

Травление проводящего рисунка современных многослойных печатных плат

Явно выраженный мировой тренд миниатюризации РЭА, создание нормативно-технической документации, специфицирующей новые классы МПП (6-й и 7-й), разработка и появление на рынке новых технологических приемов и моделей оборудования заставляет вернуться к обсуждению вопросов технологических последовательностей формирования и методов травления проводящего рисунка многослойных печатных плат. В 2008 году автор уже касался этих вопросов, рассматривая в первую очередь травление наружных слоев [1]. Но жизнь не стоит на месте, а в электронной отрасли — просто несетя со скоростью экспресса, и сегодня представляется целесообразным вернуться к обсуждению техники травления проводящего рисунка.

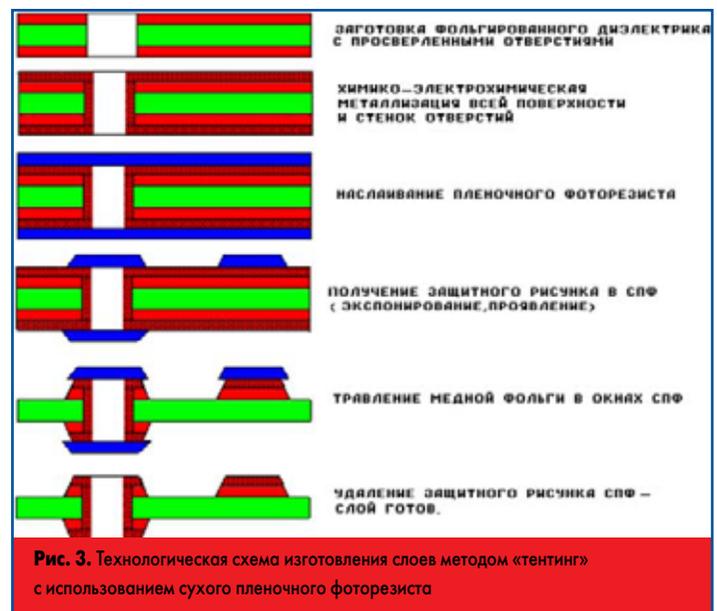
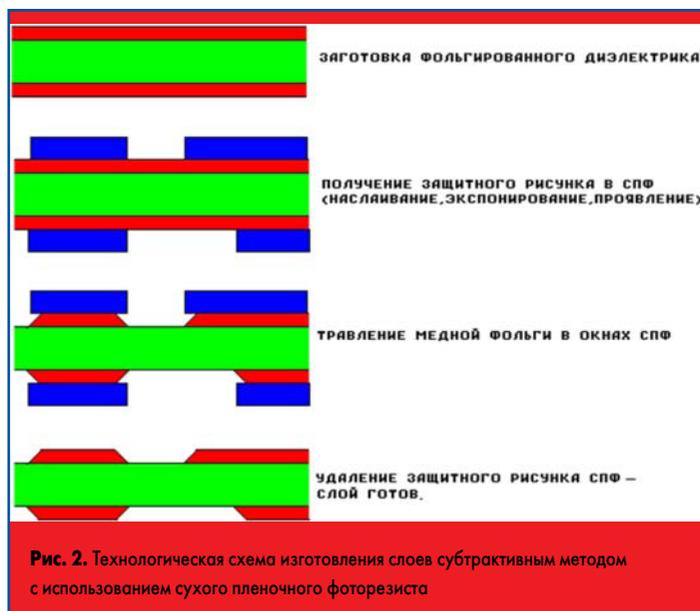
Илья Лейтес

i_leytes@rts-engineering.ru

Но сначала давайте договориться о терминах. Основными, используемыми в производстве печатных плат методами формирования рисунка являются позитивный и негативный методы.

Позитивный метод (рис. 1) предполагает применение позитивных фотошаблонов. Его называют еще позитивным комбинированным, так как в процессе гальванической металлизации кроме меди высаживается еще один металл (в последнее время, как правило, олово), который при травлении используется, как металлорезист и после травления удаляется. Другое название этого метода — «полуаддитивный» (от англ. *additive* — «дополнительный»). Здесь имеется в виду, что проводник формируется в процессе металлизации не полностью, а частично. Одна часть его толщины формируется за счет фольги ламината, другая — выращивается в процессе металлизации. В итоге общая толщина равна сумме толщин фольги и гальванической металлизации. Причем в условиях использования тонкомерной фольги определяется главным образом последней, и чаще всего находится в интервале 40–70 мкм.

