

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет» (ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи



Технологический процесс изготовления МПП

Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине

«Технология производства электронных средств»
для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.03
«Конструирование и технология электронных средств»

Курск 2016

УДК 621.049

Составитель В.В.Умрихин

Рецензент

Кандидат физико-математических наук, доцент *А. В. Кочура*

Технологический процесс изготовления МПП: методические указания к практическому занятию по дисциплине «Технология производства электронных средств»/ Юго-Зап. гос. ун-т; сост. В.В.Умрихин. Курск, 2016. 29 с.: ил. 3. Библиогр.: с. 29.

Содержатся методические рекомендации по оформлению маршрутных карт технологических процессов.

Предназначены для студентов направления подготовки бакалавров 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать Формат 60 × 84 1/16.
Усл. печ. л. Уч.-изд. л. Тираж экз. Заказ Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

1. Цель занятия

Изучить характеристики многослойных печатных плат (МПП).

Изучить методы формирования рисунка проводников на слоях

Изучить методы формирования межслойных проводников в МПП.

Изучить технологические операции и процессы изготовления МПП.

Ознакомиться с методами контроля качества МПП.

2. Теоретическая часть

2.1. Характеристики МПП

С расширением функциональных возможностей и увеличением сложности электронных устройств, создаваемых на основе микросхем высокого уровня интеграции электронных схем, происходит специализация и интеграция характеристик многослойных печатных плат этих устройств.

Многослойные печатные платы стали многофункциональными интегральными схемами связей, с помощью которых обеспечивается:

- система печатных связей для объединения электронных компонентов в конкретную электрическую схему;
- размещение электронных компонентов;
- монтаж электронных компонентов путем соединения их со схемой связей;
- монтаж разъемных соединительных компонентов;
- монтаж дискретных связей (проволочных, кабельных, шлейфовых);
- передача по связям сигналов с сохранением их формы; подавление перекрестных наводок между линиями связи;

- согласование связей печатными согласующими резисторами; распределение тока питания между электронными компонентами;

- подавление помех в цепях земли и питания (фильтрация);

- теплопередача для охлаждения микросхем.

Эти функции осуществляются реализацией системы взаимозависимых монтажных, трассировочных, структурных, конструктивных, электрических, конструктивно-технологических, эксплуатационных, надежностных и экономических характеристик.

Основные монтажные характеристики печатных плат:

- количество монтируемых микросхем, разъемных соединителей, согласующих резисторов, конденсаторов и т.д.;

- количество объединяемых выводов электронных и электрических компонентов;

- площадь посадочного места микросхем;

- шаг контактных площадок для присоединения выводов микросхем;

- вид монтажа выводов компонентов (поверхностный монтаж, монтаж в отверстия);

- размещение контактных площадок для монтажа ремонтных проводников;

- размещение и форма специальных реперных знаков для автоматизированного совмещения выводов микросхем и контактных площадок;

- устойчивость контактных площадок к многократным панкам;

- размещение компонентов на одной или обеих сторонах.

Основные трассировочные характеристики МПП:

- количество линий связи;

- количество каналов для размещения сигнальных проводников в слое;

- количество каналов в центральном сечении платы;

- плотность проводников в сигнальном слое: количество слоев сигнальных проводников;

- количество внутренних межслойных переходов в пределах пары сигнальных слоев;
- топология размещения внутренних переходов и проводников в сигнальном слое;
- количество внутренних переходных отверстий в плате;
- плотность внутренних межслойных переходов;
- топология посадочных мест микросхем, соединителей на монтажном слое;
- максимально возможная длина сигнальных проводников в плате;
- длина сигнальных проводников в плате;
- плотность сигнальных связей в плате;
- количество сквозных отверстий в плате;
- плотность сквозных переходов в плате.

Основные конструкционные характеристики МПП:

- размер рабочего поля платы;
- толщина платы;
- количество слоев проводников;
- количество слоев сигнальных проводников;
- количество экранных слоев; количество слоев земли и питания; величина взаимного рассовмещения слоев;
- шаг сквозных переходных отверстий;
- шаг внутренних переходных отверстий;
- форма и размеры внутренних межслойных переходов;
- размер сквозных переходных отверстий;
- размеры проводников и зазоров в сигнальных слоях;
- форма и размеры освобождений в экранных слоях;
- толщина проводников слоев земли и питания;
- топология проводников и межслойных переходов в сигнальных слоях;
- топология проводников и контактных площадок наружных слоев: материал проводников;
- материал изоляции;
- толщина изоляции между слоями;
- толщина изоляции между проводниками внутренних слоев и сквозными межслойными переходами;

- форма контактных площадок для поверхностного монтажа компонентов;
- форма и размер контактных площадок в сигнальных слоях для сквозных межслойных переходов;
- форма и размер контактных площадок внутренних переходов;
- форма контактных площадок в слоях земли и питания для сквозных переходов;
- отношение толщины плата к диаметру сквозного отверстия;
- толщина полоскового пакета с линиями связи.
- толщина изоляции между соседними шинами земли и питания; индекс сложности; уровень сложности.

Основные конструкционные характеристики МПП:

Конкретные значения характеристик печатных плат определяются требованиями к устройствам и технологическим уровнем изготовления.

