрепителя.
3) Просушите фотошаблон.

Шаг 3. Раскрой материала

1) Раскроите материал (стеклотекстолит) по заданному размеру с помощью роликовых ножниц.

2) Просверлите отверстия на станке с ЧПУ (рисунок 3.2) по заданной программе.

Для работы применяйте следующие расходные материалы:

- сверла твердосплавные диаметром 0,2 – 3,5 мм;
- фрезы твердосплавные диаметром 0,5 – 3,0 мм.



Рисунок 3.2 – Станок сверлильно-фрезерный с ЧПУ (двухшпindelный)
TIMAX

Шаг 4. Пробивка фотошаблона

1) Пробейте фотошаблон по технологическим отверстиям на станке с ЧПУ. Для удобства работы используйте лист МДФ с меламиновым покрытием белого цвета, толщиной 2,5 – 3,0 мм.

Шаг 5. Химическая и гальваническая металлизация

Основным назначением процесса металлизации ПП является получение токопроводящих участков (проводников, металлизированных отверстий, контактных площадок, концевых разъемов, ламелей и пр.), защита их от подтравливания на операции травления меди с пробельных мест и от окисления для обеспечения паяемости ПП.

Для получения металлических покрытий в производстве ПП применяют:

- химическую металлизацию;
- гальваническую металлизацию.

Химическое меднение – это окислительно-восстановительный автокаталитический процесс, в котором катализатором на начальном этапе является металлический палладий, а на последующем этапе – осажденные кристаллы меди, которые катализируют дальнейшее её выделение, в результате чего процесс протекает самопроизвольно.

Химическое меднение применяется в производстве ПП для получения тонкого (3 – 5 мкм) подслоя меди на стенках монтажных и переходных

отверстий, чтобы сделать их диэлектрические поверхности токопроводящими. В аддитивном методе для получения токопроводящих участков непосредственно на диэлектрике используют способ селективного толстослойного (порядка 35 мкм) химического меднения.

Дефекты при химической металлизации диэлектрических подложек по происхождению можно сгруппировать в четыре группы: удержание агрессивных растворов, выделение водорода, повторение дефектов микрорельефа, нестабильность ванн.

Преимущества химической металлизации: равномерная толщина слоя при сложной конфигурации обрабатываемого изделия; более плотный слой, чем при гальваническом осаждении; возможность осаждать металл на изоляционные материалы.

Гальваническая металлизация в процессе изготовления печатных плат осуществляется несколько раз:

- при предварительном гальваническом меднении – для защиты тонкого слоя химической меди от повреждения, улучшения адгезии и структуры осадка, а также для уменьшения количества стравливаемой меди (толщина слоя меди 5 – 7 мкм);

- при гальваническом меднении – для получения основного токопроводящего слоя меди в монтажных и переходных отверстиях, на проводниках и контактных площадках (толщина слоя 25 – 35 мкм);

- при гальваническом осаждении металлорезиста (защитного резиста на операции травления) на проводники, контактные площадки, в монтажные и переходные отверстия – для защиты на операции травления меди с пробельных мест;

- при гальваническом осаждении металлов и сплавов на концевые контакты печатной платы для повышения износостойкости, твердости, снижения переходного сопротивления и пр.

Гальваническое осаждение покрытий производится в ваннах с электролитом, в которые погружаются заготовки печатных плат.

Заготовки ПП, предварительно закрепляются в подвесках. Подвески фиксируются на катодной штанге, которая подключается к внешнему источнику постоянного тока. Аноды изготавливаются из осаждаемого металла или сплава, помещаются в чехлы для исключения попадания продуктов распада анода (шлама) на заготовки ПП и размещаются по обе стороны на одинаковом расстоянии от катода. Площадь анодов обычно в 1,5 – 2 раза больше площади заготовки ПП для улучшения равномерности осаждаемого покрытия. В качестве электролитов используются водные растворы солей осаждаемого металла, который содержится в виде положительно заряженных ионов.

Под действием напряжения происходит окисление атомов металла на анодах до ионов металла, ионы металла перемещаются в электролите по направлению к заготовкам ПП (катоде), восстанавливаются из нейтральных атомов и осаждаются на поверхности и в отверстиях заготовок ПП. С целью поддержания постоянной величины концентрации ионов металла, обеспечения постоянного обновления электролита в отверстиях, а также для получения качественного равномерного покрытия необходимо осуществлять возвратно-поступательное перемещение подвески с заготовками ПП.

