

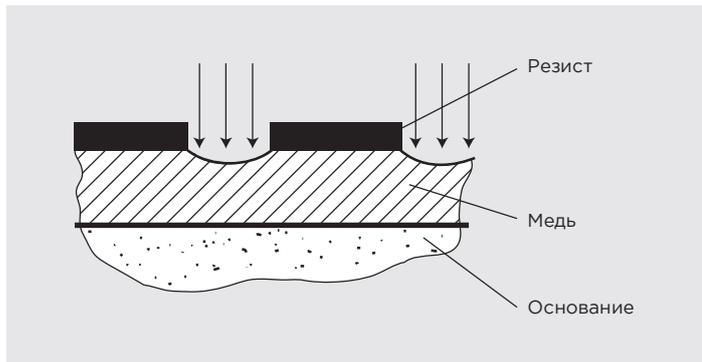
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ ТРАВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Текст: Аркадий Медведев, Аркадий Сержантов



Травление меди для формирования рисунка проводников является одной из основных операций в производстве печатных плат. Потому они и «печатные», что процесс травления – завершающая операция фотолитографического процесса формирования рисунка печатной схемы. Ужесточающиеся требования к прецизионности рисунка схем с уменьшением ширины проводников и зазоров до 25...50 мкм¹ обуславливают актуальность попыток совершенствования технологий травления. В статье представлена технология воспроизведения прецизионного рисунка проводников печатных плат с применением системы управления составом медноаммиачного травильного раствора и оборудования с фронтальным напором струй раствора и вакуумным отсосом луж раствора.

¹ ГОСТ Р 53429-2009. Платы печатные. Основные параметры конструкции

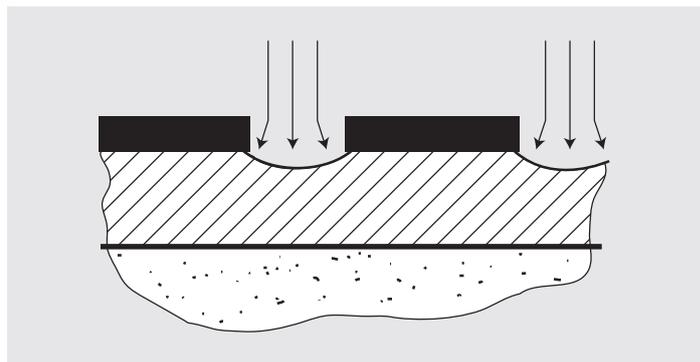


1 Начало процесса травления

Для управления процессом линия травления содержит блок перманентного экстракционного извлечения избытка меди из травильного раствора, чтобы поддерживать его состав на границе «травление/отсутствие травления» («на грани фола»). Фронтальный напор струй в сочетании с граничными условиями травления создают условия растворения металла только на дне зазора между проводниками. В этом случае боковые стенки зазора почти не подвергаются растворению, что обеспечивает минимальный боковой подтрав проводников схемы при относительно большой толщине вытравливаемого металла (меди фольги и гальваники). Кроме условий получения прецизионного рисунка проводников печатной схемы предлагаемая технология создает условия для снижения экологической нагрузки на сооружения очистки промышленных стоков вод.

В производстве печатных плат перепробовано много составов травильных растворов в сочетании с резистами, создающими избирательность растворения металлов^{2,3}. Все они основаны на окислении вытравливаемых металлов и последующем растворении их окислов. Если в качестве травящих растворов используются вещества с переменной валентностью, как например, медь или железо, персульфаты процесс окисления и растворения окислов осуществляется в одном цикле. В итоге в производстве печатных плат установилось использование кислых растворов на основе хлорной меди в сочетании с органическими резистами и щелочные растворы на основе аммиачного комплекса хлорной или сернохлорной меди в сочетании с металлорезистами на основе олова (олово, олово-никель, олово-свинец)^{4,5}.

