

# Иллюстрированная технология печатных плат.

## Двусторонние печатные платы с металлизацией отверстий

По многочисленным просьбам мы начинаем серию публикаций о технологиях печатных плат «от простого к сложному» — от двусторонних плат до сложных многослойных плат с послойным наращиванием. Статьи несут чисто просветительский характер и предназначены для специалистов, начинающих свою нелегкую инженерную карьеру в технологиях печатных плат, требующих обширных знаний в разнообразных процессах фотолитографии, химии, механообработки, прессования, электрического и оптического тестирования.

Аркадий Медведев,  
д. т. н.

Аркадий Сержантов,  
к. т. н.

### Введение

Двусторонняя печатная плата (ДПП) — это печатная плата (ПП) с твердым диэлектрическим основанием, на котором с обеих сторон расположена токопроводящая топология схемы, заканчивающаяся контактными площадками с отверстиями или без них. Соединение проводников между двумя сторонами ПП осуществляется через металлизированные сквозные отверстия (рис. 1) или при отсутствии металлизации — через выводы электронных компонентов. Металлизированные сквозные отверстия могут быть как переходными для соединения проводников, так и монтажными для впаивания в них выводов компонентов.

Схема процесса изготовления ДПП изображена на рис. 2. На ней показаны два типа технологий: с оплавлением металлорезиста олово-свинец и с горячим облуживанием контактных площадок с последующим выравниванием припоя горячим воздухом.

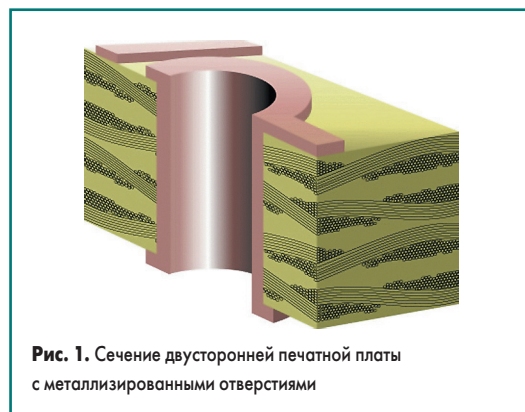


Рис. 1. Сечение двусторонней печатной платы с металлизированными отверстиями

### 1. Базовые материалы, которые используются в производстве ДПП с металлизацией сквозных отверстий

#### Связующий материал

Критерием выбора связующего материала является температура перехода, или температура стеклования  $T_g$  (от 130 °С), при которой базовый материал начинает размягчаться. При температурах меньших  $T_g$  базовый материал более стабилен (рис. 3а), поэтому желательно использовать материал с как можно более высокой  $T_g$ . Однако у базовых материалов с высокой  $T_g$  при температурах выше  $T_g$  физические свойства изменяются значительно быстрее (рис. 3б). Недостатки базовых материалов с высокой  $T_g$ : они состоят дороже, а также при их сверлении увеличивается износ сверл.

#### Медная фольга

Существует два типа медной фольги: электролитическая и горячекатаная.

Электролитическая фольга производится электрохимическим осаждением меди на стальной барабан, погруженный в электролизер с анодами из чистой меди. Толщина фольги определяется длительностью осаждения, то есть скоростью вращения барабана. Медь отделяется от барабана и скатывается в рулон. Для снятия внутренних напряжений электролитическую фольгу отжигают. Поверхность медной фольги со стороны барабана очень гладкая, со стороны электролита — шероховатая. Шероховатость обратной стороны медной фольги обеспечивает хорошую адгезию к диэлектрическому основанию, для увеличения адгезии фольги к диэлектрику проводят дополнительное окисление.

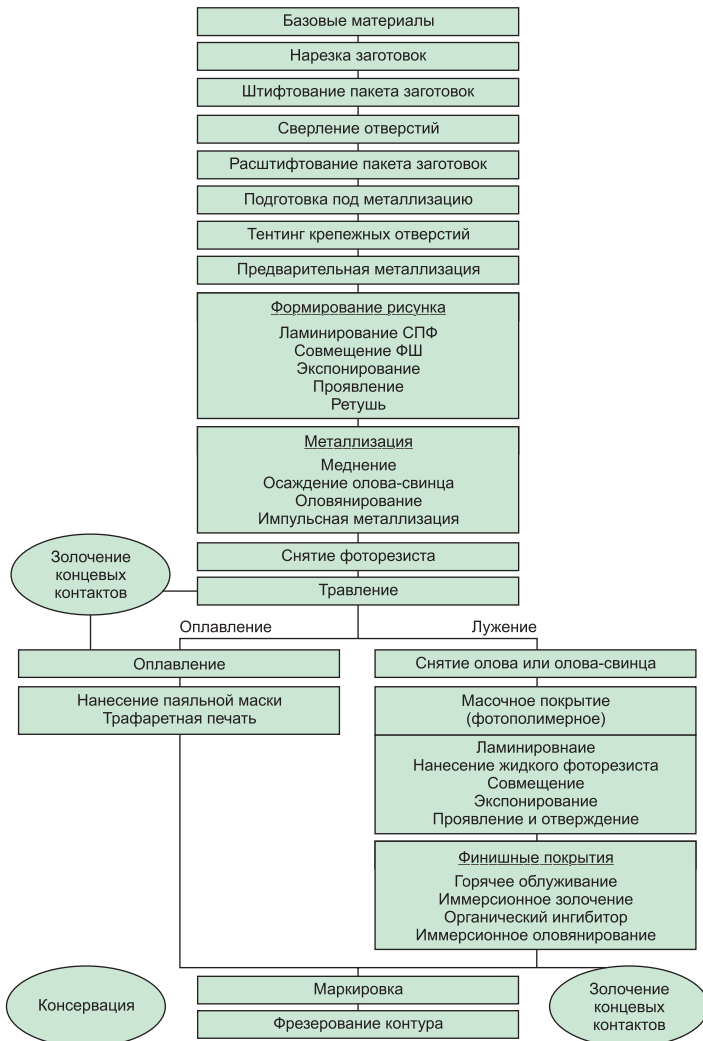


Рис. 2. Схема процесса изготовления ДПП

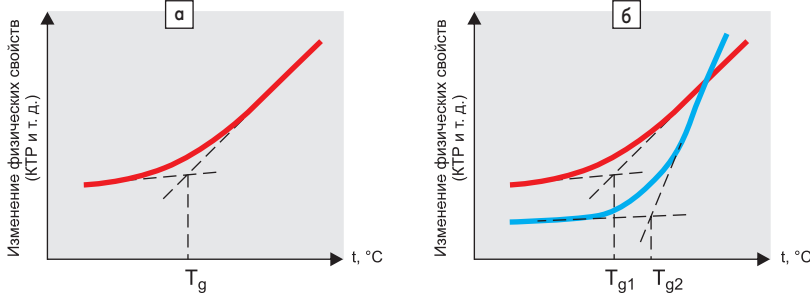


Рис. 3. Изменение физических свойств материала в зависимости от температуры

Горячекатаную фольгу получают высокотемпературным прокатыванием электролитической фольги.