Гальваническое покрытие должно быть сплошным (без пор, включений, разрывов, раковин); заданной конфигурации; пластичным, чтобы обеспечить устойчивость к перегибам, короблению ПП, воздействию ударов и вибраций. При этом элементы токопроводящего рисунка, сформированные гальваническими процессами, должны иметь ровные края, не иметь разрывов, темных пятен, вздутий, отслоений; неровности по краю не должны уменьшать их минимально допустимые размеры и расстояния между ними, так как это связано с электрическими параметрами ПП, такими как минимально допустимая плотность тока и напряжение (в противном случае может произойти перегрев проводников или пробой диэлектрика). Также гальваническое покрытие должно быть равномерным по толщине на поверхности и в отверстиях ПП, что связано с обеспечением заданных электрических характеристик (минимально допустимой плотности тока) и экономическими соображениями, поскольку для того, чтобы получить слой заданной толщины на стенках отверстий, необходимо осаждать больший по толщине слой металла или сплава на поверхность ПП, а это связано с лишними затратами электроэнергии и химикатов.

Равномерность гальванического покрытия зависит от следующих параметров:

- расстояния между анодом и катодом: чем больше расстояние, тем более равномерное покрытие на заготовках и в отверстиях ПП (но ниже производительность процесса);

- соотношения между площадью анода и катода (анод должен быть в 1,5 – 2 раза больше катода, чтобы уменьшить осаждение металла на острых кромках ПП: краях, углах и пр.);

- габаритов ПП: чем больше площадь ПП, тем больше неравномерность покрытий;

- плотности тока: чем выше плотность тока, тем больше неравномерность покрытия и наоборот;

- рассеивающей способности электролита, количественной характеристикой которой является отношение толщины покрытия в центре отверстия к толщине на поверхности;

- соотношения между диаметром отверстия и толщиной ПП;

- температуры электролита;
- объема электролита, проходящего через отверстия и пр.

Помимо перечисленных выше общих требований к гальваническим покрытиям (гальванической меди) предъявляется еще ряд требований:

- металлизация на поверхности и в отверстиях ПП должна быть сплошной;

- цвет осадка меди должен быть светло-розовый;

- относительное удлинение меди – не менее 6 %, так как пластичность является одним из основных критериев качества осаждаемого гальванического медного покрытия. Высокая пластичность осадка меди позволяет столбу металлизации в отверстиях выдержать без разрыва растягивающие усилия;

- предел прочности на разрыв – не менее 20 кг/мм²;

- удельное электрическое сопротивление – $1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м;

- толщина слоя меди в монтажных и переходных отверстиях составляет не менее 25 мкм;

- осадок меди должен иметь мелкокристаллическую структуру, так как она в значительной степени определяет структуру осаждаемого на медь металлорезиста и его защитные свойства на операции травления меди с пробельных мест;

- толщина меди в отверстиях должна быть не менее 75 – 80 % толщины меди на поверхности ПП.

Описание процесса химической и гальванической металлизации:

1 ванна: обезжиривание – промывка;

2 ванна: травление – промывка;

3 ванна: предварительная активация – промывка;

4 ванна: активация (обработка в растворах благородных металлов – палладий хлористый) – промывка;

5 ванна: химическое осаждение меди в течении 20 минут – промывка – гальваническое осаждение меди 50 минут (плотность тока 1 А/дм²) при температуре электролита 25 – 30 °С;

6 ванна: гальваническое меднение. Нарастивание металлорезиста на стенки диэлектрика в отверстиях до 35 мкм в течение 40 – 50 минут (барботаж²).

Последовательность выполнения задания:

1) Подготовьте поверхности заготовок посредством их зачистки механическим способом. Подготовка поверхности и отверстий заготовок ПП осуществляется с целью:

² **Барбота́ж** (от фр. barbotage — «перемешивание»), или барботирование, — это процесс пропускания газа или пара через слой жидкости с целью её перемешивания.

– удаления заусенцев, смолы и механических частиц из отверстий после сверления;

– получения равномерной шероховатости поверхности, т. е. придания ей структуры, обеспечивающей прочное и надежное сцепление (адгезию) с фоторезистом;

– активирования поверхности перед химическим меднением;

– удаления оксидов, масляных пятен, захватов пальцами, пыли, грязи, мелких царапин и пр.

2) Обрабатывайте заготовки в растворах травления.

3) Обезжирьте поверхности заготовок раствором с поверхностно-активными добавками марки ОП-7.