Все существующие процессы травления рисунка проводников печатных плат относятся к изотропным процессам, т.е. они растворяют металл во всех направлениях оди-



2 Наблюдается подтрав боковых сторон печатного проводника под резистом

наково. В процессе травления проводников схемы кроме вертикального травления, т.е. травления по глубине зазора, происходит также и горизонтальное травление, так называемый боковой подтрав. Всегда желательно уменьшить боковое подтравливание, чтобы добиться прямоугольной формы сечения вытравленного проводника.

Процессы травления могут быть погружными и струйными.

Основное преимущество погружного травления – это равные условия травления для двух сторон заготовки. По всей заготовке наблюдается одинаковый боковой подтрав, и скорость травления примерно одинаковая при условии перемешивания раствора или возвратно-поступательного перемещения заготовки в растворе. Но и при этом обмен раствора на поверхности заготовки минимальный, а боковой подтрав получается большим, так как процесс травления как в ширину, так и в глубину идет с одинаковой скоростью. Такие условия травления при изготовлении прецизионных печатных плат не устраивают современное производство из-за повышенного бокового подтравливания. Задача конструктора и технолога при проектировании оборудования для травления печатных плат добиться наибольшей скорости травления в глубину, а не в сторону под металлорезист или органический резист (фоторезист).

Струйный метод травления является наиболее эффективным как по скорости процесса, так и по снижению величины бокового подтравливания. Струйное травление обычно осуществляется в конвейерных установках, в которых на заготовки печатных плат, перемещаемых по транспортеру, сверху и снизу подаются струи травильного раствора.

Рассмотрим этапы травления рисунка, локально защищенного резистом.

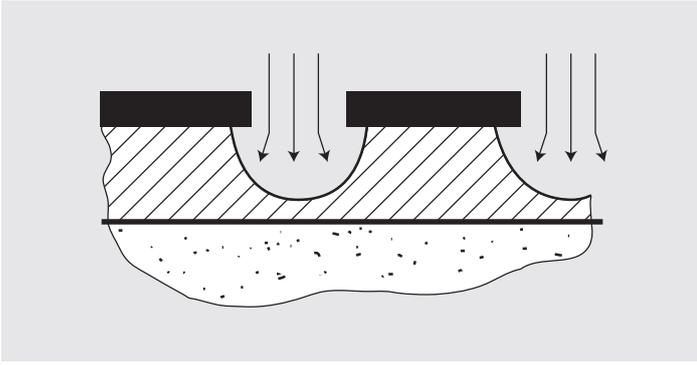
Начало процесса травления (рис 1): поверхность меди покрыта рисунком из защитного резиста. Здесь травящая среда омывает, травит и удаляет те участки меди, которые не защищены резистом. Промежуточные этапы, показанные на рис 2 и 3, демонстрируют дальнейший ход этого процесса.

² Clyde F. Coombs Printed Circuits Handbook McGraw-Hill Professional, 2007

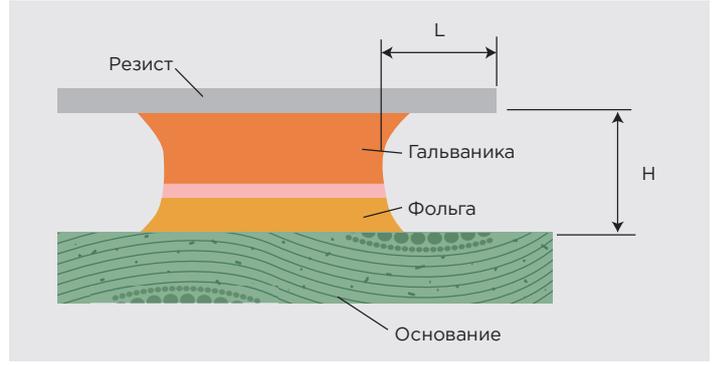
³ Печатные платы: Справочник / Под ред. К. Ф. Кумбза. Перевод с англ. М.: Техносфера, 2011

⁴ Jump up to: Charles A. Harper, Electronic materials and processes handbook, McGraw-Hill, 2003

⁵ «The Rise of High Density Interconnect PCBs – HDI PCBs».