Для примера можно сравнить конструкционные характеристики высокоскоростных плат размером 400x450 мм для монтажа больших интегральных схем и размером 460x540 мм для монтажа сверхбольших интегральных схем:

Размер МПП	мм ²	400x450	460x540
Толщина МПП	мм	2.5	4.0
Число слоев	шт	12	20
Ширина сигнальных проводников	мм	0.25	0.1
Шаг сквозных отверстий	мм	2.5	2.5
Число каналов в шаге сквозных отверстий	шт	1	3
Диаметр освобождения в экранах	мм	2.3	1.6
Индекс сложности		1.6	24
Уровень сложности	см ² /с	0.2x1012	1.2x1012

Основные электрические характеристики МПП:

- номинальная величина волнового сопротивления линий связи;
- диапазон разброса величины волнового сопротивления линий связи;

- величина коэффициента связи соседних линий;
- величина диэлектрической постоянной изоляции;
- скорость распространения сигналов в линиях связи;
- частотная полоса пропускания линий связи;
- погонное сопротивление связей на постоянном токе;
- погонная индуктивность связей;
- индуктивность шин земли и питания;
- величина сопротивления шин земли и питания;
- величина емкости между шинами земли и питания;
- величина постоянного тока питания, распределяемого шинами питания и земли;
- равномерность распределения напряжения питания по полю платы;
- сопротивление изоляции между линиями связи и шинами земли питания;
- сопротивление изоляции между шинами земли и питания;
- сопротивление цилиндрического проводника металлизированного сквозного отверстия;
- сопротивление цилиндрического проводника металлизированного внутреннего переходного отверстия;
- индуктивность соединительных проводников между сквозными металлизированными переходами и контактными площадками для пайки выводов микросхем.

Движущими мотивами увеличения сложности печатных плат, используемых для производства электронной техники, можно считать:

- увеличение функциональной сложности и функциональной завершенности;
- увеличение сложности и разнообразия форм электрических монтируемых на плате.

При этом наблюдается стремление к минимизации габаритов печатных плат за счет:

- повышения плотности монтажа компонентов;
- размещения компонентов на обеих сторонах печатной платы;

- уменьшения физической и электрической длины линий связи.

Во многих случаях применения имеется потребность в повышении быстродействия линий связи. Это достигается, прежде всего, уменьшением их длины, уменьшением искажения формы передаваемых сигналов и увеличением скорости распространения сигналов. Для этих целей используется материал с малой диэлектрической постоянной и увеличивается плотность проводников и межслойных переходов.

Плотность монтажа микросхем на печатных платах определяется соотношением площадей посадочного места на плате и площади кристалла. Площадь посадочного места зависит от габаритов микросхемы, количества и геометрии выводов, а также геометрии проводников на поверхности, соединяющих выводы с межслойными переходами.

Плотность связей для корпусированных микросхем оценивается в $60-100 \text{ см/см}^2$, а для бескорпусных микросхем в $300-500 \text{ см/см}^2$.

Монтаж и коммутацию связями микросхем в корпусах со средним числом выводов и шагом выводов 0.625 мм могут обеспечивать высокоплотные печатные платы с 6-8 слоями сигнальных проводников, а для монтажа бескорпусных БИС и СБИС с шагом выводов $0,2-0,5 \text{ мм}$ требуются суперплотные многослойные платы, которые могут быть созданы при реализации предельных возможностей техники печатного монтажа с шириной проводников до 50 мкм . Повышение плотности печатных плат следует рассматривать также в направлении повышения плотности:

- экранных слоев;
- наружных монтажных слоев;
- межслойных переходов в двухсторонних сигнальных слоях;
- межслойных переходов к контактным площадкам для присоединения выводов микросхем;
- контактных площадок для присоединения выводов микросхем.

Для получения в многослойных печатных платах линий с заданным сопротивлением структура платы должна быть такой, что между слоями проводников располагаются экранные слои.

Последние представляют собой или решетки, т.е. сплошные слои металла с освобождениями для межслойных переходов или сетки проводников. Чередование слоев земли и питания и расположение их рядом дает возможность получения высокочастотной емкости фильтра. Для увеличения величины этой емкости уменьшается расстояние между слоями до предельно возможного. Полезным в этом случае является диэлектрический материал с повышенной диэлектрической постоянной.

Для увеличения плотности монтажа в структуру МПП целесообразно вводить двухсторонние слои с сигнальными слоями и с межслойными металлизированными переходами. Это дает также возможность:

- уменьшить толщину МПП за счет исключения экранных слоев между сигнальными проводниками, образующими ортогональную пару;

- уменьшить требуемое число сигнальных слоев в 1.7-2 раза. Так при 6 сигнальных слоях (три двухсторонних слоя с переходами) МПП позволяет эффективно осуществить трассирование связей, которое без внутренних переходов может быть реализовано минимум на 10 сигнальных слоях;

- уменьшить количество и величину электрических неоднородностей вдоль линии связи, образуемой ортогональными участками, расположенными на обеих сторонах только одной двусторонней платы за счет уменьшения разброса величины волнового сопротивления участков полосковых линий и уменьшения длины переходов;

- уменьшить количество сквозных отверстий, в результате чего увеличивается плотность и сводится до минимума количество торцевых контактов между контактными площадками внутренних слоев и металлизацией стенок отверстий;

- использовать унифицированные фотошаблоны экранных слоев, слоев питания и общих частей сигнальных слоев при различной трассировке сигнальных проводников.

Кроме этого двухсторонние слои позволяют несколько уменьшить величину изменения линейных размеров слоев за счет армирующего действия проводников, ортогонально расположенных с обеих сторон диэлектрика.

2.2. Создание рисунка проводников на слоях МПП.

Рассмотрим две технологии получения проводящего рисунка слоев многослойных печатных плат с применением пленочного фоторезиста:

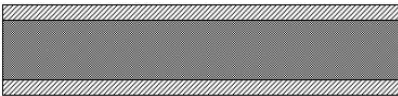
- на основе субтрактивных методов;
- на основе полностью аддитивного формирования.