Негативный метод (рис. 2) выполняется с помощью негативных фотошаблонов (пробельные участки там, где должен остаться металл). Еще его называют субтрактивным (от англ. *subtract* — «вычитать»), так



как формирование рисунка происходит путем вытравливания («вычитания») не входящих в рисунок участков меди. Разновидностью этого метода, относящегося к формированию наружных слоев МПП (или ДПП в целом, поскольку у них нет внутренних слоев), является тентинг (рис. 3) (от англ. *tenting* — «устанавливать шатер»). При данном методе отверстия для предохранения от травливания металлизации закрываются «крышками», или «тентами», формируемыми из фоторезиста.

Теперь о способах травления рисунков. В производстве ПП чаще всего используются два способа травления — кислотное и щелочное. Не вдаваясь в химизм процесса, отметим, что оба способа реализуются через окисление нейтральной (металлической) меди в одновалентную медь, с той лишь разницей, что при кислотном травлении это происходит в кислой среде ($pH \approx 3$), а при щелочном — в щелочной среде ($pH \approx 8,5$). Формирование рисунка внутренних слоев (без переходных отверстий), как правило, проводится негативным методом и может быть реализовано как кислотным, так и щелочным травлением. Наружные слои (когда выполнены переходные отверстия) изготавливаются как комбинированным позитивным, так и тентингом (негативным) методом. Причем тентинг, как уже было сказано, может быть реализован как кислотным, так и щелочным травлением, а позитивный метод — только щелочным травлением (поскольку металлорезист является маской лишь для щелочного травителя).

Главная характеристика прецизионности ПП — параметр линия/зазор (их ширина). Еще одной существенной характеристикой операции травления является так называемый фактор травления — степень вертикальности боковых стенок проводника в поперечном сечении (рис. 4).

Особенности процесса щелочного травления не позволяют получить фактор травления больше 2,5–3, в то время как кислотным травлением удается достичь фактора травления в диапазоне 4–6. Для печатных плат 6-го и особенно 7-го класса точности это имеет значение.

В процессе травления существенное влияние, затрудняющее формирование прецизионного рисунка, оказывают следующие факторы:

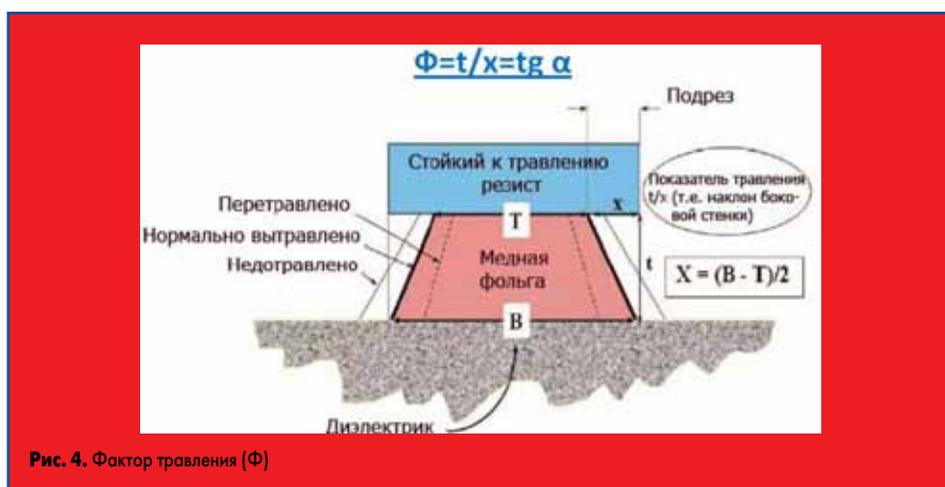


Рис. 4. Фактор травления (Φ)

- затрудненный отвод отработанного раствора с верхней поверхности заготовки — «эффект лужи»;
- затрудненный отвод отработанного раствора в местах параллельно идущих проводников с малым зазором «эффект шлейфа»;
- разнотолщинность гальванической меди по площади заготовки (краевой эффект гальванической металлизации);
- малое значение фактора травления.

Разработчики оборудования для прецизионного травления оснащали его различными приспособлениями, снижающими проявление этих отрицательных факторов. Так, на рынке появились травильные установки с автоматическим поддержанием постоянности состава травильного раствора по плотности, «редокс-потенциалу», значению pH. Для снижения «эффекта лужи» применялись системы:

- TFS (Turbulence Free Spray) — попеременная импульсная подача рабочего травильного раствора из линеек форсунок, расположенных по краям конвейера вдоль направления движения заготовок;
- вакуумное травление — вакуумное отсасывание отработанного травильного раствора с верхней плоскости заготовки;
- интермиттирующее травление — дополнительный блок, обеспечивающий дотравливание по всей поверхности заготовки.