Толщина фольги нормируется по массе в унциях (oz) квадратного фута фольги, как показано в таблице 1.

Таблица 1. Нормированная толщина фольги

Толщина, мкм	5	9	12	17,5	35	70
Масса, oz	1/8	1/4	1/3	1/2	1	2

Таблица 2. Номинальная толщина твердых фольгированных диэлектриков, включая толщину фольги

Толщина, мм	0,4–0,6	0,8	1,2	1,5	1,6	2,0	2,4	3,3
Толщина, дюйм	0,015–0,024	0,031	0,047	0,059	0,062	0,079	0,093	0,125

### Фольгированные диэлектрики

Диэлектрическое основание фольгированных диэлектриков представляет собой композиционный материал, армированный стеклянными тканями, поэтому он имеет высокую прочность и размерную стабильность. Существует два типа стеклянных тканей: E-glass и S-glass. Первый тип используется в большинстве материалов. S-glass — более дорогая стеклянная ткань и применяется

в особо ответственных случаях: в военной и аэрокосмической аппаратуре. Толщина фольгированных диэлектриков показана в таблице 2.

Размеры листов фольгированных материалов могут быть произвольными, но для уменьшения отходов при раскрое на заготовки их размеры нормированы в следующем ряду (табл. 3).

Таблица 3. Нормализованный ряд

форматов листов фольгированных материалов

Формат, мм	920×1220	1020×1220	1060×1220
Формат, дюйм	36×48	40×48	42×48

Для обеспечения большей размерной стабильности и улучшения условий совмещения (уменьшения погрешностей базирования) некоторые производители предпочитают использовать заготовки меньшего размера, укладываемые в раскрой стандартных листов материала (табл. 4).

Таблица 4. Ряд стандартных форматов листов

фольгированных материалов заготовок ПП

Формат, мм	460×610	306×460
Формат, дюйм	18×24	12×18

Полезная площадь плат меньше площади заготовок на величину технологического поля. Для двусторонних плат, как правило, принято технологическое поле в виде окаймления шириной не более 12,7 мм (0,5") по всем сторонам, которое не может быть использовано в готовых платах.

## 2. Сверление отверстий

Назначение сквозных металлизированных отверстий (рис. 4):

- осуществлять электрические соединения между двумя сторонами платы;
- служить монтажным элементом для пайки выводов компонентов в отверстия;
- служить крепежным элементом при заводе в гальванических линиях (по мере надобности).

Назначение сквозных неметаллизированных отверстий:

- осуществлять базирование на сверлильном станке;
- осуществлять базирование при совмещении с фотошаблонами;
- осуществлять крепление ДПП в устройстве, блоке, приводе и т. д.

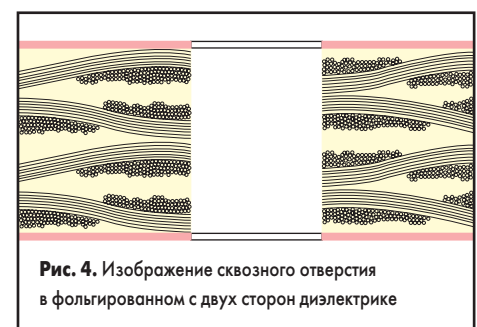


Рис. 4. Изображение сквозного отверстия в фольгированном с двух сторон диэлектрике

## Основные этапы механического формирования отверстий

### 1. Закрепление заготовок на столе сверлильного станка

Заготовки обычно собираются в пакет из двух-трех заготовок, в отдельных случаях до четырех заготовок. Это зависит от элементов топологии, а практически от соотношения диаметра сверления и размера контактной площадки и толщины отдельной платы. В пакетах заготовок (рис. 5) сверлятся два технологических отверстия, в которые впрессовываются металлические штифты. Стопка заготовок содержит также накладочный и подкладочный материал. Стальные базирующие штифты диаметром 5 мм, длина которых больше, чем высота стопки, впрессовываются в отверстия заготовок и вставляются в отверстия рабочего стола станка и закрепляются на столе механически клампингами.

Точность позиционирования технологических отверстий не критична, так что они могут выполняться с точностью  $\pm 1$  мм. Они используются только для закрепления стопки заготовки на столе станка.

### 2. Формирование базовых отверстий

Первые отверстия, которые сверлятся в стопке заготовок, — это базовые отверстия системы совмещения. Они должны совпадать по местоположению с реперными знаками (прицелами) на фотошаблоне. Эти же базовые отверстия на отдельных платах заготовки применяются для нанесения паяльной маски и сборки компонентов. Расстояния между отверстиями должны выполняться с высокой точностью.

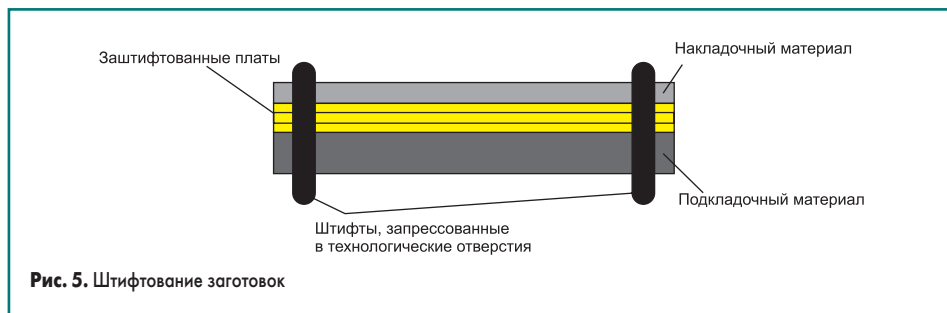
### 3. Формирование сквозных отверстий диаметром от 0,5 мм (рис. 6)

Как правило, сверление отверстий в серийном производстве выполняется на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) с автоматической сменой изношенных сверл и автоматической загрузкой/выгрузкой заготовок.