2.2.1. Субтрактивная технология получения рисунка слоев МПП

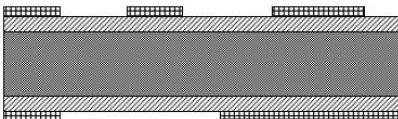
По субтрактивной технологии рисунок печатных плат получают травлением медной фольги по защитному изображению в пленочном фоторезисте или по металлорезисту, осажденному на поверхность гальванически сформированных проводников в рельефе пленочного фоторезиста на фольгированных диэлектриках.

Первый вариант (рис.2.1).

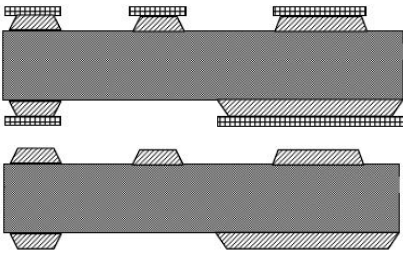
Получение проводящего рисунка травлением медной фольги на поверхности диэлектрика по защитному изображению в пленочном фоторезисте при изготовлении односторонних и двухсторонних слоев многослойных плат (МПП).



Заготовки фольгированного диэлектрика



Получение защитного рисунка в СПФ (наслаивание, экспонирование, проявление)



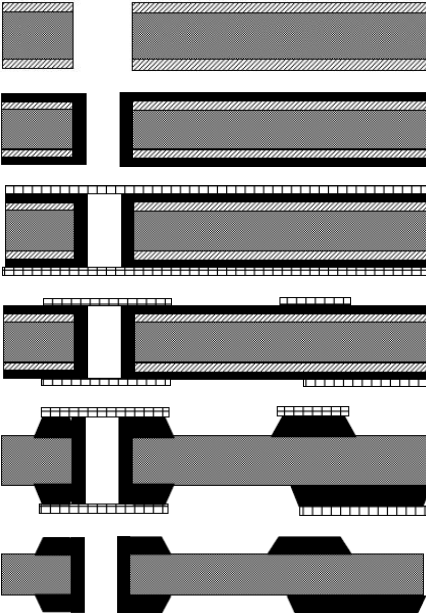
Травление медной фольги в окнах рисунка из СПФ

Удаление защитного рисунка из СПФ – слой готов

Рис. 2.1. Изготовление слоев МПП субтрактивным методом с использованием сухого пленочного фоторезиста (СПФ)

Второй вариант (рис.2.2).

Получение проводящего рисунка двусторонних слоев МПП и слоев с межслойными переходами, т.е. с металлизированными отверстиями, путем травления медной фольги с гальваническим осажденным слоем меди по защитному изображению рисунка схемы и с защитными завесками над металлизированными отверстиями в пленочном фоторезисте (тентинг-метод).



Заготовки фольгированного диэлектрика с просверленными отверстиями

Химико-электрохимическая металлизация всей поверхности и стенок отверстий

Наслаивание пленочного фотрезиста

Получение защитного рисунка в СПФ (экспонирование, проявление)

Травление медной фольги в окнах СПФ

Удаление защитного рисунка СПФ – слой готов

Рис.2.2. Изготовление слоев МПП тентинг-методом с использованием СПФ

В этом процессе в заготовке фольгированного диэлектрика сверлятся отверстия и после химической металлизации стенок отверстий, производят электролитическое доразращивание меди в отверстиях и на поверхности фольгированного диэлектрика до требуемой толщины.

После этого наслаивается фоторезист для получения защитного изображения схемы и защитных завесок над металлизированными отверстиями.

По полученному защитному изображению в пленочном фоторезисте производят травление меди с пробельным мест схемы. Образованные фоторезистом завески защищают металлизированные отверстия от воздействия травящего раствора в процессе травления.

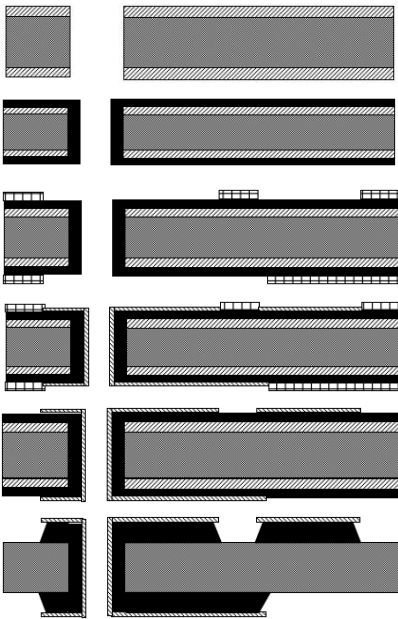
В этом процессе используются свойства пленочного фоторезиста наслаиваться на сверленные подложки без попадания в отверстия и образовывать защитные завески над металлизированными отверстиями.

Третий вариант (рис.2.3).

Применяется, в основном, при получении верхних слоев МПП путем вытравливания проводящего рисунка по металлорезисту, осажденному на поверхность медных проводников, сформированных в рельефе пленочного фоторезиста, и на стенки металлизированных отверстий.

Как и во втором варианте, пленочный фоторезист наслаивается на заготовки фольгированного диэлектрика, прошедшие предварительно операции сверления отверстий, металлизации медью стенок отверстий и всей поверхности фольги. В этом процессе защитный рельеф получают на местах поверхности металлизированной фольги, подлежащей последующему удалению травлением.

Проводящий рисунок формируется последовательным осаждением меди и металлорезиста по рисунку освобождений в рельефе пленочного фоторезиста и на поверхность стенок отверстий. После удаления рельефа пленочного фоторезиста незащищенные слои меди вытравливаются.