В последнее время появились новые высокотехнологичные разработки: блок интер-

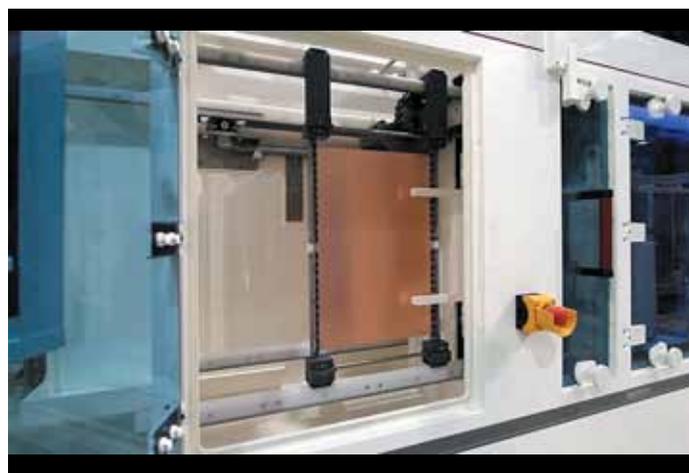
миттирующего травления с индивидуальным управлением форсунками (рис. 5) и установка сверхпрецизионного травления с вертикальным конвейером (рис. 6), позволяющие сни-



Рис. 5. Блок интермиттирующего травления с индивидуальным управлением форсунками



Рис. 6. Установка вертикального травления



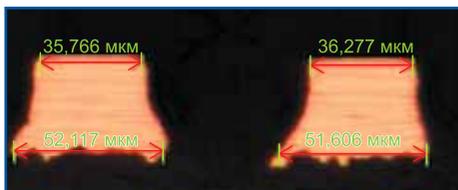


Рис. 7. Рисунок, полученный на горизонтальной травильной установке

жать проявление всех трех вышеописанных негативных факторов.

Особенности работы блока интермиттирующего травления:

- Сопла могут управляться напрямую от ПК.
- Отдельные сопла также интермиттивно контролируются (опция).
- Нет ограничений в формате плат.
- Возможно травление двух рядом лежащих плат.
- Оптимальная форма полива для каждого формата платы.
- Однажды разработанные программы запоминаются и при необходимости загружаются вновь.

Особенности работы установки вертикального травления:

- Травление до 20/20 мкм.
- Бесконтактное перемещение.
- Нет «лужи».
- Нет выноса состава.

Горизонтальная травильная установка с блоком интермиттирующего травления с индивидуальным управлением форсунками и традиционным кислотным травителем позволяет получать рисунок с параметром линия/зазор 50/50 мкм на толщине меди 35 мкм с фактором травления 5 (рис. 7).

Вертикальная травильная установка с использованием «оксфордского травильного раствора» позволяет получать рисунок с параметром линия/зазор 20/20 мкм на толщине меди 17 мкм с фактором травления 6 (рис. 8).

Мы видим, что возможность получения высоких значений «фактора травления» делает кислотное травление (а вместе с ним негативный метод, а также тентинг, как одну из его разновидностей) очень привлекательным для получения прецизионного проводящего рисунка. Напомним, что при этом негативный метод (тентинг) обладает рядом неоспоримых преимуществ.

1. Короткий техпроцесс. Это связано главным образом с отсутствием в технологической цепочке операций, предполагающих необходимость наносить, а потом снимать металлорезист.
2. Высокое качество гальванического осадка. При тентинге процесс гальванической металлизации происходит по всей поверхности заготовки, когда на ней нет фоторезиста. Отсутствие больших масс органического вещества в ваннах гальванической металлизации позволяет легко формировать высокопластичный медный осадок в металлизированных отверстиях, что существенно повышает надежность печатной платы, особенно при групповой пайке, принятой в технологии поверхностного монтажа.