3 Продолжение травления медной поверхности и боковых сторон (ребер) печатного проводника



4 Результат изотропного травления меди. Наблюдается боковой подтрав L печатного проводника

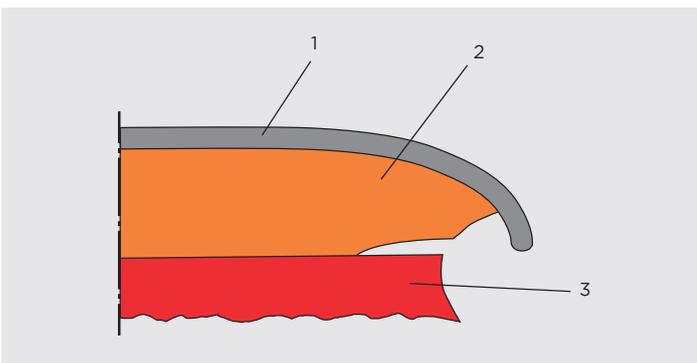
Следующий этап (рис 4): медь здесь уже полностью удалена до поверхности базового материала. Но чтобы уверенно гарантировать разделение смежных печатных проводников, а также исключить ситуации, когда остатки меди в зазоре локально уменьшают расстояние между печатными проводниками, процесс травления продолжается.

Если в качестве защитного резиста используется металлорезист, за счет контактной разницы в электрохимическом потенциале меди и металлорезиста (олова) медь удаляется главным образом из-под резиста, и здесь в наибольшей степени проявляется эффект бокового подтрав в сочетании с нависанием металлорезиста на кромках проводников.

Для оценки качества травления используется такое понятие как фактор травления. Этот параметр отражает отношение толщины протравленного медного проводника к максимальной величине бокового подтрав по одной стороне (рис 5).

$$F = H / L,$$

где F – фактор травления (или коэффициент бокового подтравливания),
 H – толщина меди,
 L – боковой подтрав.



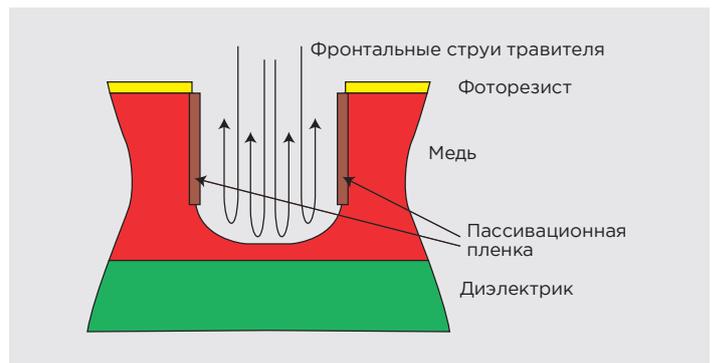
5 Эффект электрохимического подтравливания: 1 – металлорезист (олово), 2 – гальваническое наращивание, 3 – медная фольга

Обычно фактор травления для травильных машин струйного типа F = 2 – 2,5.

Чем больше фактор травления, тем меньше боковой подтрав, и тем более тонкие проводники можно воспроизводить. Задача технологов – уменьшить величину бокового подтрав проводников и за счет этого улучшить разрешающую способность литографии рисунка печатных плат. Для этого нужно создать условия для поддержания травящих свойств раствора «на грани фола», т.е. в состоянии, когда раствор активен только в местах удара струй о травящуюся поверхность. Эти условия реализованы в конструкции травильной машины, в которой форсунки распыляют травящий раствор строго перпендикулярно травящей поверхности (рис 6).

Для управления процессом необходимо создать аппендикс к блоку травления, удаляющий излишки меди из травящего раствора по мере её растворения (насыщения раствора медью).