Сверление отверстий малого диаметра от 0,25 до 0,5 мм осуществляется на высокоскоростных станках со скоростью вращения шпинделя порядка 100–125 тыс. об/мин. Сверла для таких малых диаметров сверления очень дорогие и могут часто ломаться.



**Рис. 6.** Изображение процесса сверления штифтованного пакета заготовок со вспомогательными материалами



**Рис. 5.** Штифтование заготовок

Для обеспечения позиционной точности необходимо ограничиваться сверлением одной заготовки в stapеле.

Отверстия часто сверлятся с увеличением диаметра на 0,15 мм больше указанного в документации. Это обусловлено:

- толщиной металлизации стенок отверстий:

$$2 \times (25 \text{ мкм гальванической меди} + (9-12) \text{ мкм металлорезист олово-свинец}) + 50 \text{ мкм усадка диаметра отверстия после сверления.}$$

И общая усадка диаметра составляет приблизительно 0,125 мм;

- необходимостью попадания диаметра отверстия в поле допуска  $d_{\text{отв.}}^{+0/-0,1 \text{ мм}}$ .

### 4. Формирование малых отверстий (меньше 0,25 мм)

Сверление малых отверстий создает проблему со стоимостью сверления, потому что сверла малого диаметра относительно дороже, они чаще ломаются, их износоустойчивость ограничена 1000 сверлений. Механическое сверление отверстий менее 0,2 мм более или менее затруднительно и должно производиться на современных сверлильных станках с высокооборотными шпинделями и высокой точностью позиционирования.

## 3. Химическое меднение

Процесс химического меднения в производстве печатных плат необходим для создания тонкого проводящего слоя на всей поверхности диэлектрика для обеспечения условий последующей электрохимической металлизации.

Химическая металлизация основана на трех основных процессах:

- активация (катализация) — обработка в коллоидальном растворе олова и палладия;
- ускорение — удаление коллоидального олова, фиксация палладия;
- химическое меднение — осаждение тонкого слоя меди.

Обязателен процесс очистки отверстий от продуктов сверления, которые размазываются по стенкам отверстий, так как процесс очистки увеличивает прочность сцепления металлизации со стенками отверстий (усилие вырыва металлизации из очищенных отверстий становится заметно больше). Это повышает устойчивость плат к воздействию пайки оплавлением паяльных паст, сопровождающимся групповым нагревом плат с установленными на них компонентами.

Как альтернатива химическому меднению существует метод прямой металлизации, который создает проводимость, достаточную для последующего процесса электрохимической металлизации. Преимущества процесса прямой металлизации:

- не создает для человека атмосферу с токсичными парами формальдегида, применение которого обязательно в процессе химического меднения;
- не загрязняет протстоки, в то время как при регенерации ванны химического меднения они появляются в больших объемах;
- прямая металлизация хорошо работает в горизонтальных линиях, что позволяет использовать конвейеры и тем самым увеличить производительность;
- процесс прямой металлизации более устойчив, чем технология химической металлизации;
- проще в работе и требует меньших усилий на поддержание процесса и его корректировку.

Толщина осаждаемого слоя. Раньше было возможно химическое меднение только до толщины 0,5 мкм. Этот слой усиливался гальванической затяжкой до толщины 5 мкм. Причем медь осаждалась не только на стенках отверстий, но и на поверхности фольги. При наличии процесса прямой металлизации необходимость в гальванической затяжке исчезает.

## 4. Формирование рисунка

Печатные платы становятся все более комплексными, рисунок становится все тоньше и тоньше. Это делает очень критичным процесс воспроизведения рисунка проводников без каких-либо искажений. Наиболее распространенной считается ширина проводника 0,15 мм, она признана стандартной, однако некоторые производители делают проводники шириной 0,05–0,1 мм. Существует несколько технологий получения фотолитографического рисунка в слое фоторезиста: экспонирование через фотошаблон, прямое лазерное экспонирование (LDI), прямое оптическое экспонирование (ODI) и прямое экспонирование со светодиодными источниками излучения.

### Этапы формирования рисунка (комбинированный позитивный метод)

**Нанесение фоторезиста (ламинирование, так как обычно используется сухой пленочный фоторезист)**

Очень важно перед ламинированием очистить поверхность меди, чтобы обеспечить хорошую адгезию пленки к заготовке. Следует иметь в виду, что после очистки медная по-

верхность остается чистой (свободной от окислов) в течение 24 часов. При более длительном хранении задела поверхность меди окисляется с образованием слоя с неопределенными свойствами. Поэтому длительное пребывание заготовок на воздухе требует повторной очистки поверхности фольги. При этом следует учитывать, что толщина фольги и соответственно сечение проводников уменьшаются.

Некоторые производители используют пемзовую очистку (обработка поверхностей струями суспензии пемзы в воде), однако этот метод не может применяться на платах с диаметром отверстий менее 0,5 мм, поскольку происходит их «забивание» пемзовой пульпой. Наиболее перспективным методом подготовки поверхности является химическое микро травление, которое выполняется в горизонтальных конвейерных линиях.

Сухой пленочный фоторезист наслаивается на обе стороны заготовки с помощью горячих валков ламинатора. Горячие валки приглаживают и придают пленку фоторезиста к медной поверхности заготовки.

Толщина пленки может быть от 17 до 80 мкм, но в большинстве случаев используется толщина 40 мкм.

#### Совмещение

Цель: обеспечение правильного размещения фотошаблона на заготовке так, чтобы центры контактных площадок максимально совпадали с центрами отверстий.

Принципы совмещения:

- визуальное совмещение элементов фотошаблона с просверленными отверстиями;
- оптическое совмещение по базовым отверстиям на технологическом поле заготовки;
- механическое совмещение с использованием базовых отверстий и штифтов;
- комбинация оптического и механического совмещения;
- автоматическое совмещение с использованием элементов технического зрения.