4) Активируйте стенки диэлектрика в отверстиях: для этого обработайте заготовки в растворе Sn^{2+} , затем в растворе PdCl_2 , что служит образованию активных центров на поверхности диэлектрика.

5) Осуществите осаждение ионов Cu^{2+} химическим путем из тартратного раствора, используемого для химического меднения (величина осаждения должна составлять 3 – 4 мм).

б) Обрабатывайте заготовки в гальваническом электролите, наращивание меди на стенках отверстий составляет 25 – 30 мкм в течение 50 мин. при плотности тока 1 А/дм².

После каждой операции осуществите каскадную промывку.

Шаг 6. Получение рисунка схемы

Фотоэкспонирование – это перенос рисунка с фотошаблона на заготовку платы. На заготовку печатной платы наносят светочувствительный слой (фоторезист). Основой фотоэкспонирования является использование фоторезиста.

Фоторезист – это светочувствительный материал, который в зависимости от облучения изменяет свои химические свойства.

Фотоэкспонирование имеет высокую разрешающую способность и позволяет получить проводники и зазоры между ними порядка 0,1 мм (3 – 5-й класс точности) с точностью ($\pm 0,03$) мм и выше.

Суть способа заключается в контактном копировании рисунка схемы с фотошаблона на заготовку печатной платы, покрытую светочувствительным слоем (фоторезистом).

Основные этапы фотохимического способа:

- на поверхность заготовки ПП наносится фоторезист – фотополимерный материал, чувствительный к УФ-излучению;

- устанавливается фотошаблон, реперные знаки (перекрестия) которого совмещаются с центрами фиксирующих (базовых) отверстий заготовки ПП.

Последовательность выполнения задания:

1) Подготовьте поверхности заготовок ПП механическим способом (машина зачистки щеточного типа).

2) Нанесите светочувствительную фотополимерную композицию (сухой пленочный фоторезист) на установке ламинирования (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Установка ламинирования

3) Обрежьте по контуру излишки фоторезиста.

4) Осуществите экспонирование – воздействуйте ультрафиолетом на заготовку фольгированного стеклотекстолита через фотошаблон при помощи установки экспонирования (рисунок 3.4):

– перенесите рисунок схемы на заготовку;

– засветите заготовку в течение 18 – 22 секунд (величина освещенности в зоне экспонирования должна составлять 3000 лк).



Рисунок 3.4 – Установка экспонирования

В качестве источника света применяют коротковолновые излучатели с большим содержанием ультрафиолетовых лучей. От времени экспонирования (засвечивания) фоторезиста зависит точность воспроизведения рисунка и стойкость защитного слоя к воздействию электролитов. При экспонировании необходимо обеспечить равномерное задубливание слоя на всю толщину.

Перед экспонированием на заготовку печатной платы с фоторезистом накладывается фотошаблон с позитивным или негативным рисунком схемы. После экспонирования выполняют проявление рисунка схем, которое заключается в удалении незатвердевшего фоторезиста заготовки печатной платы.

Для повышения химической стойкости фоторезиста проявленный рисунок схемы подвергают дополнительному задубливанию. Позитивные фоторезисты задубливают при повышенной температуре (60 °С) в течение часа, негативные фоторезисты задубливают в химических растворах. Дополнительное задубливание необходимо для того, чтобы повысить химическую стойкость фотослоя.

Фотохимический способ обеспечивает самую высокую разрешающую способность. Основным требованием к выполнению операции экспонирования является получение необходимой степени задубленности, полимеризации (для негативных фоторезистов) или степени деструкции (для позитивных фоторезистов), гарантирующей воспроизведение четкого изображения элементов рисунка схемы при проявлении.

Для обеспечения равномерного задубливания защитного слоя необходимо обеспечить:

- плотный и равномерный прижим фотошаблона к поверхности заготовки печатной платы при помощи технологии вакуумного закрепления для исключения попадания света под темные участки фотошаблона и получения размытого края (вуали) фоторезиста;

- согласование спектральных характеристик источника света и спектральной светочувствительности фоторезиста, чтобы максимальная интенсивность излучения на определенных длинах волн совпадала с областью максимальной чувствительности фоторезиста, так как это позволяет повысить производительность операции экспонирования за счет уменьшения экспозиции (экспозиция – минимальная энергия излучения на единицу поверхности слоя фоторезиста, необходимая для проработки фотослоя на полную глубину); максимум поглощения позитивных фоторезистов соответствует более длинным волнам по сравнению с негативными;