Пограничные режимы травления обеспечиваются поддержанием состава раствора с постоянным содержанием меди меньше 70 г/л, но не ниже 65 г/л при рН = 7,8 – 8. Обычно при поддержании такого состава происходит первоначальное растворение меди, затем его быстрый останов за счет пассивации медной поверхности. При значительном повышении давления на фор-



6 Схема движения струй травящего раствора в системе Frezer Style + СЭМАР

сунках, мощная струя свежего травильного раствора постоянно активирует медную поверхность, и пассивация медной поверхности не успевает образоваться. Таким образом, травление меди в глубину будет происходить непрерывно, а боковые поверхности, не подвергаясь мощному давлению струй раствора, пассивируются и не травятся. Таким образом, происходит уменьшение бокового подтравливания, что приводит к улучшению фактора травления⁶.

Управление процессом травления в описываемой системе состоит в жестком поддержании состава раствора, pH, концентрации меди и температуры раствора. Кроме того, для уменьшения величины бокового подтрав по предлагаемой методике нужно значительно увеличить напор струй травящего раствора.

В процесс прецизионного травления вмешивается еще один существенный фактор – на верхней поверхности заготовки образуются лужи, мешающие обмену раствора. Из-за этого создаются неравные условия травления на верхней и нижней поверхности заготовки платы. Снизу заготовки травильный раствор постоянно обновляется за счет гравитации, он легко отделяется от поверхности и падает вниз. А на верхней поверхности заготовки платы неизбежно собирается лужа и, чем выше расход травильного раствора, тем больше ее собирается в центре заготовки. На краях раствор будет накапливаться в меньшей степени, и здесь условия для обмена раствора будут лучше. В центре заготовки обмен раствора затруднен, а образующаяся лужа раствора создает условия изотропности процесса травления, т.е. будут неизбежно созданы условия для усиленного бокового подтравливания.

Таким образом, процессы травления на верхней и нижней поверхностях заготовки сильно отличаются. Чем больше площадь заготовки, тем сильнее будет проявляться эта разница.

Для устранения данного негативного эффекта и достижения равномерности травления используется вакуумный отсос травильного раствора с верхней поверхности заготовки. Вакуумные отсосы встраиваются в приводные ролики на конвейере и называются гидродинамическими. За счет этих вакуумных отсосов застой травильного раствора полностью удаляется, а новые порции из форсунок каждый раз бьют по обнаженной поверхности заготовки. Таким образом создаются абсолютно одинаковые скорости травления как снизу, так и сверху заготовки.

Повышенный напор струй достигается за счет применения мощных насосов (5 кВт) и уменьшения расстояния от форсунки до поверхности платы. В результате энергия и давление струи травильного раствора в контакте с поверхностью заготовки печатной платы увеличивается. При проведении проектных работ на

специальном испытательном стенде было выбрано оптимальное расстояние от форсунки до медной поверхности с учетом угла распыления форсунки так, чтобы соседние струи пересекались не более чем на 15-20 %. Увеличение мощности насосов, увеличение давления подачи раствора при относительно малой активности травильного раствора («на грани фола») позволили достигнуть нормальной скорости травления и подавить боковой подтрав.

Управление составом раствора обеспечивается применением новой системы регенерации. Принцип работы этой системы основан на органической экстракции меди из медно-аммиачного комплекса с помощью органического экстрагента, который после разрушения медно-аммиачного комплекса насыщается ионами меди. Для этого применяется экстрагент, серийно выпускаемый для промышленной добычи меди. Он является крупнотоннажным продуктом, и его стоимость не сильно сказывается на себестоимости процесса регенерации меди.

