

Производство гибких и гибко-жестких печатных плат.

Часть 2. Производство гибких плат с металлизированными отверстиями

Эта статья — продолжение введения в технологии гибких печатных плат, начатое публикацией «Производство гибких печатных плат без металлизированных отверстий» [1].
Материалы статьи — результат плодотворного сотрудничества науки и производства: инженеринговой компании «ЭЛЕКТРОН-СЕРВИС-ТЕХНОЛОГИЯ» и ФГУП «Государственный рязанский приборный завод».

Валентина Люлина
Аркадий Медведев,
д. т. н., профессор
Геннадий Мылов
Юрий Набатов
Петр Семенов
Аркадий Сержантов
Светлана Шкундина

Введение

Многие операции обработки плат с металлизированными сквозными отверстиями, или, как мы их будем называть, — двусторонних плат, аналогичны операциям, уже описанным в предыдущей статье. Здесь будут рассмотрены только те операции, которые мы в ней не обсуждали.

Общее представление о схеме изготовления двусторонних гибких плат с металлизированными отверстиями дает рис. 1, где показана последовательность операций с общей металлизацией всей поверхности вместе с металлизацией отверстий (так называемый «тентинг-метод») [2–7].

Как показано на приведенной в конце статьи схеме технологического процесса изготовления двусторонних гибких плат со сквозными металлизирован-

ными отверстиями, существуют два варианта подхода к их производству. Оба процесса предусматривают сверление отверстий и осаждение меди на стенках отверстий для создания электрического соединения между двумя сторонами платы. Однако само выполнение рисунка схемы можно выполнить либо по методу сплошной металлизации всей поверхности заготовки (тентинг-метод), либо селективной металлизации только рисунка схемы (комбинированный позитивный метод).

По технологии полной металлизации поверхности заготовки медь осаждают на всю поверхность и в отверстия и затем создают изображение схемы и вытравливают медь, используя органический пленочный фоторезист. Пленка фоторезиста после экспонирования и проявления оставляет на меди рельеф рисунка, который защищает от травления проводники и металлизированные отверстия. При этом пленка фоторезиста плотно закрывает отверстия с двух сторон, как бы накрывая их зонтиком. Отсюда укоренившееся в русской терминологии заимствованное название метода — тентинг-метод. В английской терминологии этот метод теперь называется Panel Plating, то есть металлизация панели (заготовки).

По технологии селективного наращивания меди на рисунке органический резист используется для того, чтобы оголить те участки меди, на которые будет произведено наращивание меди, а затем металлорезиста. Потом фоторезист совсем удаляют, расположенную под ним медь стравливают, а металлорезист применяют как защиту рисунка и металлизации отверстий от травления. В отечественных стандартах этот метод назван «Комбинированный позитивный метод», в английской терминологии — Pattern Plating, то есть металлизация рисунка.

Производство с технологией сплошного меднения заготовки (тентинг-метод) отличается меньшей капиталоемкостью, поскольку содержит меньше операций и, значит, меньше оборудования. Но энерго-

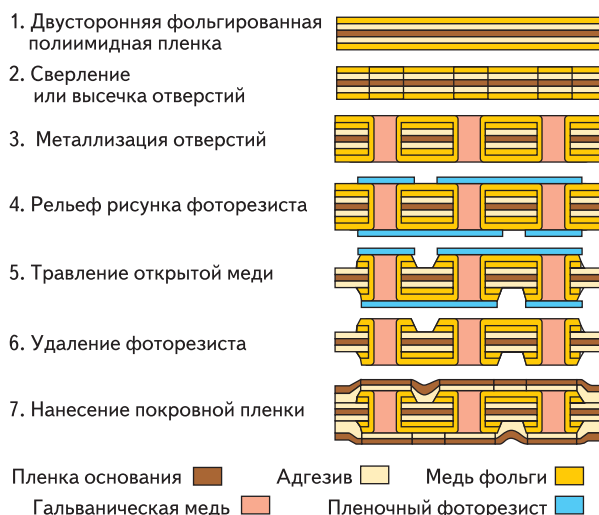


Рис. 1. Последовательность изготовления гибких плат с металлизацией отверстий

емкость его больше, так как приходится тратить медь и энергию на металлизацию всей поверхности заготовки, потом ее же на 70% (с пробельных мест) приходится стравливать и затем регенерировать. Мало того, разрешение рисунка по этому методу ограничено из-за необходимости травления толстых слоев меди и относительно большим размером контактных площадок, чтобы гарантированно защитить металлизированные отверстия пленкой фоторезиста от травления. Для гибких плат также существенно то, что при тентинг-методе создаются излишне толстые проводники, что снижает их устойчивость к многократным перегибам.

Металлизация только рисунка проводников (комбинированный позитивный метод) используется гораздо чаще, поскольку она обеспечивает хорошее разрешение рисунка проводников. Детально этих процессы рассматриваются далее.