- равномерное распределение освещенности по поверхности фоторезиста, которое может быть в достаточной степени обеспечено применением коллиматоров; неравномерность освещенности приводит к появлению нерезкого контура (вуали) на элементах фотомаски;

- правильное определение времени экспонирования фоторезиста, которое определяет степень его стойкости при проявлении и точность воспроизведения изображения фотошаблона. После экспонирования производится выдержка 20 – 30 мин в темном месте для завершения фотополимеризации. Нарушения при выполнении операции экспонирования могут привести: к отслаиванию фоторезиста от заготовки печатной платы в процессе его проявления в результате недостаточной экспозиции, затруднению проявления и увеличению ширины экспонированных элементов рисунка по сравнению с фотошаблоном;

- проявление рисунка схемы на установке конвейерного типа, струйное распыление. Раствор соды, кальцинированной (1 %) при температуре 22 – 25 °С. Приготовление раствора: 1 г соды кальцинированной на 100 г воды.

5) Осуществите каскадную промывку заготовок в воде и их сушку.

б) Ретушируйте поверхности заготовок влагостойким маркером с целью проверки на целостность проводников и площадок. Диаметр иглы маркера 3 мм.

Шаг 7. Травление

Травление в производстве ПП – процесс химического разрушения металла (в основном меди) в результате действия жидких или газообразных травителей на участки поверхности заготовки, не защищенные защитной маской (травильным резистом). Травление представляет собой сложный окислительно-восстановительный процесс, который применяют для формирования проводящего рисунка ПП путем удаления меди с не защищенных травильным резистом участков. Это одна из основных операций изготовления ПП, так как на ней происходит формирование рисунка печатных элементов (проводников, контактных площадок и пр.), точность выполнения которых влияет на электрические характеристики ПП. Кроме того, брак на этой операции (растравливание проводников, уменьшение ширины за счет подтравливания проводников, площади поперечного сечения и пр.) является необратимым.

Одним из дефектов при травлении является боковое подтравливание проводников и контактных площадок.

Основными этапами процесса химического травления являются:

- подготовка поверхности для удаления остатков недопроявленного фоторезиста, жировых пятен, оксидных слоев для обеспечения равномерности травления меди;
- химическое травление, в котором главную роль играет травильный раствор как окислитель;
- промывка;
- осветление поверхности металлорезиста (при необходимости) в растворах на основе кислот или тиомочевины;
- удаление защитного слоя фоторезиста, трафаретной краски или металлорезиста. Способ удаления определяется типом травильного резиста: растворы соляной кислоты, перекись водорода, органические растворители с дополнительным механическим воздействием щетками.

Последовательность выполнения задания:

1) Проявленные заготовки плат загрузите в установку конвейерного типа струйного распыления (рисунок 3.5) и травите раствором соляной кислоты и аммония хлористого. Способ изготовления печатных плат – позитив, тентинг.

2) Удалите фоторезист с пробельных мест в 4%-ом растворе щелочи NaOH.

Приготовьте раствор: 4 г NaOH на 100 г воды.

3) Промойте и снимите остатки фоторезиста в 3%-ом растворе HCl.

Приготовьте раствор: 3 г HCl на 100 г воды.

4) Промойте в воде, просушите.

Состав раствора:

- CuCl_2 – 70 – 100 г/л,
- NH_4Cl – 100 – 150 г/л,
- HCl – 150 г/л,
- pH – 0,1 – 0,25,
- температура 30 – 43 °С;



Рисунок 3.5 – Установка кислотного травления конвейерного типа струйного распыления (трехкамерная)

Шаг 8. Нанесение защитной паяльной маски

Последовательность выполнения задания:

- 1) Подготовьте поверхность перед нанесением паяльной маски путем зачистки заготовки механическим способом.
- 2) Подготовьте маски для нанесения на заготовку: смешайте основу и отвердитель в заданных пропорциях (зависит от типа маски) механическим способом в течение 20 – 25 мин до разогрева.
- 3) Нанесите защитное покрытие при помощи установки нанесения жидкой паяльной маски (полуавтомат) (рисунок 3.6).
- 4) Осуществите послойную термическую сушку в конвекционном шкафу при температуре 80 °С (20 мин на каждый слой).



Рисунок 3.6 – Установка нанесения жидкой паяльной маски (полуавтоматическая)

5) Осуществите экспонирование (см. Шаг 6, п. 4) в течение 50 секунд при освещенности 3000 лк.