#### Экспонирование

Цель: получить скрытое изображение в слое фоторезиста, то есть перенести изображение фотошаблона на фотополимерный слой пленочного резиста.

Изображение рисунка схемы проводников закладывается фотошаблоном, будучи совмещенным с заготовкой одним из методов, описанных выше. Если фотошаблон — позитив, его проводники и контактные площадки непрозрачны (черные). Если фоторезист — негативный фотополимер, то области, освещаемые УФ-светом, полимеризуются и становятся нерастворимыми при проявлении.

Полиэфирная защитная пленка толщиной 25 мкм остается на фоторезисте в процессе экспонирования. Казалось бы, из-за этого очертания изображения рисунка проводников могут оказаться размытыми за счет дифракции и параллакса (подсвечивания) на этой толщине защитной пленки. Современные системы экспонирования преодолевают данные явления, создавая параллельный поток УФ-света, что позволяет воспроизводить тонкие

линии толщиной 0,12 мм. Плотный контакт эмульсионного слоя фотошаблона с защитной пленкой фоторезиста, который обеспечивает вакуумным прижимом рамы из полиэфирного нежесткого стекла к нижней стеклянной раме, дает хорошие результаты. После смыкания рам и завершения вакуумного отсоса рамы вдвигаются внутрь установки экспонирования, включаются источники света и счетчик времени экспозиции.

#### Лазерное формирование рисунка (LDI)

LDI открывает большие возможности в воспроизведении рисунка для печатных плат.

Преимущества LDI:

- экономия времени и отсутствие расходов на изготовление, использование, обработку и хранение фотошаблонов;
- нет трудностей, связанных с фотопленкой, ее хранением и дефектами;
- процессы LDI обеспечивают лучшую четкость рисунка и позволяют увеличить выход годных ПП;
- обеспечивается более точное совмещение элементов межсоединений;
- нестабильность среды производственных помещений (температура, влажность) не влияет на получаемые размеры рисунка ПП.

Недостатки LDI:

- для поддержания необходимой производительности при экспонировании требуется использование мощного дорогостоящего лазера;
- разрешающая способность ниже, чем при контактной печати (при контактной печати минимальный воспроизводимый размер равен 15 мкм, а при LDI — 25 мкм).

Управляющая CAD-CAM-система используется для модулирования сфокусированного лазерного луча, тем самым реализуется процесс растеризации, чтобы обеспечить преобразование цифровой информации в лазерный рисунок. Растеризация данных определяет, где и когда включить или выключить луч лазера для формирования растрового рисунка проводников печатных плат. В таких системах обычно применяется газовый или твердотельный лазер.

Лазерный луч развертывается вдоль оси X вращающимся многогранным цилиндрическим зеркалом. Во время сканирования стол, на котором размещена заготовка печатной платы, не движется. Когда сканирование первого ряда пикселей завершено, стол по оси Y сдвигается на шаг, чтобы могла быть прорисована следующая строка пикселей. Вращающееся зеркало возвращает луч лазера в исходное положение и сканирует следующий ряд пикселей.

В отличие от традиционных экспонирующих установок лазерный прорисовщик экспонирует только одну сторону заготовки, для прорисовки противоположной стороны нужно перевернуть заготовку и дать команду на прорисовку второй стороны.

Существенным недостатком LDI является необходимость точной настройки под каждый тип фоторезиста, вплоть до каждого рулона фоторезиста.

#### Оптическое формирование рисунка (ODI)

Для устранения этого недостатка в последнее время появляются установки прямого непосредственного засвечивания рисунка по фоторезисту, использующие ультрафиолетовые области излучения. В качестве источника света применяется ртутная лампа сверхвысокого давления.

Преимущества ODI:

- как и в LDI, рисунок в фоторезисте формируется через управляющую CAD-CAM-систему без использования фотошаблона, что избавляет от всех проблем, связанных с фотошаблонами;
  - высокая производительность по сравнению с LDI, но низкая по сравнению с экспонированием через фотошаблон;
  - наличие автоматического позиционирования, которое обеспечивает высокую точность совмещения;
  - высокое разрешение.
- Недостатки ODI:
- сложное оборудование, сложная оптическая система;
  - малый срок службы источника света.

#### Установки

##### со светодиодами

##### источниками излучения

Также существуют установки прямого экспонирования со светодиодными источниками излучения.

Преимущества перед ODI:

- срок службы светодиода на порядок больше срока службы ртутной лампы сверхвысокого давления;
- поскольку практически отсутствует нагрев светодиодов, система охлаждения не требуется;
- меньшее энергопотребление.

Конечно, цены на все установки непосредственного получения рисунка очень высокие, но в многономенклатурном производстве ПП они этого стоят.

#### Проявление

Цель: проявление предназначено для удаления неэкспонированных участков фоторезиста путем растворения неполимеризованного фотополимера в проявляющем растворе.

Управление временем проявления, напором струй и концентрацией проявляющего раствора обеспечивает хороший результат. Нужно заметить, что после проявления в пробельных местах остается очень тонкая пленка загрязнений, состоящая из остатков неполимеризованного и частично растворенного полимеризованного фоторезиста, которая или мешает металлизации, или уменьшает адгезию электроосажденной меди к металлизированным участкам рисунка. Поэтому после проявления заготовку дополнительно обрабатывают в свежем растворе и тщательно отмывают.

После получения рисунка из фоторезиста платы подвергают визуальному контролю и, если обнаружены какие-либо дефекты в фоторезисте, используют ретушь.

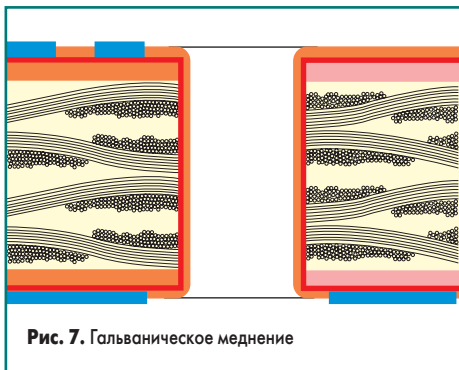


Рис. 7. Гальваническое меднение

**Гальваническое меднение (рис. 7)**

Цель: осаждение медного слоя с минимальной толщиной 25 мкм на поверхностях, не покрытых резистом: на поверхностях проводников, отверстий, контактных площадок, элементов заземлений.