В дальнейшем происходит разрушение насыщенного медью экстрагента раствором серной кислоты. В этом процессе ионы меди переходят в раствор серной кислоты. По мере накопления меди в растворе электролит подвергается электрохимической регенерации, где медь в виде особо чистой меди высаживается на катодах. Экстракция меди из рабочего травильного раствора и стадия извлечения меди из экстракта разделены. Поэтому процесс электрохимического восстановления меди никак не влияет на скорость травления. Применение специальных высокоточных датчиков измерения плотности раствора травления позволяет с точностью ± 2 г/л поддерживать содержание меди в травильном растворе.

Описываемый процесс регенерации значительно отличается от традиционных процессов, применяемых при производстве печатных плат. В традиционном процессе регенерация меди происходит порционно в гальванической ванне. Этот процесс ступенчатый, он не может быть непрерывным. Периодический отбор травильного раствора для регенерации и добавление свежего раствора меняют концентрацию меди в травильной машине, а значит меняется активность раствора в ходе травления. Чтобы выровнять процесс, необходимо использовать дополнительные буферные емкости на входе и выходе регенерируемого раствора. Но применение такого приема ведет к отсутствию условий управляемости процессом травления, удорожанию оборудования и неудобствам в эксплуатации.

Главное достоинство описываемого комплекса прецизионного травления – управляемость процессом и простота эксплуатации. Запуск процессов травления и регенерации происходит с одной кнопки. Все режимы устанавливаются автоматически. Оператору до начала работы необходимо только ввести в интерфейс машины толщину вытравливаемого металла. Установка автоматически выставит оптимальные режимы для получения прецизионного рисунка.

⁶ Медведев А.М. Печатные платы. Процессы травления рисунка// Технологии в электронной промышленности. 2013. № 8



7

Установка прецизионного травления типа Frezer Style

При работе установки каждый квадратный метр печатной платы уносит около 200 мл раствора и меняет его pH. В предлагаемой системе коррекция травильного раствора для поддержания pH происходит автоматически водным раствором аммиака непосредственно при травлении. Газообразный аммиак не используется, т.к. является взрывоопасным газом. Для предотвращения уноса испаряющегося аммиака установка травления имеет герметичную конструкцию. Вытяжная вентиляция подключена через автоматический клапан для автоматического поддержания pH.

В процессе работы установки предусмотрено не только управление составом травильного раствора, но и регенерация аммиачной промывки. В процессе аммиачной промывки происходит накопление меди в растворе, и он может превратиться в травильный раствор. Чтобы предотвратить этот эффект содержание меди в аммиачной промывке поддерживается не более 6 г/л.



9

Ролики конвейера с встроенными элементами вакуумного отсоса раствора



8

Установка регенерации травильного раствора типа «СЭМАР»

Так как скорость травления поддерживается всегда постоянной, можно применять автоматические погрузчики-разгрузчики, т. е. управление процессом травления происходит практически без участия персонала.

Таким образом спроектирована и предлагается серия установок анизотропного травления рисунка печатных плат с активированной вертикальной составляющей, названной Frezer Style (рис 7). Они обеспечивают полную управляемость процессом, простоту обслуживания и имеют оригинальный дизайн. Эксплуатация в условиях реального производства показала, что Frezer Style идеально подходит для травления узких зазоров и формирования проводников с минимальным размером и допуском по ширине. Применение динамической системы контроля и поддержания плотности и состава раствора травления в комплекте с экстракционной системой извлечения излишней меди из состава медноаммиачного травильного раствора, названной «СЭМАР» (рис 8), позволяют достичь минимального бокового подтравки проводников при сохранении производительности линии за счет увеличения вертикальной составляющей обработки при пограничных режимах травления.

Конструкция динамических прижимных валов с вакуумным отсосом раствора дает возможность быстро удалять травильный раствор («лужи») с поверхности обрабатываемой заготовки (рис 9), обеспечивая тем самым лучшие результаты при большой толщине фольги (фактор травления до 5).

Управление установкой серии Frezer Style осуществляет PLC-контроллер с сенсорным экраном, на котором выполняются все настройки, например, выставляется толщина медной фольги и отслеживается состояние всех элементов установки и режимов травления. Вывод установки на рабочий режим производится автоматически. Все подключения – вода для промывки, вода для охлаждения, слив промывных вод, слив раствора – осуществляются в одной зоне доступа.