6) Проявите рисунок схемы на установке конвейерного типа посредством струйного распыления. Используйте раствор соды кальцинированной (1 %). (Приготовление раствора: 1 г соды кальцинированной на 100 г воды).

7) Промойте, просушите.

8) Осуществите термическое дублирование в конвекционном шкафу при температуре 150 °С в течение 55 – 60 мин.



Рисунок 3.7 – Сушильная камера ИТМ

Шаг 9. Нанесение маркировки

Нанесение текста на заготовку производится при помощи установки нанесения жидкой паяльной маски маркировочной краской.

Последовательность выполнения задания:

1) Подготовьте маркировочную краску для нанесения на заготовку: смешайте основу и отвердитель в заданных пропорциях (зависит от типа краски) механическим способом в течение 20 – 25 мин до разогрева.

2) Нанесите маркировочную краску с помощью шелкографа (полуавтомат).

3) Осуществите послойную термическую сушку в конвекционном шкафу при температуре 80 °С (20 мин на каждый слой).

4) Осуществите экспонирование (см. Шаг 3, п. 4) в течение 50 секунд при освещенности 3000 лк.

5) Проявите рисунок схемы на установке конвейерного типа посредством струйного распыления. Используйте раствор соды кальцинированной (1 %). (Приготовление раствора: 1 г соды кальцинированной на 100 г воды).

6) Промойте, просушите.

7) Осуществите термическое дубление в конвекционном шкафу при температуре 150 °С в течение 55 – 60 мин.

Шаг 10. Нанесение защитного покрытия (оплавления)

Назначение операции оплавления: получение плотного мелкодисперсного покрытия сплавом «олово–свинец» (ОС) вместо пористого гальванического покрытия «олово–свинец», что позволяет уменьшить окисление и обеспечить паяемость печатной платы в течение длительного времени; защита боковых стенок проводников от коррозии и электрокоррозии; повышение коррозионной стойкости покрытия; повышение способности к пайке и увеличение срока сохранения паяемости ПП; устранение «навесов» металла по кромкам проводников; исключение из технологического процесса операции горячего облуживания.

Последовательность выполнения задания:

1) Подготовьте поверхность: обезжирьте её в 10%-ом растворе соляной кислоты, затем промойте. (Приготовление раствора: 10 г соляной кислоты на 100 г воды).

2) Нанесите флюс ФГПЛ горячим методом (опускание) при помощи установки PENTA HASL (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Установка горячего лужения PENTA

3) Погрузите плату в раствор ПОС-61 на установке горячего лужения. (Температура раствора 280 °С, время погружения 1 – 2 сек, давление воздуха 7 атм).

4) Промойте в горячей воде, просушите.

Шаг 11. Обрезка плат по контуру

Обрежьте ПП по контуру на фрезерном станке с ЧПУ по заданной программе.

Шаг 12. Контроль электрических параметров

Электрический контроль не смонтированных печатных плат – это важный производственный этап, предназначенный для проверки целостности цепей на отсутствие коротких замыканий. Список цепей создается с использованием данных Gerber-формата.

Установка безадаптерного электротестирования FLYER – 4050 (рисунок 3.9) – это высокоточный тестер печатных плат перед монтажом. Данный тестер снабжен четырьмя независимыми зондами (2 зонда на передней и 2 зонда на задней рабочей поверхности), предназначенными для тестирования целостности проводников или изоляции двусторонних или многослойных ПП. Это оборудование предназначено для тестирования небольших партий, различной номенклатуры, а также скоростного тестирования ПП.



Рисунок 3.9 – Установка безадаптерного электротестирования FLYER – 4050

В основу принципа работы устройства положен алгоритм сравнения фактических значений в зависимости от положения, высокая механическая точность работы машины достигается при помощи режима программной компенсации. Процесс тестирования ПП разделяется на две части: сначала тестирование на наличие обрывов цепей, а затем тестирование на наличие замыканий цепи. Во время тестирования цепи на наличие обрывов, один зонд используется в качестве приемника сигнала.

В случае если цепь разомкнута, сигнал по ней не приходит и не поступает на зонд-приемник. При этом система считает цепь разомкнутой и сохраняет номер цепи в файле журнала.