Заготовки фольгированного диэлектрика с просверленными отверстиями

Химическая и предварительная электрохимическая металлизация всей поверхности и стенок отверстий

Получение защитного рисунка в СПФ (наслаивание, экспонирование, проявление)

Электрохимическое осаждение сплава олово-свинец в окна СПФ

Удаление защитного рисунка СПФ

Травление медной фольги в окна рисунка из металлорезиста

Рис. 3.3. Изготовление слоев МПП субтрактивным позитивным методом с использованием металлорезиста олово-свинец

Профиль поперечного сечения проводников, сформированный травлением по защитному изображению в фоторезисте, имеет форму трапеции, расположенной большим основанием на поверхности диэлектрика.

Анализ замеров ширины линий после травления медной фольги по защитному изображению в пленочном фоторезисте показал, что интервал разброса значений замеров увеличивается с увеличением толщины фольги. Например, при травлении фольги толщиной 20 мкм интервал разброса ширины порядка 30 мкм, а при травлении фольги толщиной 50 мкм разброс составляет 60 мкм. Искажения ширины медных проводников по отношению к размерам ширины изображений последних в фоторезисте и на фотошаблоне - негативе смещаются в сторону минусовых значений, особенно для больших толщин фольги (35 мкм, 50 мкм). Экранные слои МПП изготавливаются на фольгированных диэлектриках с толщиной фольги 20 мкм и 35 мкм трав-

лением фольги по защитному изображению в пленочном фоторезисте.

Двухсторонние логические слои с переходами изготавливаются по тентинговому процессу: в заготовках фольгированного диэлектрика толщиной 0,18 мм или 0,23 мм с толщиной фольги 20 мкм сверлятся отверстия диаметром 0,5 мм. После химической металлизации стенок отверстий производится электролитическое доразращивание меди в отверстиях и по поверхности фольги на толщину 30 мкм.

Разброс толщины электролитически осажденного слоя по поверхности фольги в заготовках размером 500x500 мм составляет 17-20 мкм. Максимальная суммарная толщина фольги с металлизированным слоем по краям заготовки составляет 65-70 мкм.

Подготовка поверхностей заготовок под наслаивание пленочного фоторезиста с целью удаления заусенцев сверленных отверстий и наростов гальванической меди производится механической зачисткой абразивными кругами с последующей химической обработкой в растворе персульфата аммония или механической зачисткой водной пемзой суспензией.

Такие варианты подготовки обеспечивают необходимую адгезию пленочного фоторезиста к медной поверхности подложки и химическую стойкость защитных изображений на операциях проявления и травления. Кроме того, механическая зачистка пемзой дает матовую однородную поверхность с низким отражением света, обеспечивающая более однородное экспонирование фоторезиста.

Для получения изображений используется пленочный фоторезист СПФ-2 толщиной 60 мкм. Толщина фоторезиста диктуется требованиями целостности защитных завесок над отверстиями на операциях проявления и травления, проводимых разбрызгиванием растворов под давлением 1,6-2 атм. и более. Фоторезисты толщиной менее 45 - 50 мкм на этих операциях над отверстиями разрушаются. Так же, для обеспечения надежного «тентинга», диаметр контактной площадки должен быть в 1,4 раза больше диаметра отверстия. Минимальный поясok изобра-

жения контактной площадки (ширина между краем контактной площадки и отверстием) должен быть не менее 0,5 мм для СПФ Ристон I и 0,7 мм для СПФ-2.

Травление по защитному рисунку проводится в струйной конвейерной установке травления типа Хемкат-568 в медно-хлоридном кислом растворе при скорости травления 35-40 мкм/мин. Время травления определяется максимальной суммарной толщиной фольги с гальванически осажденным на поверхности фольги медным слоем. При травлении медных слоев толщиной 70 мкм заужение проводника за счет бокового подтравливания по отношению к размерам на фотошаблоне составляет 50 мкм.

Разброс значений ширины проводников составляет примерно $\pm 15-50$ мкм при серийном изготовлении плат в заводских условиях.

Такая точность изготовления проводников (± 50 мкм) заложена в конструкторскую документацию на платы. Следовательно, при этой технологии получения печатных элементов в готовых слоях или платах заданной шириной, необходимо в размеры изображений на фотошаблоне вводить величину заужения, т.е. к номинальному значению ширины проводника прибавлять величину заужения. Например, если ширина проводника и зазора в готовом слое должны быть 250 мкм, то на фотошаблоне изображение ширины проводника должно быть 300 мкм, а зазора 200 мкм.

Минимальная устойчиво воспроизводимая ширина зазора в СПФ-2 толщиной 60 мкм - 180-200 мкм.

Из вышеизложенного следует, что такая субтрактивная технология имеет ограничения по разрешению, т.е. минимально воспроизводимая ширина проводников и зазоров порядка 200-250 мкм (при толщине проводников 50 мкм).

Для получения логических слоев с металлизированными переходами с более плотным печатным монтажом с шириной проводников 200 мкм и менее, например, 150 мкм и 125 мкм используется технологический процесс по субтрактивной технологии травлением по металлорезисту (3-й вариант субтрактивной

технологии) с использованием диэлектрика СПТА-5 с тонкомерной фольгой толщиной 5-9 мкм.

В этом случае предварительная металлизация стенок отверстий и поверхности фольги заготовок диэлектрика производится на минимально возможную толщину 8-10 мкм.

Условия получения изображения в пленочном фоторезисте отличны от условий процесса «тентинга». А именно, для получения изображений используются пленочные фоторезисты с более высоким разрешением и гальваностойкостью, например, СПФ Ристон I.