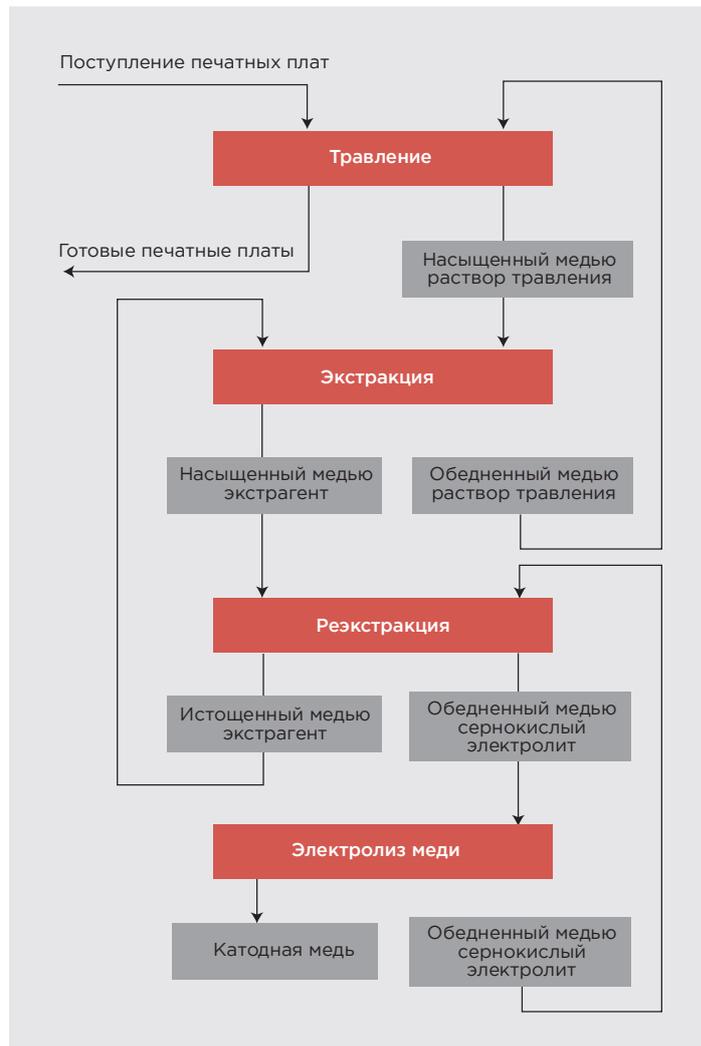
Для удобства и технологичности использования в установках серии Frezer Style предусмотрены:



1 0

Эффект электрохимического подтравливания: 1 – металлорезист (олово), 2 – гальваническое наращивание, 3 – медная фольга

- Независимая регулировка давления по рядам форсунок (рис 1 0).
- Предотвращение разворотов заготовок: положение на выходном конвейере соответствует входному.
- Форсунки с байонетным креплением, обеспечивающие быстроту их демонтажа/монтажа при профилактических работах. Коллекторы обслуживаются без разбора установки.
- Система датчиков для измерения площади обрабатываемой заготовки и управления режимом экономии воды и электроэнергии.
- Возможность обработки тонких заготовок и заготовок малого размера благодаря конструкции конвейера: ролики на смежных валах взаимно смещены, что позволяет обеспечить минимально возможное расстояние между валами.
- Автоматическая система контроля и поддержания pH. Автоматическая система дозирования корректирующего раствора.
- Система поддержания температуры в рабочих камерах.
- Насосы повышенной мощности в комплекте со щелевыми и специальными форсунками, обеспечивающие наиболее подходящую для данного процесса струю раствора.
- Двойные прозрачные крышки из минерального стекла с датчиком открытия.
- Многоступенчатая система фильтрации, обеспечивающая чистоту форсунок в процессе эксплуатации и способствующая равномерности процесса травления.
- Все баки снабжены системой контроля уровня раствора, связанной с системой управления, для обеспечения надежной работы насосов. Все баки имеют окна для визуального контроля уровня раствора.
- Автоматическая система управления клапаном вытяжки и система улавливания паров для уменьшения уноса аммиака в вытяжную вентиляцию.
- Модуль горячей сушки.