Тест цепи на наличие замыканий подразделяется на метод сопротивления и емкостный метод:

- метод сопротивления заключается в увеличении напряжения в обеих измеряемых цепях. Если в цепи есть незначительное замыкание или цепь замкнута, напряжение снижается или становится равным нулю, а система считает цепь замкнутой.

- емкостный метод заключается в измерении емкости другого участка цепи заземления и сохранении измеренного значения. Во время измерения следующей платы проводится простое сравнение значений. В этом случае скорость тестирования значительно выше, чем тестирование методом сопротивления.

Для достижения высокой гибкости и скорости тестирования четыре зонда можно объединить в группы по два зонда по принципу близости расположения, что эквивалентно двум зондам мультиметра.

Алгоритм выполнения задания:

- 1) Включите установку безадаптерного электротестирования.
- 2) Запустите ПО.
- 3) Закрепите ПП по направляющей.
- 4) Установите контрольные точки по оси X и по оси Y.
- 5) Проверьте целостность цепей.

Контрольные вопросы

1. Какие методы изготовления ПП вы знаете?
2. Какие материалы применяются для изготовления ПП?
3. Какое оборудование необходимо для производства ПП?
4. В чем состоит отличие химической металлизации от гальванической?
5. Сколько этапов включает в себя операция металлизации отверстий?
6. Что такое фотоэкспонирование?
7. Какие существуют режимы экспонирования?
8. Какой раствор применяется для проявления фоторезиста?
9. Что такое «фоторезист»?
10. Для чего нужен процесс травления?
11. Какие виды травильных растворов вы знаете?
12. Какие существуют режимы травления?
13. Какие растворы применяются для снятия фоторезиста с заготовки ПП?
14. Какие существуют способы нанесения защитной паяльной маски на ПП?
15. В чем заключается принцип работы установки нанесения защитной паяльной маски?
16. Какие существуют режимы отверждения и послойной сушки защитной паяльной маски?
17. Какие типы защитных покрытий вам известны?
18. В чем предназначение защитных покрытий?
19. В чем заключается принцип нанесения ПОС-61?
20. Какие типы сверл применяются для фрезеровки ПП на станке с ЧПУ?
21. Для чего нужен контроль электрических параметров?
22. Какие методы тестирования используются при проверке цепи на наличие замыканий?

Список рекомендуемой литературы

- 1 Медведев А. Технология производства печатных плат / А. Медведев. – М. : Техносфера, 2005. – 360 с.
- 2 Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. – М. : Техносфера, 2005. – 304 с.
- 3 Пирогова Е. В. Проектирование и технология печатных плат : уч. – М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
- 4 Городов В. А. Электрический контроль печатных плат и узлов // Электроника: НТБ.2004. № 7.
- 5 ГОСТ 10317–79. Платы печатные. Основные размеры. – Взамен ГОСТ 10317–72 : введ. 1980–01–01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 3 с.
- 6 ГОСТ 2.417–91. Платы печатные. Правила выполнения чертежей. – Взамен ГОСТ 2.417–78 : введ. 1991–12–12. – М. : Стандартиформ, 2011. – 5 с.
- 7 ГОСТ 20406–75. Платы печатные. Термины и определения. – Введ. 1976–01–01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1975. – 11 с.
- 8 ГОСТ 23663–79. Платы печатные. Механическая зачистка поверхности. Требования к типовому технологическому процессу. – Введ. 1979–05–28. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 6 с.
- 9 ГОСТ 23664–79. Платы печатные. Получение монтажных и подлежащих металлизации отверстий. Требования к типовым технологическим процессам. – Введ. 1979–05–28. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 13 с.
- 10 ГОСТ 23665–79. Платы печатные. Обработка контура. Требования к типовым технологическим процессам. – Введ. 1979–05–28. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 12 с.
- 11 ГОСТ 23751–86. Платы печатные. Основные параметры конструкции. – Взамен ГОСТ 23751–79 : введ. 1989–04–01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 7 с.
- 12 ГОСТ 23752–79. Платы печатные. Общие технические условия. – Введ. 1979–07–17. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 34 с.
- 13 ГОСТ 23752.1–92. Платы печатные. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ 23752–79 в части методов испытаний : введ. 1993–01–01. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1992. – 58 с.

14 ГОСТ 23770–79. Платы печатные. Типовые технологические процессы химической и гальванической металлизации. – Введ. 1981–07–01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1979. – 42 с.

15 ГОСТ 27716–88. Фотошаблоны печатных плат. Общие технические условия. – Введ. 1989–07–01. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1988. – 14 с.