Подготовка поверхности подложки под наслаивание пленочного фоторезиста из-за небольшой толщины фольги и металлизированного слоя и во избежание их повреждения, проводится химическим способом, обезжириванием кашицей венской извести с последующей обработкой в 10% растворе соляной кислоты. Фоторезист наслаивается по специально подобранному режиму: при низкой скорости наслаивания 0,5 м/мин, низкой температуре нагрева валков $115^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, на подогретые до температуры 60-80 $^{\circ}\text{C}$ заготовки. При экспонировании изображения используются установки с точечным источником света, обеспечивающие высококоллимированный интенсивный световой поток на рабочую поверхность копировальной рамы, с автоматическим дозированием и контролем световой энергии.

Фотошаблоны-позитивы имеют резкость края изображения 3-4 мкм вместо 7-8 мкм у фотошаблонов, применяемых при получении изображений с разрешением 200 - 250 мкм.

Проявление изображений проводится в установках проявления - процессорах в стабилизированном трихлорэтаноле.

Для удаления следов органики с медной поверхности подложки в каналах освобождений в рельефе пленочного фоторезиста проводится обработка в окислителе - в 20% растворе серной кислоты в течение 2-х минут с последующей промывкой в воде и калориферной сушкой в конвейерной струйной, после чего для повышения гальваностойкости защитного изображения проводится световое дублирование в светокопировальных рамах по режимам экспонирования.

Проводящий рисунок формируется в рельефе пленочного фоторезиста последовательным гальваническим осаждением меди на толщину 40-50 мкм и никеля на толщину 3-5 мкм или вместо никеля ПОС-61 толщиной 9 мкм.

После удаления фоторезиста производится травление медной фольги с металлизированным слоем суммарной толщиной 15 мкм с пробельных мест схемы. Для этого применяется травильная установка типа Хемкат-547 с медно-аммиачным травильным раствором.

В варианте использования металлорезиста ПОС-61 последний удаляется в травильном растворе Композит 603 в струйной конвейерной установке Zinn-Stripper фирмы Шмид.

При анализе шлифов, заужение проводников по металлорезисту никелю у оснований составляет в среднем 30 мкм, а в узком сечении в среднем до 37 мкм; в случае травления по сплаву ПОС-61 у оснований составляет в среднем порядка 16 мкм, а в узком сечении - в среднем 28 мкм.

При применении в качестве металлорезиста никеля сложность процесса в том, что слой никеля остается на поверхности проводника и несколько шире его медной части. В этом случае заужение медного проводника нельзя учесть в размерах на фотошаблоне по следующей причине. При увеличении ширины изображения проводника на фотошаблонах будет увеличиваться ширина проводников по никелевому слою и уменьшаться ширина зазора между проводниками в готовых слоях плат.

Поэтому применение металлорезиста сплава олово-свинец с последующим его удалением является более технологичным процессом, чем применение металлорезиста никеля.

Из изложенного выше можно сделать вывод: изготовление слоев по субтрактивной технологии с применением диэлектриков с тонкой медной фольгой толщиной 5-9 мкм обеспечивает получение проводящего рисунка с минимальной шириной проводников и зазоров между ними порядка 140-150 мкм.

2.3 Технология формирования проводящего рисунка слоев МПП методом ПАФОС

Для изготовления высокоплотных плат с шириной проводников и зазоров 100 - 125 мкм в слоях МПП используется метод ПАФОС. Это полностью аддитивный электрохимический метод, по которому проводники и изоляция между ними (диэлектрик) формируются аддитивно, т.е. гальваническим осаждением проводников и формированием изоляции прессованием только в необходимых местах.

Метод ПАФОС, как аддитивный метод, принципиально отличается от субтрактивного тем, что металл проводников наносится, а не вытравливается.

По методу ПАФОС проводящий рисунок формируется гальваническим осаждением тонкого слоя никеля толщиной 3 мкм и меди толщиной 40-50 мкм по рисунку освобождений в рельефе пленочного фоторезиста, полученного на временных «носителях» - листах из нержавеющей стали, поверхность которых предварительно покрывается гальванически осажденной медной шиной толщиной 2-20 мкм. В защитном рельефе пленочного фоторезиста производится также нанесение адгезионных слоев на верхнюю поверхность сформированных проводников. После этого пленочный фоторезист удаляется, и проводящий рисунок на всю толщину впрессовывается в препрег или другой диэлектрик. Прессованный слой вместе с припрессованной медной шиной механически отделяется от поверхности носителей.

В случае слоев без межслойных переходов медная шина стравливается.

При изготовлении двухсторонних слоев с межслойными переходами перед травлением тонкой медной шины проводятся операции получения межслойных переходов металлизацией отверстий с контактными площадками, после чего медные шины стравливаются.