Сверление отверстий и удаление заусенцев

Подготовка к сверлению

Гибкие заготовки укладывают в стопку между листами накладочного и подкладочного материала с такими же размерами, как листы заготовки. Количество листов заготовок в стопке, чтобы получить хорошее качество сверления, не должно превышать 15. В качестве накладочного и подкладочного материала, который охлаждает и очищает сверло, широко используют материалы, плакированные алюминием. Обычно используют материалы толщиной 1,6 или 2,4 мм для подложки и толщиной 0,4 мм для накладок. На входе сверла можно также использовать и простую алюминиевую фольгу толщиной 0,13, 0,3 или 0,4 мм. Можно применять и другие материалы, например гетинаксы, ДСП и другие. Вместе с тем, следует избегать использования композиционных материалов, которые содержат недополимеризованные или низкомолекулярные полимеры в качестве связующего, поскольку они могут размягчаться в нагревающейся зоне сверления и создавать излишнее наволакивание размягченного материала основания на стенки отверстия, а также оставлять резиноподобное налипание в спиральных канавках сверл.

Для сверления укладывают и закрепляют стопку заготовок на столе сверлильного станка так, чтобы не было коробления или подвижности слоев заготовок во время сверления. Если материал сдвинется во время сверления, в дальнейшем это приведет к смещению отверстий относительно рисунка схемы. Давление прижимной лапы должно быть таким, чтобы предотвратить сдвиг заготовок в стопке. Обычно оно бывает порядка 200 кПа. Отверстие в прижимной лапе, через которое проходит сверло, должно быть достаточным, чтобы можно было обеспечить хороший прижим материала в зоне сверления. Ход сверлильной головки вверх должен быть достаточно большим, чтобы можно было удалить стружку и дать время на охлаждение сверла.

Сверление

Сверление отверстий в двусторонних основаниях — это процесс с большим технологическим окном, причем подача сверла на один оборот зависит от диаметра сверления. Соблюдение рекомендаций изготовителя сверлильных станков и поставщиков материалов обычно позволяет получать приемлемые результаты.

Исследования процесса сверления (табл. 1) позволили найти режимы, при которых обеспечивается оптимальное качество отверстий. Эти режимы были получены при использовании в качестве накладки (на входе сверла) фольгированного алюминием материала толщиной 0,35 мм и для подложки — 2,4 мм. Гетинаксы без алюминия рекомендуется применять в тех случаях, когда нужно устранить вероятность забивания спиральной канавки сверла мягким алюминием или акриловым адгезивом.

Наилучшие результаты получают при использовании новых твердосплавных сверл, которыми можно высверлить 1000–3000 отверстий. Можно использовать и должным образом переточенные сверла, чтобы снизить расходы на замену сверл, хотя это и менее надежно. Тупые или неправильно переточенные сверла и неверные параметры сверления могут привести к перегреву зоны сверления, что отрицательно скажется на качестве отверстий.

Таблица 1. Параметры сверления фольгированных материалов

Диаметр сверла, мм	0,5	0,8	1,2
Подача на оборот, мм	0,025	0,06	0,2
Скорость резания, метры в минуту	80	100	125
Скорость вращения, тысяч об./мин	50	40	30
Скорость подачи, мм в секунду	20	40	40
Заготовок в стопке	10	10	10

Примечание. 1 мил = 25 микрон; 1 дюйм = 25,4 мм; 1 фут = 304,8 мм

Нарушение параметров сверления обычно ведет к возникновению двух распространенных дефектов: вырыванию адгезива из стенок отверстия и деформации пленки с образованием профиля, напоминающего в сечении по своей форме шляпку гвоздя. При дефекте «шляпка гвоздя» полиимид вытесняет адгезив, расположенный рядом с ним. Этот адгезив затем остается в отверстиях в виде прожилок.

Для разных материалов требуются разные скорости сверления и подачи. Например, в последних испытаниях материал «ПИРАЛЮКС FR» лучше всего сверлился при подаче 0,06 мм на оборот и скорости резания 100 м в минуту, что несколько меньше, чем нужно было бы для «ПИРАЛЮКС LF». Скорость подачи следует оптимизировать таким образом, чтобы сверло находилось в пакете как можно меньше времени, но не настолько, чтобы появились деформации материала в зоне сверления, напоминающие прокол иглой.

Удаление заусенцев

Заусенцы нужно удалять так, чтобы не деформировать края отверстий. К обычным ме-

тодам относятся ручная обработка абразивом, обработка орбитальной шлифовальной машинкой, ручное удаление порошком маршалита и очистка на конвейерной установке в струйной установке с пемзой.

Весьма важно удалить из отверстия всю стружку перед гальванической металлизацией. При хорошо контролируемых условиях сверления основной источник стружки — накладочный и подкладочный материалы [9]. Для ее полного удаления нужен лишь отсос, но при необходимости может быть использована и ультразвуковая очистка водой: чистой или с моющим средством.