Сегодня в подавляющем большинстве случаев используются кислые сульфатные электролиты. Такой электролит содержит кислый раствор сульфата меди с органическими добавками, обеспечивающими мелкокристалличность, высокую прочность и пластичность медного осадка.

Перед металлизацией заготовки плат подвергают тщательной очистке и микротравлению. После этого заготовки перемещают в ванну с электролитом, где происходит гальваническое меднение.

**Металлизация по рисунку или по всей поверхности (рис. 8)**

Описанный выше метод называется металлизацией по рисунку, так как сначала формируют рисунок печатной платы, а затем на него наносят гальваническую медь. Другими словами, медь и олово-свинец наносят на не защищенные резистом металлизации области. Это позволяет сократить объемы травления и уменьшить подтравливание.

Существует также другой метод, называемый «металлизация поверхности», или тентинг-метод. Он предусматривает, что перед нанесением рисунка всю поверхность печатной платы, включая отверстия, покрывают медью. Преимущества этого метода в простоте контроля толщины меди, но недостатки в больших объемах стравливаемой меди и большом боковом подтравливании.

**Осаждение гальванического сплава олово-свинец (рис. 9)**

Цели:

- Размещение устойчивого к медному травлению сплава олово-свинец поверх всех медных поверхностей, включая стенки отверстий.
- Обеспечение паяемости готовой платы путем защиты медного слоя от окисления.

Сначала происходит очистка и микротравление поверхности платы, затем нанесение припоя и промывка платы в воде. Чтобы защитить нижележащий слой меди при окончательном травлении, необходимо обеспечить толщину олово-свинца минимум 7,5 мкм. Следует избегать чрезмерного нанесения при-

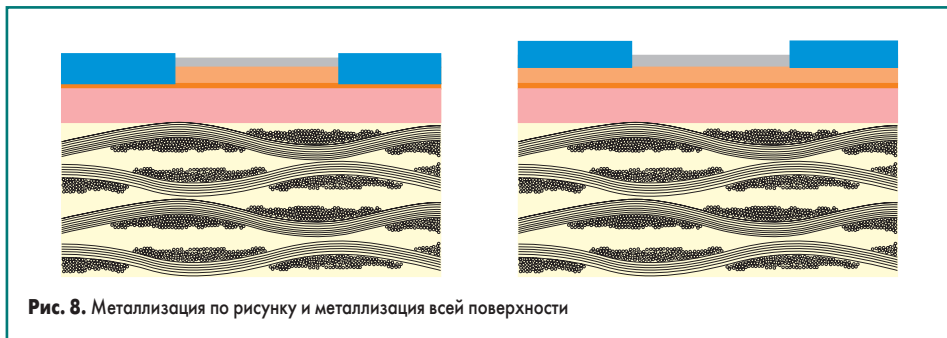


Рис. 8. Металлизация по рисунку и металлизация всей поверхности

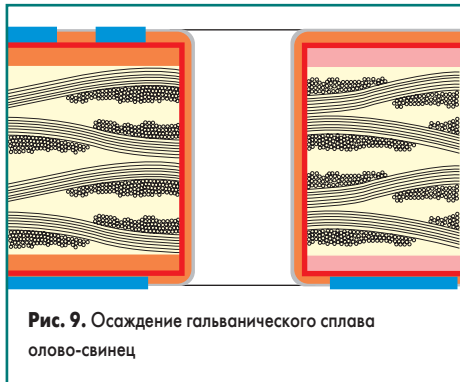


Рис. 9. Осаждение гальванического сплава олово-свинец

поя, чтобы сократить длительность его плавления. Кроме того, при большой толщине припоя он может выйти за пределы фоторезиста в виде «гриба», что в дальнейшем приведет к образованию заусенцев из пленки припоя и, как следствие, к образованию коротких замыканий между электрическими цепями ПП. Параметры нанесения припоя показаны в таблице 5.

**Таблица 5. Параметры нанесения припоя в качестве металлорезиста и финишного покрытия под пайку**

Состав припоя	олово-свинец
Номинальное значение	60% олова, 40% свинца
Допустимое содержание олова	55–70%
Толщина нанесения (до плавления)	min 7,5 мкм, max 15 мкм

**Удаление фоторезиста (рис. 10)**

Цель: обеспечение возможности травления меди с пробельных участков.

Нанесенный фоторезист снимают с помощью наиболее подходящего метода его растворения. Используют ряд растворителей и систему нескольких способов снятия фоторезиста. На практике чаще применяют конвейерные линии с секциями различных очистителей и растворителей, чтобы гарантировать полное снятие фоторезиста.

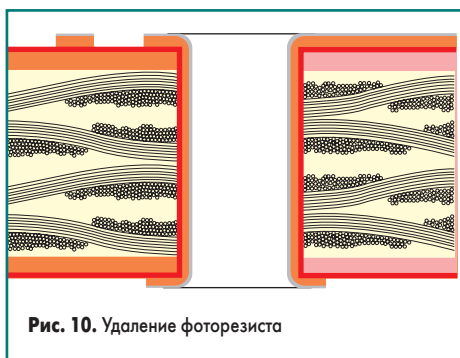


Рис. 10. Удаление фоторезиста

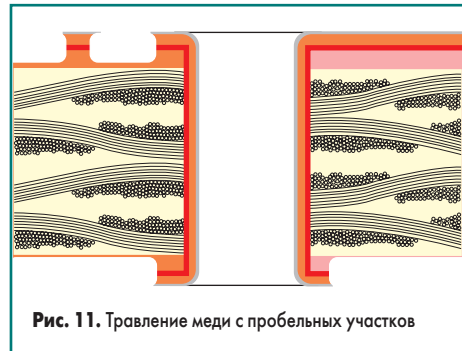


Рис. 11. Травление меди с пробельных участков

**Травление (рис. 11)**

Цель: удаление ненужного слоя меди, до этого покрытого фоторезистом, чтобы «проявить» рисунок платы.

Травление незащищенной меди достигается или погружением в травильный раствор, или его распылением через форсунки.