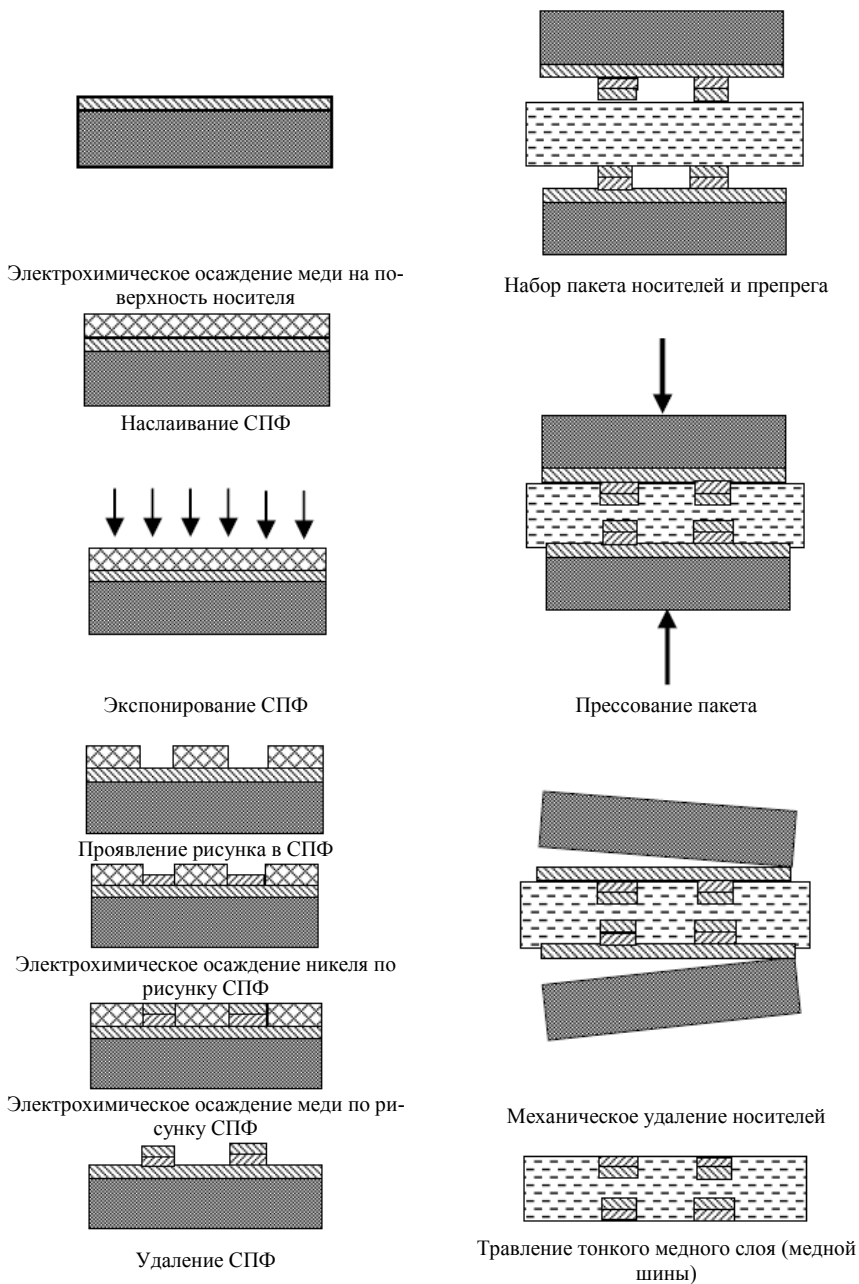


Рис. 3.4. Изготовление слоев МПП методом ПАФОС

Проводящий рисунок, утопленный в стеклоткань и сверху защищенный слоем никеля, при травлении медной шины не подвергается воздействию травильного раствора. Поэтому форма, размеры и точность проводящего рисунка определяются формой и размерами освобождений в рельефе пленочного фоторезиста, т.е. процессами фотохимии.

Лучшее качество подготовки поверхности медной шины на «носителях» обеспечивается зачисткой водной суспензией пемзы. Однако, механическая зачистка не всегда применима, т.к. иногда вызывает разрушение медной шины, особенно на «носителях» больших размеров, например, 500x600 мм.

Поэтому обычно применяется химическая подготовка обработкой в растворе персульфата аммония на струйных конвейерных установках.

Эта подготовка обеспечивает адгезию и химическую стойкость защитных изображений на операциях гальванического формирования проводящего рисунка и щелочного оксидирования в случае применения пленочного фоторезиста Ристон I.

При режиме наслаивания пленочного фоторезиста на небольшой скорости $\sim 0,5$ м/мин и при температуре нагрева валков $115^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ на подогретые до температуры $60-80^{\circ}\text{C}$ заготовки, достигается лучшая адгезия пленочного фоторезиста к поверхности медной шины. Этот результат обеспечивается за счет лучшего прогрева и размягчения пленочного фоторезиста и заполнения им поверхностных микронеровностей медной шины.

Условия проведения операции экспонирования для получения изображений в пленочном фоторезисте с разрешением 100 - 125 мкм:

- Фотошаблоны должны иметь высокие оптические характеристики: оптическая плотность прозрачных полей 0,1 ед.оп. плотности, непрозрачных полей не менее 3-3,5 ед.оп. плотности, резкость края изображения не более 3-4 мкм.

- Экспонирование изображений должно проводиться на установках с точечным источником света с высококоллимированным интенсивным световым потоком, с автоматическим дозированием и контролем световой энергии. Температура нагрева

копировальной поверхности в процессе экспонирования не должна превышать более чем на 3-5°C температуры помещения (температура помещения 21 ± 1 °C).

- Проявление изображений должно проводиться в струйных установках с форсунками среднего и высокого давления, типа моделей процессоров В-24, С-2-50 фирмы Шмидт.

После проявления изображений с целью удаления следов органики с поверхности медной шины в узких каналах рисунка освобождений в рельефе пленочного фоторезиста следует проводить обработку в окислителе, в 20% растворе серной кислоты в течение 2-х минут.

Последовательность проведения операций обработки в окислителе та же, как в случае получения изображений высокоплотных схем по субтрактивной технологии с применением диэлектриков с тонкомерной фольгой.