Подтравливание для удаления наволакивания

Для двусторонних плат обычно не нужны какие-то специальные операции типа плазменного травления для удаления наволакивания адгезива (знаменитый desmear) и подтравливания стенок отверстия. Применение перманганатной очистки не рекомендуется, так как она имеет тенденцию вызывать разбухание и деградацию адгезива в отверстиях. Работа с щелочными растворами, к которым относится перманганатный раствор, опасна также для обработки полиимидных материалов, поскольку они не устойчивы в щелочной среде. Однако опыт показывает, что при тщательном регламентировании операции перманганатной очистки ее все-таки можно использовать без разрушения полиимидных композиций.

Перманганатная очистка имеет ряд неоспоримых преимуществ в очистке отверстий от наноса смолы на торцы контактных площадок внутренних слоев МПП после сверления. Многие производители печатных плат используют этот процесс, полагая, что последующая металлизация отверстий идет лучше после перманганатной очистки.

Гидроабразивная очистка не применима для гибких материалов и для очистки отверстий с диаметром меньше 6–8 суммарных размеров частиц абразива. Если в гидропульпе присутствуют частицы с поперечником 50 мкм, отверстия с диаметром меньше 0,3–0,4 мм будут закупорены и не обработаны.

Плазмо-химическая обработка является наиболее приемлемой для полиимидных и акриловых систем. Хотя она и имеет нарекания на неравномерность распределения высокочастотного поля, наличие пепла в отверстиях и остаточные электростатические заряды. Затруднения в ее использовании создает необходимость в организации газобаллонного хозяйства и регулярной поставки газов: фреона, кислорода, азота.

Полиимидные и полиимид-акриловые системы хорошо поддаются очистке в хромовой кислоте, но трудно смываемые остатки ионов Cr⁶⁺ «отравляют» последующие процессы активации. Это и проблемы с промывными водами, которые не дают возможности широко использовать очистку в хромовой кислоте.

Дополнительную информацию о плазменном травлении диэлектрика мы дадим в последующих публикациях.

Химическое меднение

Технологическая последовательность

Цель химического осаждения меди заключается в том, чтобы создать поверхностную электропроводность диэлектрических поверхностей, подлежащих электрохимической металлизации. Основное назначение, которое отличает этот процесс от электрохимического осаждения, заключается в том, что он позволяет осадить медь на непроводящие поверхности. Типичный процесс химического меднения включает в себя следующие операции:

- Обработка в слабощелочной ванне очистки и кондиционирования. В этой ванне при температуре 50...55 °С удаляются посторонние вещества, такие как грязь, следы масла от сверления, окисленные покрытия. Эта ванна используется для удаления следов масел, отпечатков пальцев и других загрязнений с поверхности медной фольги. Поверхности обрабатываются содержащимися в следовых количествах ингредиентами, способствующими лучшей абсорбции катализатора на последующих стадиях процесса.
- Микротравление. Снимается порядка 1–2 микрон меди, создается более шероховатая поверхность, что способствует лучшей адгезии последующей металлизации.
- Предварительная подготовка к катализации. Эта ванна служит буфером, защищает основную ванну катализатора от загрязнения и увеличивает чувствительность к катализатору.
- Катализация. Готовит поверхности к химическому осаждению меди, покрывая поверхность платы плотным каталитическим слоем.
- Акселерация. Создает активные центры для осаждения меди, удаляя олово из слоя катализатора.
- Химическое меднение. В ванне осаждается 0,4–2,5 мкм меди на катализированные поверхности. Скорость осаждения химической меди — 0,02 мкм в минуту.

Такой технологический цикл можно применять для выполнения соединений слоев сквозными металлизированными отверстиями в гибких композиционных материалах. Необходимо только помнить о чувствительности полиимида и адгезива к нагретым щелочам и не допускать длительного контакта со щелочной средой. В частности, многие из известных растворов для ванны очистки — кондиционирования и химического осаждения меди — не стоит использовать, так как они требуют высоких температур (65...75 °С), высокой щелочности (порядка pH = 12) и длительного времени пребывания в ванне (более 5 минут). Варианты с меньшей щелочностью (pH от 9 до 11,5) и работающие при комнатной температуре обеспечивают более широкое технологическое окно для химической металлизации полиимидных композиций.

Ванна очистки и кондиционирования

Комбинация слишком длительного времени пребывания в ванне очистки, высокой температуры и высокого значения pH приводит к появлению таких дефектов, как:

- набухание адгезива;

- гидролиз полиимида;
- появление неметаллизированных точек на поверхности полиимидной пленки;
- плохая адгезия осажденной меди с материалом основания.

Ничто не мешает химической меди осажаться на набухший адгезив. Но при нагреве разбухший адгезив уменьшается в объеме, из-за чего под покрытием возникают пустоты и поры. При осмотре микрошлифа разбухший адгезив зачастую принимают за адгезив, деформированный во время сверления.

Плохое осаждение или даже отсутствие меди на полиимидном слое менее заметно, но имеет столь же серьезные последствия. Слишком длительное пребывание в горячей щелочной среде может привести к частичному гидролизу полиимидной пленки, в результате чего образуется покрытие из испорченного полиимида или аминовой кислоты, которые трудно металлизуются. Химическая медь может перекрыть такой полиимидный слой, но адгезия здесь будет низкая.