Чаще всего применяют двустороннее вертикальное распыление при конвейерной загрузке плат. Для достижения лучшего равномерного травления по всей поверхности платы форсунки перемещаются по разным направлениям.

Главное, чтобы при удалении ненужной меди со всех участков не допустить чрезмерного травления, которое может сильно увеличить подтравливание. Как только основание платы становится видимым, следует прекратить травление меди.

После травления платы промывают в воде, нейтрализуют и промывают в воде снова, чтобы полностью удалить остатки травильного раствора.

В качестве травильных растворов для плат, покрытых резистом (сплав олово-свинец или олово), чаще используют состав из аммиака, хлористого аммония и хлорной меди.

С учетом явления подтравливания определяют минимально возможную ширину дорожек в зависимости от толщины медной фольги (рис. 12). Чем тоньше фольга — тем меньше подтравливание. Толщину медной фольги всегда следует выбирать исходя из плотности рисунка.

Определенный интерес представляет ход этого процесса в случаях меднения платы по рисунку и по всей поверхности (рис. 13).

- На плату нанесены фоторезист, гальваническое меднение и припой (рис. 13а).
- Фоторезист снят, и над медной фольгой осталось только гальваническое меднение и припой (рис. 13б).
- Процесс травления, линиями обозначена последовательность хода травления.

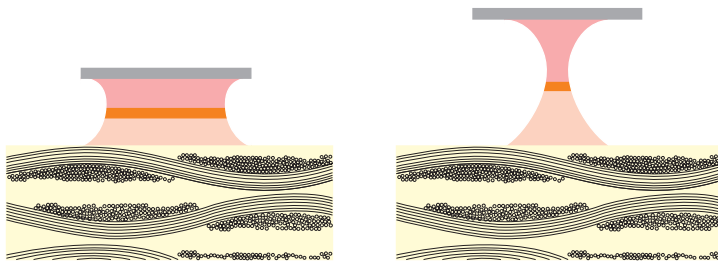


Рис. 12. Зависимость ширины проводника от толщины медной фольги

В последнее время в России разработан процесс анизотропного травления и выпускается оборудование для этой цели с условным названием «Фрезер». Данный процесс практически имеет очень малое боковое подтравливание и внедрен на передовых серийных заводах России.

### 5. Оплавление

Цели:

- Перевести нанесенные электролизом олово и свинец из пористого в плотный однородный сплав (припой).
- Удаление полос нависания по краям дорожек и контактных площадок.
- Сохранение паяемости и увеличение срока эксплуатации платы.
- Улучшение внешнего вида платы.

Оплавление — процесс, в котором плату нагревают, чтобы нанесенные олово и свинец расплавились и образовали сплав припоя (рис. 14, 15). Помимо этого, достигается интерметаллическое соединение олова и никележелезной меди. Это является важным требованием для достижения хорошей смачиваемости медного основания в процессе пайки.

Два наиболее распространенных метода оплавления — погружение в горячее масло и оплавление инфракрасными лучами. Последний метод предпочтителен по причине своей скорости и качества.

Сложности при оплавлении:

- недостаточная толщина припоя на острых кромках;
- образование интерметаллических соединений;
- коробление и искривление плат, вызванные нагревом.

Следует отметить, что оплавление плат нужно производить после обязательной сушки плат во избежание их расслоения и отслоения металлического рисунка от основания плат и от стенок отверстий.

### 6. Нанесение паяльной маски

Цели:

- Предотвращение образования мостиков припоя при автоматической пайке на тех участках платы, которые не следует паять (дорожки, переходные отверстия и контакты заземлений), при оставлении открытыми требующих пайки участков (монтажных контактных площадок).

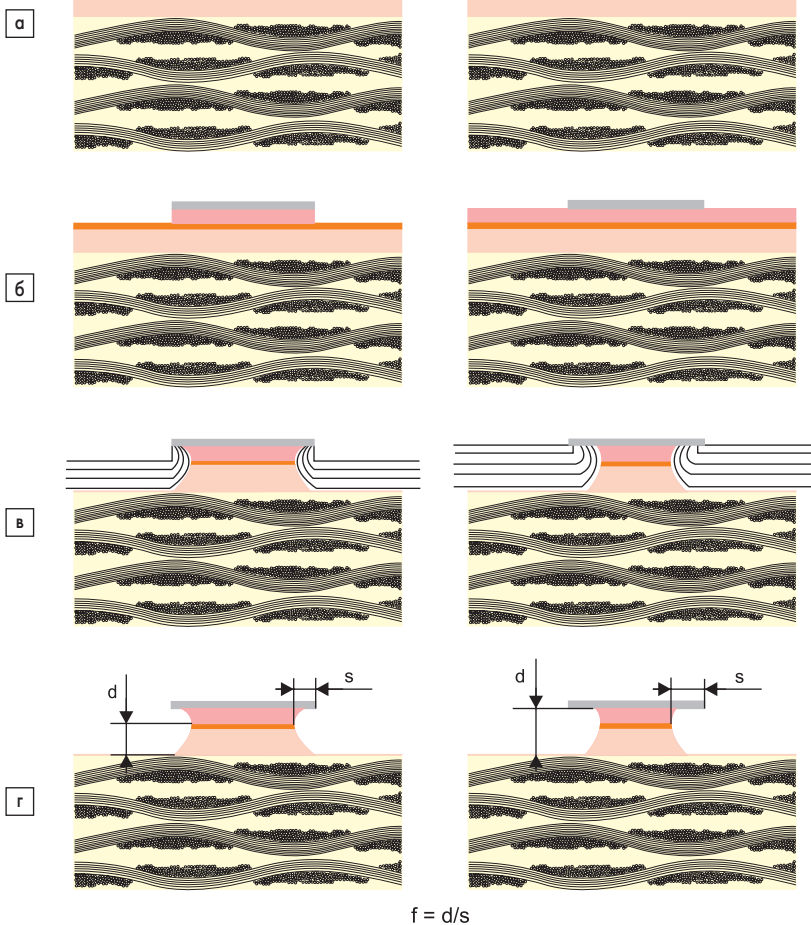


Рис. 13. Различия в процессе травления при металлизации по рисунку (слева) и при металлизации по всей поверхности (справа)

Очевидно, что чем больше следует удалить меди, тем больше будет размер подтравливания (рис. 13в).