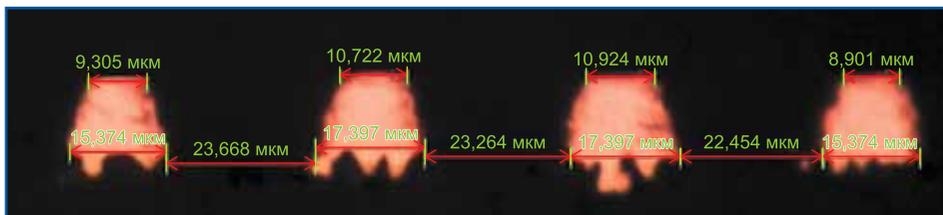


Рис. 8. Рисунок, полученный на вертикальной травильной установке

3. Постоянная величина тока при гальванической металлизации — определяемая постоянной площадью металлизации в связи с отсутствием рисунка. Это очень удобно в условиях многономенклатурного производства и устраняет возможность субъективных ошибок оператора (при установке режимов линии), а также технологов (при подготовке производства и расчете площади металлизации и выравнивающих рамок).
 4. Высокое качество поверхности под паяльную маску, поскольку на поверхности меди отсутствуют остатки металлорезиста, которые могут приводить к ухудшению адгезии паяльной маски. (Наличие остатков металлорезиста типовой и трудно контролируемый дефект при позитивной технологии, приводящий к ухудшению адгезии паяльной маски, в том числе и при работе по варианту без снятия металлорезиста, ПОС.)
 5. Единая методика формирования внутренних и наружных слоев. Внутренние слои всегда выполняются негативным методом. Использование единой техники изготовления наружных и внутренних слоев существенно упрощает организацию производства.
 6. Одна программа сверления. Тот факт, что металлизация отверстий при тентинге происходит по сплошной заготовке, позволяет до металлизации просверлить как металлизированные, так и неметаллизированные отверстия. Впоследствии при фотолитографическом формировании рисунка отверстия, которые не должны иметь металлизацию, не тентинуются (в фотошаблоне наружного слоя) и металлизация из них удаляется при операции травления. Это сокращает техпроцесс и увеличивает точность совмещения массивов неметаллизированных и металлизированных отверстий с рисунком наружного слоя.
 7. По сравнению с позитивным процессом, в котором в качестве металлорезиста используется сплав олово-свинец, существенным преимуществом тентинга является отсутствие свинца в стоках. В последнее время, правда, этот металлорезист повсеместно вытесняется чистым оловом.
 8. Отсутствие ванны нанесения металлорезиста (снижение издержек на приобретение компонентов рабочих растворов, оловянных анодов и т. п.) и оборудования для снятия металлорезиста.
- Главным недостатком тентинга (а именно этот вариант негативного метода конкурирует с комбинированным позитивным процессом) была, как многие считают, худшая по сравнению с позитивным методом прецизионность. В первой части статьи автор показал, что возможность получения больших значений фактора травле-

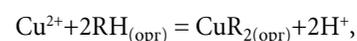
ния в сочетании с использованием передового высокотехнологичного оборудования делает тентинг более привлекательным (с учетом всех его положительных свойств) для изготовления печатных плат с прецизионным рисунком.

Во второй части статьи хотелось бы остановиться еще на одном процессе, в существенной мере снижающем (или компенсирующем) другой недостаток негативного метода — увеличенный расход меди (анодов).

Это процесс регенерация травильного раствора. Утилизация использованных травильных растворов является большой проблемой для производства печатных плат, особенно в современных условиях постоянного ужесточения экологических требований. Регенерация позволяет организовать замкнутый производственный цикл и, имея на выходе процесса чистую медь, в значительной мере компенсировать издержки. Однако если регенерация щелочного травильного раствора давно и успешно освоена, то промышленные процессы регенерации кислотного травильного раствора получили распространение относительно недавно. Поскольку регенерация кислотного травильного раствора технически значительно более сложная, так как связана с проблемой борьбы с выделением газообразного хлора. В настоящее время рынок технологического оборудования предлагает промышленную установку регенерации кислотного травильного раствора и промывных вод установки травления с безусловным соблюдением всех санитарно-экологических норм и требований.

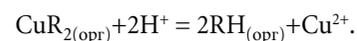
Жидкостная экстракция и процесс электролиза являются основой данного метода регенерации медно-хлоридного раствора.

Жидкостная экстракция:



где $\text{RH}_{(\text{opr})}$ — восстановленный органический реагент МХ 80.

Извлечение меди из органического раствора в сернокислый электролит:



Электроосаждение меди из сернокислого электролита:



Рассмотренная система регенерации имеет четыре замкнутых цикла:

- цикл травильного раствора;
- цикл промывочной воды;
- цикл органического реагента МХ 80;
- цикл сернокислого электролита.

Она позволяет:

- значительно снизить потребление химикатов для раствора травления;
- значительно сократить производственные затраты;
- извлекать из отработанного травильного раствора электролитическую медь высокой чистоты (99,995%);

- обеспечивать стабильность параметров процесса травления.

Надеюсь, что изложенная в этой статье информация поможет производителям, изготовителям печатных плат в организации и внедрении техпроцесса выпуска прецизионных печатных плат (6–7 классов точности) с использованием всех преимуществ тентинг-

процесса, что является особенно актуальным в условиях стремления разработчиков РЭА к миниатюризации.

Литература

1. Лейтес И. Альтернативные методы изготовления печатных плат // Производство электроники. 2008. № 1–3.