Но всех этих дефектов можно избежать, если работать с растворами очистки/кондиционирования с низким значением pH (приемлемые результаты показывают слабощелочные растворы с pH от 9 до 10) при низкой температуре обработки (лучше всего комнатной) и с минимальным временем выдержки в ванне.

Химическое осаждение меди

При оценке химически осажденной меди наиболее важные показатели — пластичность и гибкость. Эти показатели должны быть как можно ближе к показателям отожженной катаной меди, используемой в гибких композиционных материалах. Многие растворы химического меднения, используемые в производстве гибких печатных плат, работают при комнатной температуре. К сожалению, все они имеют высокую щелочность. Однако щелочные ванны, работающие при комнатной температуре, не вызывают особых проблем. Но при использовании горячих щелочных ванн (более 50 °С) перед запуском производственной партии нужно все же проверить активность осаждения меди. Если погрузить заготовки в ванну, которая работает не очень активно, то задержка с образованием сплошного медного покрытия может испортить и поли-

имидную пленку, и адгезив. Эти дефекты аналогичны дефектам после ванны очистки и кондиционирования.

Прямая металлизация

Более 40 лет в процессах сквозной металлизации отверстий применяли палладий в качестве катализатора для химического меднения, но за последние 12 лет за рубежом перешли к процессам прямой металлизации [5, 8], в которых палладий используется для создания проводящего подслоя, не нуждающегося в последующем химическом осаждении меди.

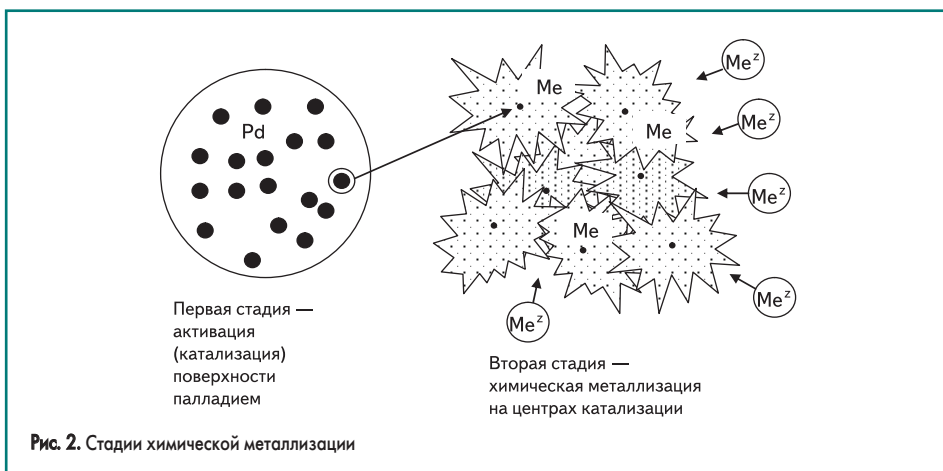
Преимущества прямой металлизации

Ранее было сказано, что процесс химической металлизации состоит из двух стадий: активации и химического восстановления меди на центрах активации. На первой стадии создаются закрепленные на поверхности диэлектрика отдельные вкрапления палладия — катализатора первоначального процесса химического восстановления металла. На второй — восстановление меди на центрах катализации (палладиевых частицах) и дальнейшее разрастание металла по поверхности диэлектрика без участия палладия (рис. 2).

Идея прямой металлизации состоит в том, что уже на первой стадии палладий был бы настолько диспергирован по поверхности, что, будучи электропроводным, образовывал бы сплошную проводящую пленку без последующей стадии химического восстановления меди. И это первое преимущество прямой металлизации.

Второе преимущество состоит в отсутствии необходимости гальванической затяжки, свойственной процессу химической металлизации. Гальваническая затяжка затрудняет аппаратную реализацию непрерывности процесса в линии химического меднения: после операций химического меднения приходится перезагружать платы на катодные подвески или изначально вести весь процесс с их помощью, но в них нет необходимости во время химических операций.

Третье преимущество прямой металлизации проявляется в обработке отверстий малого диаметра. При химической металлизации кроме осаждения меди неизбежно выделяется водород:



Выделяющийся водород закупоривает отверстие, мешая завершению процесса. Для дегазации отверстий приходится предпринимать специальные меры: наложение ультразвука, вибрацию подвесок, принудительное прокачивание отверстий рабочими растворами, чем не всегда удается достичь нужного результата. В прямой металлизации этот вредный процесс выделения водорода отсутствует.