- Результат травления. Размер подтравливания в случае металлизации по рисунку

оказывается намного меньше, чем при металлизации всей поверхности платы, так как при металлизации по рисунку нет необходимости удалять помимо медной фольги и гальваническое меднение (рис. 13г).

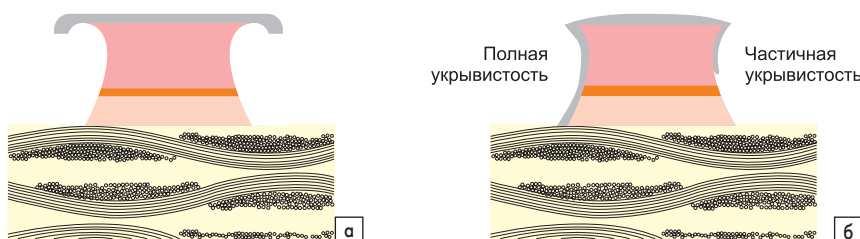


Рис. 14. Сравнение заготовок: а) до оплавления; б) после оплавления

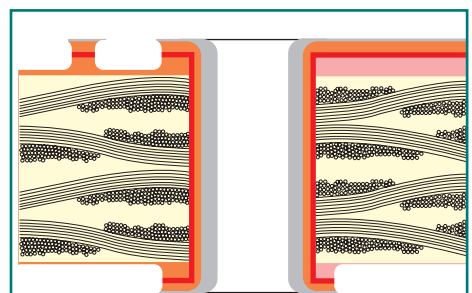


Рис. 15. Плата с оплавленным покрытием

- При автоматической пайке следует не допускать проникновения припоя в переходные отверстия во избежание последующего возникновения коротких замыканий при нарушении лаковой изоляции элементов, установленных над этими отверстиями.

- Установление изоляции между элементами и нижележащими дорожками или участками заземлений с целью предотвратить возникновение коротких замыканий.

Все загрязнения поверхности платы, полученные при ее оплавлении, следует удалить на стадии обработки растворителем, после чего плату сушат в печи. Затем на поверхность платы наносят паяльную маску.

Паяльная маска — это обычно паста на эпоксидной основе с пигментами зеленого цвета. Трафарет состоит из рамки, как основания для материи, на которую рисунок паяльной маски переносится с фотошаблона. Из-за требуемого тесного прижатия трафарета к основанию платы в местах, близких к дорожкам и контактам, стальные трафареты не используют. Для печати на неровной поверхности плат больше подходят трафареты из полиэфира, иногда металлизированные.

Под давлением ракеля, которым проводят по поверхности трафарета, паста проникает через отверстия в трафарете. Участки платы, не требующие покрытия, оказываются защищенными трафаретом. Толщина маски, нанесенной за один проход ракеля, обычно 10–15 мкм. После нанесения паста закрепляется посредством предварительной сушки в печи или ультрафиолетовыми лучами, в зависимости от ее типа.

Сложности при трафаретной печати:

- Загрязнение смежных контактных площадок.
- Существует вероятность получения непокрытой стенки дорожки, лежащей вблизи контактной площадки (рис. 17).
- При достаточно узком расстоянии между дорожками или их большой высоте могут проявиться следующие недостатки:
  - пространство заполнено полностью, однако паяльная маска покрывает края дорожек, так что между ними не возникнет мостиков припоя при пайке (рис. 18а);
  - пространство заполнено, но маска содержит небольшое количество пузырьков воздуха (рис. 18б);
  - пространство не заполнено, возникает неполное покрытие стенок дорожек (рис. 18в).
- Эффузия. Иногда на контактах образуется тонкая прозрачная пленка при вытекании пасты (без пигментов) из краев близлежащей маски.
- Ненамеренное перекрытие контактных площадок.
- Неравномерная толщина паяльной маски.
- Специальное перекрытие переходных отверстий.

### 7. Снятие металлорезиста

Цель: удаление металлорезиста травления (олово-свинец или олово), чтобы на дорожках, контактах, заземлениях и в сквозных металли-

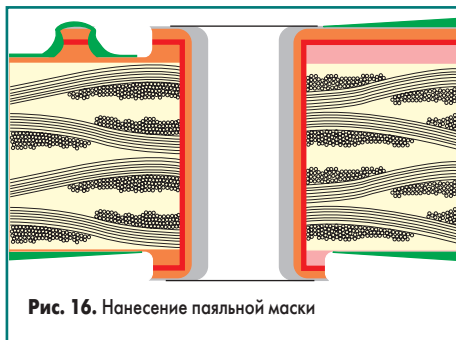


Рис. 16. Нанесение паяльной маски

зированных отверстиях обнажить нижележащий слой меди.

Удаление резиста травления достигается травлением платы, не затрагивающим медный слой или основание платы. Обычно для этого используют азотную кислоту со специальными добавками, которые прекращают процесс травления при достижении слоя интерметаллического соединения. Удаление последнего производится коротким травлением в резервуаре с хлоридом железа. После этого плату очищают, нейтрализуют и сушат. Очень важно избежать остатка следов олова-свинца или олова на меди, так как они могут ослабить адгезию паяльной маски.

### 8. Нанесение паяльной маски

Цель: покрытие медного рисунка платы паяльной маской за исключением контактов и сквозных металлических отверстий, требующих нанесения на них припоя (п. 6). Эту операцию проводят, если с проводников и контактных площадок удаляют металлорезист (п. 7), и на обнажившуюся медь наносят финишное покрытие.

### 9. Совмещение

Цель: обеспечение точного совмещения фотошаблона и заготовки.

Процесс:

- Оптическое совмещение по контактным площадкам.
- Оптическое совмещение по контрольным контактам заготовки.
- Совмещение штырями по контрольным отверстиям, просверленным или пробитым в заготовке.

- Комбинирование оптического и штыревого совмещений.
- Автоматическое совмещение.

### 10. Экспонирование паяльной маски

Цель: перенос рисунка масочного покрытия путем полимеризации тех областей покрытия, которые должны остаться на заготовке в виде паяльной маски.

### 11. Проявление паяльной маски

Цель: удаление непроэкспонированных и неполимеризованных областей паяльной маски средствами проявления.