Подбор режимов получения и проявления изображений в пленочных фоторезистах проводится на соответствие критериям качества. Качественные изображения должны иметь ровные и четкие края, однородные по цвету, блестящую и твердую для пальцев рук поверхность защитного рельефа, отсутствие «кромки» по краям изображений, полное удаление фоторезиста с неэкспонированных участков, минимальное искажение ширины проводников и зазоров между ними относительно соответствующих размеров на фотошаблонах, иметь химическую стойкость на операциях гальванической металлизации и щелочного оксидирования.

Оценка качества изображения проводится визуально под микроскопом при увеличении не менее 50 крат.

При обеспечении необходимых условий проведения процессов получения изображений в пленочных фоторезистах:

1. Ширина гальванически сформированных проводников в фоторельефе пленочных фоторезистов на высоте между уровнями от 0,2 до 0,7 толщины фоторезиста равна ширине изображения проводника на фотошаблоне.

Интервал разброса замеров не превышает 25 - 30 мкм.

2. Искажения ширины проводников на поверхности подложки относительно размеров на фотошаблоне в среднем составляют от 10 мкм до 25 мкм.

3. Суммарный интервал разброса ширины проводников по всей высоте фоторельефа не превышает 40-50 мкм.

4. Профиль фоторельефа пленочного фоторезиста зависит от применяемой модели светокопировальной установки.

При экспонировании на установках со сканирующим источником света типа или с точечным источником света, но с большим разогревом копировальной поверхности - боковые стенки фоторельефа, вогнуты вглубь фоторельефа.

При экспонировании на установках с совершенной экспонирующей системой, обеспечивающей высокую коллимацию высокоинтенсивных световых лучей и отсутствие нагрева рабочей копировальной поверхности, фоторельеф

При экспонировании на установках с совершенной экспонирующей системой, обеспечивающей высокую коллимацию высокоинтенсивных световых лучей и отсутствие нагрева рабочей копировальной поверхности, фоторельеф имеет ровные боковые стенки с малым наклоном к поверхности подложки (примерно под углом 85 градусов).

2.5. Получение наружных слоев МПП:

Прессованные пакеты многослойных плат имеют на поверхности медную фольгу, обычно толщиной 20 мкм или 35 мкм. Технологическая схема получения проводников наружных слоев МПП с межслойными переходами (сквозными металлизированными отверстиями) по технологической последовательности выполнения операций похожа на приведенный выше третий вариант субтрактивной технологии, т.е. проводящий рисунок наружных слоев получают травлением по металлорезисту, осажденному на поверхность гальванически сформированных проводников в рельефе пленочного фоторезиста и на стенки металлизированных отверстий.

Согласно технологической схеме предварительная металлизация сверленных пакетов многослойных плат по поверхности фольги или медной шины и по поверхности стенок отверстий производится на толщину 7-20 мкм.

Толщина предварительной металлизации диктуется требованиями, с одной стороны, сохранения межслойных переходов при последующих операциях обработки, с другой стороны - требованиями минимальной толщины медных слоев, подлежащих травлению (с целью уменьшения бокового подтравивания проводников). Остальная часть проводника одновременно с увеличением толщины металлизации на стенках отверстий формируется последовательным гальваническим осаждением меди на толщину 30 мкм и металлорезиста ПОС-61 на толщину 16-20 мкм.

Для того чтобы проводящий рисунок не наращивался выше фоторельефа, используются толстые фоторезисты, в частности, СПФ-2 толщиной 60 мкм. Гальванически сформированная часть печатных элементов определяется размерами освобождений в фоторельефе.

При правильно подобранных режимах получения изображения в пленочном фоторезисте ширина проводника по металлорезисту равна размерам изображения на фотошаблоне. В процессе травления происходит одновременное травление выступающих проводников с боков. Величина бокового подтравивания соизмерима с глубиной травления, т.е. суммарной толщине медных слоев и составляет в рассматриваемом варианте 30-40 мкм. После травления по бокам проводников имеет место нависание металлорезиста, как указывалось раньше для случая применения тонкой фольги.

При оплавлении металлорезиста ПОС-61 за счет поверхностного натяжения расплавленного припоя - медные проводники покрываются ПОС-61 с заполнением пазух и выравниванием бокового профиля. Размер печатного элемента по ширине уменьшается примерно на суммарную величину нависания металлорезиста по двум сторонам.

Для плат, изготовленных по субтрактивной технологии среднее значение ширины проводников на готовых МПП после

оплавления припоя, изготовленных по субтрактивной технологии, на 75-80 мкм меньше чем на фотошаблоне.

Применение тентинг-метода для получения проводников наружных слоев МПП аналогично описанной ранее технологической схеме для получения внутренних слоев.

3. Контрольные вопросы

3.1. Какие методы изготовления слоев МПП Вы знаете?

3.2. Какие методы формирования межслойных переходов в МПП Вы знаете?

3.3. Какова последовательность формирования рисунка в пленочном фоторезисте и получения рисунка проводников на слоях МПП при изготовлении слоев:

- субтрактивным методом,
- полностью аддитивным методом (ПАФОС).

3.4. Какова последовательность формирования рисунка проводников наружных слоев МПП при изготовлении:

- с использованием металлорезиста,
- методом «завески» (тентинг).

3.5. Как производится совмещение рисунка проводников и межслойных переходов в МПП?

3.6. Как производится склеивание слоев в многослойный пакет?

3.7. Что Вы знаете о сверлении отверстий в печатных платах?

3.8. Как производится химическая и гальваническая металлизация стенок внутренних отверстий в слоях и сквозных отверстий в МПП?

3.9. Как производится нанесение жидкой защитной паяльной маски на поверхность МПП?

3.10. Какие методы нанесения паяемого покрытия на контактные площадки МПП Вы знаете?

3.11. Как наносится маркировка на поверхность МПП?