Наличие формалина и большого количества щелочи делает раствор химической металлизации вязким, с большим поверхностным натяжением, что затрудняет его обмен на стенках отверстий. Из-за этого реакция восстановления металла в узких отверстиях замедляется, неравномерность осаждения сказывается на качестве и устойчивости процесса. Укрывистость поверхности при химической металлизации достигается увеличением продолжительности процесса, а значит, и увеличением толщины покрытия. Учитывая относительную рыхлость химических осадков, это всегда плохо, особенно для многослойных печатных плат. Растворы прямой металлизации имеют меньшую вязкость и поверхностное натяжение. И хотя приемы агитации процессов прямой металлизации используются в той же мере, как и для химической металлизации, прямая металлизация проходит устойчивее химической. И это четвертое преимущество прямой металлизации.

Поскольку химическое меднение — процесс автокаталитический, неизбежно металлизироваться и вся поверхность фольги наружного слоя, и торцы контактных площадок внутренних слоев. Это приводит к нежелательному расходу реагентов, а для многослойных плат — к наличию непрочного барьерного слоя между металлизацией отверстий и торцами внутренних слоев (рис. 3). Большая часть отказов межсоединений в МПП сосредоточена именно здесь. Процессы прямой металлизации организованы так, что проводящая пленка создается только там, где нужно, — на диэлектрике. Это пятое преимущество.

Процессы прямой металлизации более устойчивы в производстве при неизбежных ко-



Барьерный слой химически осажженной меди

Рис. 3. Барьерный слой на стыке торца контактной площадки внутреннего слоя МПП и металлизации отверстия

Таблица 2. Сравнение процессов химической и прямой металлизации

Параметр	Химическая металлизация	Прямая металлизация
Стадийность процесса	Активация + химическая металлизация	Активация
Плотность осадка	Рыхлый	Плотный
Наличие барьерного слоя между гальванической металлизацией отверстия и торцами контактных площадок на внутренних слоях	Есть	Нет
Необходимость гальванической затяжки	Есть	Нет
Выделение водорода	Есть	Нет
Управления процессом	По пяти параметрам	По двум параметрам
Вязкость раствора	Вязкий	Менее вязкий
Поверхностное натяжение, дин/см	54	40

лебаниях режимов (как теперь выражаются — «имеют широкие окна»). И это не последнее их преимущество. Сопоставление характеристик химической и прямой металлизации показано в таблице 2.

Переход от химической к прямой металлизации необязательно связан с приобретением новой линии. Поскольку процесс прямой металлизации имеет меньшую стадийность, линии химической металлизации с избытком достаточно для этого процесса. Необходимо только иметь в виду, что для реализации преимуществ прямой металлизации нужна более тщательная очистка отверстий с созданием развитой поверхности.

Системы прямой металлизации

Существует четыре широких категории прямой металлизации:

1. Коллоидная система, содержащая палладий:
 - палладиевый/оловянный активатор с гальванической затяжкой;
 - палладиевый/оловянный активатор с блескообразователем;
 - палладиевый/оловянный активатор с ванилином;
 - перевод палладия в сульфид;
 - варьирование палладиевых процессов.
2. Углеродная или графитовая система:
 - углеродные суспензии (Black Hole);
 - графит.
3. Процесс, основанный на осаждении токопроводящих полимеров.
4. Другие методы.

Технология прямой металлизации

Полное представление о процессе прямой металлизации можно получить на примере использования технологии компании «ЭЛЕКТРОН-СЕРВИС-ТЕХНОЛОГИЯ» (ЭСТ) [8]. Это новые разработки, освоенные на российских заводах, заслужили репутацию как устойчивые процессы для всех материалов печатных плат. В обозначениях растворов используются фирменные названия компании ЭСТ.

Очистка поверхностей

Состав раствора:

1. Деминерализованная вода — 800 мл/л.
2. Очиститель-кондиционер ДС-200 (ТУ 2630-002-56683531-2008) — 200 мл/л.

Режим обработки:

1. Рабочая температура раствора — 70 °С.
2. Время обработки в растворе — 7 мин.

Примечание. 1 литр готового раствора используют для обработки 10 м² поверхности.

Промыть заготовки в ванне с теплой (T = 30...40 °С) водой в течение 30 с. Промыть заготовки в холодной проточной воде в течение 2 мин.

Обработка в растворе преактиватора

Состав раствора:

1. Преактиватор ДС-400 — готовый раствор (ТУ 2620-003-56683531-2008).

Режим обработки:

1. Рабочая температура раствора — 20...25 °С.
2. Время обработки в растворе — 0,5 мин.

Примечание. 1 л свежего раствора преактиватора ДС-400 используют для обработки 25 м² поверхности.

Обработка в растворе активатора

Состав раствора:

1. Преактиватор ДС-400 (ТУ 2620-003-56683531-2008) — 950 мл/л.
2. Активатор ДС-500 (ТУ 2620-004-56683531-2008) — 50 мл/л.

Режим обработки:

1. Рабочая температура раствора — 42 °С, но не выше 50 °С.
2. Время обработки в растворе — 7 мин.

Примечание. 500 мл активатора ДС-500 достаточно для обработки 100 м² поверхности. Промывать заготовки в холодной проточной воде в течение 2 мин.