После экспонирования рисунка паяльной маски с заготовки снимают защитную полиэфирную пленку для пленочной маски, и маску проявляют. Все неполимеризованные области (окружности вокруг контактов) смываются при промывке платы проявителем. Обычно это происходит в конвейеризованном промывочном процессоре. Если же были найдены дефекты после проявления, то еще можно отретушировать паяльную маску, но после термоотверждения — уже нет.

### 12. Финишное покрытие

Цели:

- Защита медного слоя от окисления.
- Получение поверхности, хорошо смачиваемой припоем.
- Получение поверхности, подходящей для пайки.

*Методы (варианты)*

**Горячее облуживание**

Преимущество: отличная способность к пайке.

Минусы:

- неравномерная толщина припоя по поверхности;
- жесткий термоудар.

**Покрытие никелем-золотом (иммерсионное золочение)**

Преимущества:

- возможность многократной пайки при высокой температуре;

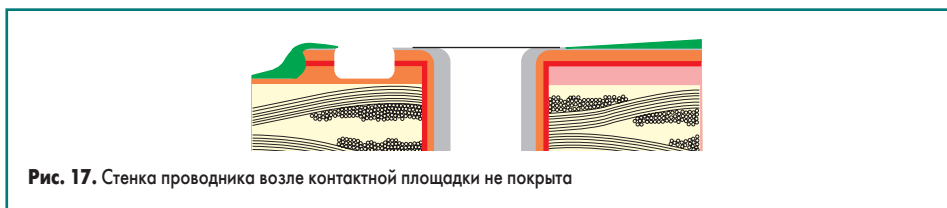


Рис. 17. Стенка проводника возле контактной площадки не покрыта

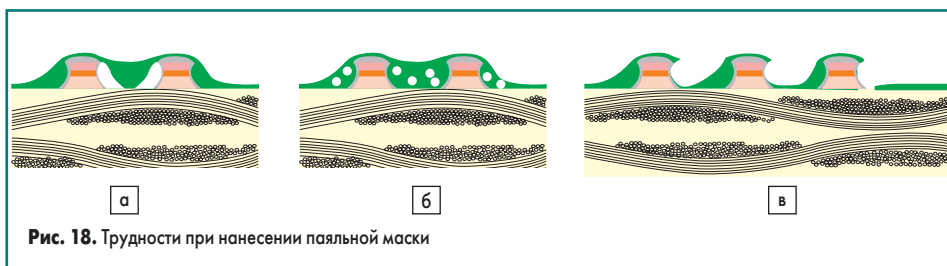


Рис. 18. Трудности при нанесении паяльной маски

- плоская контактная поверхность;
- свободно от ионных загрязнений.

Минусы:

- вероятность выделения на поверхность флюса, который не смывается припоем;
- процесс с высокими температурами растворов никелирования и золочения.

#### Нанесение органического ингибитора

Преимущество: низкая цена.

Минусы:

- технологическая ненадежность;
- не обеспечивает многократную пайку при высоких температурах;
- необходимость использования азотной среды при пайке.

#### Иммерсионное оловянирование

Преимущества:

- простота процесса осаждения;
- хорошая смачиваемость припоем;
- плоская контактная поверхность.

При введении в процесс осаждения разделительного буферного слоя между медью и оловом достигается длительная способность плат сохранять паяемость и обеспечить многократную перепайку.

### 13. Механическая обработка по контуру плат

Цели:

- Отделение плат от заготовок.
- Придание платам определенной формы контура.

Сегодня практически все платы оконтуриваются под управлением компьютерного цифрового контролера (КЦК). Фрезеровочный

станок может содержать КЦК-оконтуривание и сверлильную установку, однако больше распространено целиком КЦК-оборудование. Оконтуривание может быть совершено за один или за два прохода лезвия. Во втором случае края плат получаются более ровными. Заготовки обычно кладут на стол оконтуривания стопкой по 2–3 штуки. Фиксируют заготовки через крепежные отверстия; отдельные платы крепятся через внутренние крепежные отверстия двумя-тремя шттырями. Номинальное расстояние от линии контура платы до ее металлических поверхностей (дорожки, контакты) должно быть не менее 0,5 мм по причине того, что оконтуривающее лезвие рассчитано на эпоксидную смолу и стекловолокно, а не на мягкие материалы, такие как медь.

Другим методом оконтуривания является нанесение на платы засечек, то есть нарезание алмазным лезвием желобков по линиям контура. После нанесения засечек платы остаются соединенными в заготовку по всем четырем сторонам. После установки компонентов и проведения пайки можно разделить платы, просто отломив их друг от друга.

### 14. Маркирование

Цель: обозначение на плате позиций компонентов.

Обычно маркировку наносят при помощи трафарета поверх паяльной/изоляционной маски. Краска может быть одно- или двухкомпонентной эпоксидной смолой, которая по нанесении требует термоотверждения.

Маркировка должна быть хорошо читаемой и не размытой. Во избежание попадания чернил в паяемые отверстия, минимальное рас-

стояние от маркировки до отверстий должно быть 0,2 мм. Такое же расстояние нужно оставлять свободным до границ контактных площадок. Краска маркировки должна хорошо контрастировать с основанием платы или паяльной маской. Чтобы обеспечить устойчивость маркировки к механическим воздействиям, например к прикосновениям рук, ее подвергают термоотверждению.

В последнее время появились автоматические принтеры, которые капельно-струйным методом наносят маркировку и тут же ее предварительно отверждают. Оборудование само «захватывает» печатную плату, то есть нет необходимости в ее базировании, и маркирует по САД-программе. Оборудование практически не требует технического обслуживания, оно само себя обслуживает, и существует только единственное требование — не отключать это оборудование от электросети. Данное оборудование является дорогим, но оно себя быстро окупает в многокомпонентном производстве ПП с малым количеством плат каждого типа.

*Продолжение следует*

#### Литература

1. Медведев А. М. Печатные платы. Конструкция и материалы. М.: Техносфера, 2005. с. 304.
2. Медведев А. М. Технология печатных плат. М.: Техносфера, 2005.
3. Печатные платы: Справочник / Под ред. К. Ф. Кумбза (младшего). Пер. с англ. Под ред. А. Медведева. В 2 книгах. Книга 1. М.: Техносфера, 2011.