3.12. Назовите автоматизированные методы контроля качества металлизированных переходов.

3.13. Назовите виды испытаний МПП, в том числе, автоматизированные.

3.14. Что Вы знаете об автоматизации визуального контроля печатных плат?

3.15. Какие материалы применяются для изготовления слоев субтрактивным методом?

3.16. Какие материалы применяются для склеивания слоев в МПП?

3.17. Какие способы очистки и подготовки стенок отверстий под металлизацию Вы знаете?

3.18. Назовите и поясните основные характеристики МПП.

3.19. Назовите преимущества МПП с внутренними межслойными переходами.

3.20. Назовите отличительную особенность структуры МПП с сигнальными линиями связи, имеющими заданное волновое сопротивление.

3.21. Назовите основные факторы ограничения увеличения габаритов МПП:

- связанные со свойствами материалов,
- связанные с производственными возможностями.

3.22. Охарактеризуйте формулу расчета надежности МПП.

4. Задание для выполнения

4.1.

5. Библиографический список

1. ГОСТ 3.1121-84. ЕСТД. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на типовые и групповые технологические процессы (операции).

2. ГОСТ 14.004-83-1. ТПП. Термины и определения основных понятий.

3. ГОСТ 3.1103-2011. ЕСТД. Основные надписи. Общие положения.
4. ГОСТ 3.1118-82 ЕСТД. Формы и правила оформления маршрутных карт.
5. ГОСТ 3.1129-93. ЕСТД. Общие правила записи технологической информации в технологических документах
2. Классификатор технологических операций машиностроения и приборостроения 1.85.151. М.: Изд-во стандартов.-1987г.

Технологический маршрут изготовления слоев МПП субтрактивным негативным методом (процесс 1)

Фольгированный диэлектрик	
Операция 1	Изготовление заготовок с базами
Операция 2	Подготовка поверхности заготовок под СПФ
Операция 3 Фотошаблон - негатив	Получение рисунка схемы слоев из СПФ (наслаивание, экспонирование, проявление)
Операция 4	Контроль и ретушь рисунка схемы из СПФ
Операция 5	Травление меди в освобождениях рисунка СПФ
Операция 6	Удаление СПФ с заготовок
Операция 7	Контроль и подчистка слоев
Операция 8	Оксидирование поверхности проводников на слоях
Готовые слои	

Технологический маршрут изготовления МПП субтрактивным позитивным методом с металлорезистом олово-свинец (Процесс 2)

Операция 9	Комплектование слоев МПП для прессования
Операция 10	Финишная отмывка комплекта слоев
Операция 11	Прессование пакета МПП
Операция 12	Контроль спрессованной МПП
Операция 13	Снятие оксидного слоя
Операция 14	Сверление металлируемых отверстий
Операция 15	Контроль качества и позиционной точности отверстий
Операция 16	Подготовка к металлизации
Операция 17	Химическая и предварительная электрохимическая металлизация всей поверхности и отверстий
Операция 18	Выравнивание микронеровностей поверхности после металлизации
Операция 2	Подготовка поверхности под СПФ
Операция 19	Контроль металлизации
Операция 3 (Фотошаблон)	Получение рисунка схемы слоев из СПФ (наслаивание, экспонирование, проявление)
Операция 4	Контроль и ретушь
Операция 20	Электрохимическое меднение
Операция 21	Электрохимическое осаждение сплава олово-свинец в окна СПФ
Операция 6	Удаление СПФ
Операция 22	Контроль, ретушь и подчистка по сплаву олово-свинец
Операция 23	Травление меди, незащищенной сплавом олово-свинец
Операция 24	Химическое удаление сплава олово-свинец
Операция 10	Отмывка МПП
Операция 25	Контроль МПП визуальный и размерный
Операция 26	Контроль МПП электрический
Операция 14	Сверление неметаллируемых отверстий
Операция 27	Подготовка поверхности МПП под паяльную маску
Операция 28 (Фотошаблон)	Нанесение паяльной маски
Операция 29	Экспонирование паяльной маски
Операция 30	Проявление паяльной маски
Операция 31	Дубление паяльной маски и визуальный контроль
Операция 32	Термовакuumная обработка МПП
Операция 33	Флюсование
Операция 34	Горячее лужение монтажных площадок, незащищенных паяльной маской
Операция 10	Отмывка МПП
Операция 35 (Трафарет)	Маркировка
Операция 36	Сушка
Операция 37	Выходной визуальный контроль
Операция 38	Мехобработка по контуру
Операция 39	Выходной электрический контроль
Операция 40	Оформление и упаковка
ГОТОВЫЕ МПП	

Технологический маршрут изготовления слоев МПП полностью аддитивным методом (ПАФОС) (Процесс 3)

Склеивающая стеклоткань (препрег)	
Операция 2	Подготовка поверхности носителей (листов нержавеющей стали)
Операция 20	Электрохимическое осаждение сплошного тонкого слоя меди на поверхность носителей
Операция 3 (Фотошаблон Позитив)	Получение рисунка схемы слоев из СПФ (наслаивание, экспонирование, проявление)
Операция 4	Контроль и ретушь рисунка схемы из СПФ
Операция 21	Электрохимическое осаждение тонкого слоя никеля в окна рисунка из СПФ
Операция 20	Электрохимическое осаждение слоя меди заданной толщины в окна рисунка из СПФ
Операция 11	Прессование носителей с проводниками с набором склеивающих прокладок (препрега)
Операция 38	Механическое расслаивание носителей от слоев с проводниками, утопленными в изоляцию
Операция 5	Травление сплошного тонкого слоя меди с поверхности слоев
ГОТОВЫЕ СЛОИ	