Обработка в растворе ускорителя

Состав раствора:

1. Дистиллированная вода — 400 мл/л.
2. Ускоритель ДС-650Л (ТУ 2620-005-56683531-2008) — 430 мл/л.
3. Ускоритель ДС-650П (ТУ 2610-006-56683531-2008) — 100 мл/л.
4. Ускоритель ДС-650Ц (ТУ 2610-007-56683531-2008) — 10 мл/л.

Режим обработки:

1. Рабочая температура раствора — 45 °С.
2. Время обработки в растворе — 7 мин.

После обработки 10 м² поверхности заготовок добавлять:

1. Ускоритель ДС-650Л (ТУ 2620-005-56683531-2008) — 430 мл.
2. Ускоритель ДС-650П (ТУ 2610-006-56683531-2008) — 100 мл.
3. Ускоритель ДС-650Ц (ТУ 2610-007-56683531-2008) — 10 мл.

Примечание. Промыть заготовки в холодной проточной воде в течение 2 мин. Обработать заготовки в стабилизаторе ДС-800 (10% (об.) раствора серной кислоты). Промыть заготовки в холодной проточной воде в течение 2 мин.

Обработка ингибитором

В случае необходимости межоперационного хранения обработать заготовки в растворе антиокислителя (ингибитора).

Состав раствора:

1. Деминерализованная вода — 950 мл/л.
2. Антиокислитель ДС-850 (ТУ 2630-008-56683531-2008) — 50 мл/л.
Режим обработки:
1. Рабочая температура раствора — 18...22 °С.
2. Время обработки в растворе — 0,5 мин.

Примечание. 500 мл антиокислителя ДС-850 достаточно для обработки 100 м² поверхности. Промыть заготовки в холодной проточной воде в течение 2 мин. Просушить заготовки.

Общая оценка процессов прямой металлизации

Преимущества процессов прямой металлизации:

1. Получение равномерных покрытий.
2. Изъятие из процессов растворов формалина и сильных комплексобразователей.
3. Короткое время создания поверхностной проводимости диэлектрика — порядка 15 с.
4. Используемые в технологии растворы обладают высокой стабильностью.
5. Возможность создания поверхностной проводимости для широкого диапазона диэлектриков.
6. Отсутствие разделительного слоя на стыках металлизации отверстий с торцами контактных площадок внутренних слоев МПП.
7. Хорошая рассеивающая способность при удовлетворительном обмене раствора в отверстиях.
8. Меньший объем химических анализов.
9. Отсутствие необходимости слива растворов, содержащих медь.

Коллоидные системы, содержащие палладий, позволяют получить самый лучший вариант прямой металлизации сквозных отверстий. От прежних процессов он отличается большей дисперсностью распределения палладия в тонкой покровной пленке и тем, что вместо химического восстановления медь здесь восстанавливается контактным методом, образуя тонкий слой с устойчиво хорошей электропроводностью.

По стоимости химических компонентов процесс прямой металлизации на основе использования углеродных суспензий (Black Hole) дешевле, но техническая реализация процесса Black Hole сложнее и стоимость оборудования больше, чем для палладиевой системы, где можно использовать обычные погружные системы. Это обусловлено тем, что в линию процесса Black Hole приходится вводить дополнительные устройства:

- для предотвращения расслаивания раствора — ультразвуковое эмульгирование графитовой суспензии;
- для предотвращения уноса суспензии — двойные отжимные ролики на входе и выходе из камеры обработки;
- для предотвращения неравномерности покрытия — специальная конструкция трубопроводов подачи раствора;

- для предотвращения засорения отверстий для подачи суспензии — специальные щелевые напорные трубопроводы;
- для обеспечения устойчивости покрытия отверстий — система мягких роликов, принудительно вдавливающих суспензию в отверстия;
- для повышения эффективности сушки — роликовая сушка с двумя воздушными ножами, один из которых продувает отверстия, другой отсасывает остатки раствора и воды; повторная сушка для маленьких отверстий.

Российские предприятия, первоначально освоившие систему Black Hole, отказываются от нее в пользу палладиевых систем.

Гальваническое меднение

Гибкие композиционные материалы легко поддаются гальванической металлизации в стандартных растворах, применяемых в промышленном производстве печатных плат. Необходимо только учитывать присущие им особенности.

Фоторезисты для селективного меднения

Платы с рисунком высокого разрешения (шаг трасс меньше 150 мкм) нуждаются в чистых, хорошо протравленных поверхностях, так как необходимо свести к минимуму вероятность отслоения резиста во время меднения.

Фоторезисты, применяемые для селективного меднения, должны иметь толщину, превышающую суммарную толщину осаждения меди и припоя. Недостаточная толщина резиста ведет к образованию «грибовидного» профиля в сечении наращенных проводников схемы.

Гальваническая затяжка

Гальваническая затяжка представляет собой тонкую (порядка 51,5 мкм) гальваническую медь, осажденную на всю поверхность химически осажденной меди. Гальваническая затяжка наносится специально сразу же вслед за осаждением химической меди для того, чтобы придать механическую и химическую прочность тонкому слою химической меди. Увеличившаяся толщина меди снижает вероятность стирания или надлома меди в ходе последующей химической очистки и ламинирования фоторезиста.