1 1

Схема работы установки СЭМАР

Установка СЭМАР обеспечивает регенерацию раствора медно-аммиачного травления печатных плат и аммиачной промывки. Система состоит из двух основных модулей: экстракционного и электролизного. Схема работы установки приведена на рис 1 1.

Установка СЭМАР предназначена для:

- Поддержания постоянства состава медно-аммиачного травильного раствора.
- Автоматической регенерации с извлечением металлической меди из травильного раствора.
- Автоматической регенерации с извлечения меди из раствора аммиачной промывки.
- Демпфирования колебаний концентрации меди при импульсной загрузке травильной машины с большим количеством стравливаемой меди в короткий промежуток времени.
- Специализированной регенерации медно-аммиачных травильных растворов с выделением чистой металлической меди в региональных центрах.

Преимущества:

- Постоянное поддержание состава травильного раствора с высокой точностью.
- Отсутствие отходов травильного раствора и аммиачной промывки.
- Предотвращение попадания ионов меди в промывные воды.
- Не требуются специальные добавки в травильный раствор.
- Особо чистая медь, получаемая в результате экстракции (99,99 %).

Экстракционный блок обеспечивает экстракцию меди из травильного раствора и аммиачной промывки с последующим переводом меди из органической фазы в водный раствор серной кислоты. Электролизный блок – электровыделение металлической меди из сернокислого электролита.

Экстракционные аппараты включаются в технологическую схему по принципу «перетракции», разработанном и опробованном ранее в РХТУ им. Д. И. Менделеева. Этот принцип подразумевает транспорт ионов меди из одного водного раствора в пространственно-отделенный от него другой водный раствор, с не смешивающимся с ними органическим экстрагентом (свободной жидкой мембраной). При этом, в отличие от классической жидкостной экстракции, органическая фаза не является накопителем ионов меди, а выступает лишь в роли переносчика, извлекая ионы из одной водной фазы и отдавая их в другую.

При щелочном травлении заготовок печатных плат у технологов возникает вопрос: а как же хлор? Он ведь будет выделяться? Однако этого не случается в силу своеобразного химизма процессов травления и регенерации, которые происходят в установках Frezer Style и СЭМАР. Как показано в статье «Пре-

цизионное травление печатных плат»⁷, хлор выделяться не будет, он находится всегда в связанном состоянии.

Из приведенных данных по механизму регенерации следует, что экстракционно-электрохимическая схема несмотря на многостадийность процесса обеспечивает полную регенерацию травильного раствора.

Испытания показали минимальную величину подтравки при травлении рисунка печатных плат на комплексе Frezer Style и СЭМАР (F = 5) по сравнению с аналогичным оборудованием, предлагаемым рынком. Эксплуатация комплекса подтвердила его технические характеристики:

- Производительность по меди: до 2 кг/час.
- Точность поддержания концентрации меди в растворе травления: ± 2 г/л.
- Точность поддержания значения pH раствора: $\pm 0,1$.
- Точность поддержания температуры в травильной машине по объему: ± 1 °C.

Опытная эксплуатация системы прецизионного травления рисунка проводников печатных плат в реальном производстве показала полную состоятельность предложенных идей для разработки системы, обеспечивающей улучшенный фактор травления, регенерацию меди и полное автоматическое управление процессом.

⁷ Шкундина С. Прецизионное травление печатных плат // Производство электроники: Технологии. Оборудование. Материалы. 2011. № 6