Для того чтобы нейтрализовать поверхность заготовки после химической меди перед погружением в электролитическую ванну меднения, ее нужно выдерживать, по крайней мере, 1–2 минуты в 10%-ной серной кислоте. Задел заготовок может находиться в кислой ванне до трех часов, пока на них не скажется эффект подтравливания. При использовании лимонной или малеиновой кислоты время пребывания в ванне можно увеличить.

Механическая прочность металлизации сквозных отверстий

В сквозных отверстиях нужно осадить медь такой толщины и жесткости (это комбинация прочности на разрыв и пластичности), кото-

рые позволяли бы выдерживать резкие температурные перепады, наблюдающиеся при пайке платы.

Недостаточная механическая прочность металлизации отверстий может привести к серьезным дефектам в виде разрыва соединения или отрыва металлизации от стенок отверстий. Механические характеристики металлизации в общем можно оптимизировать и поддерживать в этом состоянии, регулируя уровни содержания различных компонентов в ванне.

Механические характеристики меди в сквозном отверстии зависят не только от состояния ванны, но и от надлежащей подготовки отверстия к гальванике. Резкая кромка (заусенец) на входе отверстия (мы называем это «коленом») дает на 10% меньшую прочность на разрыв и на 50% меньшее удлинение по сравнению со сглаженным входом в отверстие. Отверстия с неровными стенками содержат больше дефектов металлизации, отсюда и необходимость в качественном сверлении и соответствующей подготовке поверхностей отверстий.

Сама форма осадка меди тоже может влиять на механические характеристики. Различные неоднородности (например, язвочки, колебания толщины и т. д.) в металлизации создают концентрации напряжений и выступают как инициаторы развития трещин. Мелкокристаллический, равномерный осадок дает повышенную прочность.

Хорошо себя зарекомендовали добавки к электролиту меднения КУ 400 (ТУ 2499-014-56683531-2008), которые дают возможность получать блестящий, мелкокристаллический, пластичный, прочный осадок.

Отрыв цилиндра меди редко перерастает в проблему в производстве двусторонних плат, но вероятность разрыва соединений значительно увеличивается с ростом числа слоев платы.

Гальваническое осаждение металлорезиста

Металлорезист в виде гальванически осажденного олова или сплава олово-свинец осаждают на гальваническую медь. Он служит защитой (резистом) при травлении в технологии селективного меднения рисунка схемы (комбинированный позитивный метод). Обычно 5–7,5 мкм металлорезиста вполне достаточно для того, чтобы защитить от травления металлизацию отверстий, медные проводники и контактные площадки при травлении меди из зазоров (пробельных мест). Химический состав ванны для осаждения олова или припоя олово-свинец следует контролировать так, чтобы обеспечить достаточно прочный осадок, который защитит бы медь рисунка от воздействия травильного раствора на основе аммиачного комплекса хлорной меди, используемого для удаления меди из пробельных мест. Важно, что в технологии селективного меднения рисунка схемы используется именно аммиачный (а не кислый) раствор травления меди. Кислые растворы, например, с хлорной медью или хлорным железом, растворяют олово и припой, лишая их способности работать в качестве резиста для травления меди.

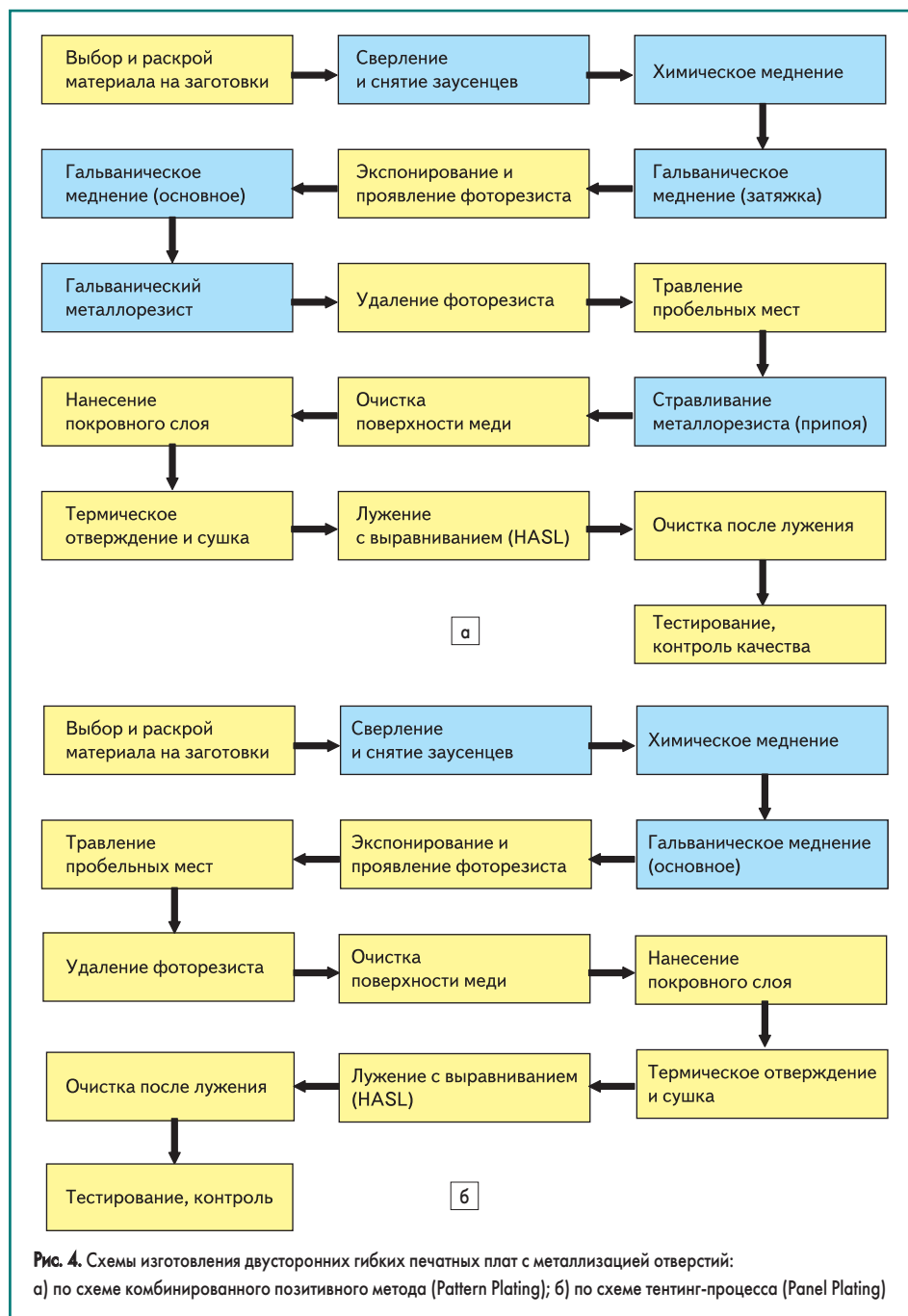


Рис. 4. Схемы изготовления двусторонних гибких печатных плат с металлизацией отверстий: а) по схеме комбинированного позитивного метода (Pattern Plating); б) по схеме тентинг-процесса (Panel Plating)

Гальванически осажденные олово или сплав олово-свинец можно использовать в качестве металлорезиста при меднении отверстий внутренних слоев многослойных плат. Металлорезист после травления рисунка удаляется травлением, в результате на внутреннем слое остается только медная металлизация. (Альтернативой этому может быть использование вместо припоя сухого пленочного резиста, который выступает как резист травления по схеме тентинг-метода).

Стравливание гальванического олова или сплава олово-свинец — металлорезистов при травлении меди

Нанесение покровного слоя по олову или припою принципиально недопустимо из-за его подплавления под маской при групповом нагреве. Поэтому после использования в качестве металлорезиста при травлении рисунка олово или олово-свинец обычно снимают в од-

ном из известных растворов на основе азотной кислоты, которых на рынке достаточно много. Обычно за этими растворами следует ванна на основе азотной кислоты для удаления остатков свинца и олова с поверхности меди.

Но лучше использовать готовые растворы типа «Раствор для удаления олова или олово-свинца ТЛ 510» (ТУ 2620-027-56683531-2008)
Примечание. Нанесение покровного слоя рассмотрено более подробно в предыдущей части статьи (см. ТвЭП № 3 `2008, стр. 6–11).

Схемы изготовления двусторонних гибких печатных плат с металлизацией отверстий

Как итог вышесказанному, на рис. 4 приведены технологические схемы изготовления двусторонних гибких печатных плат с металлизацией отверстий.

Литература

1. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 1. Производство гибких плат без металлизированных отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
2. DuPont Electronics. Применение гибких материалов в производстве печатных плат. США. 1998.
3. Медведев А. Печатные платы. Конструкции и материалы. М.: Техносфера, 2005.
4. Медведев А. Технологические процессы в производстве печатных плат. М.: Техносфера, 2006.
5. Технологии в производстве электроники. Сборник статей специалистов ЭСТ. Часть 1. Производство печатных плат. М.: МэйкАП-принт, 2005.
6. Технологии в производстве электроники. Справочник / Под редакцией П. В. Семенова. Часть II. Справочник по производству печатных плат. Совместный проект ООО «Электрон-Сервис-Технология» и Гильдии профессиональных технологов приборостроения. М.: Группа ИДТ, 2007.
7. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008.
8. Lundquist J., Медведев А., Салтыкова В. Системы прямой металлизации // Компоненты и технологии. 2003. № 3.
9. Сайт компании «ЭЛЕКТРОН-СЕРВИС-ТЕХНОЛОГИЯ»: www.elservtechno.ru