

# Комплексная электрохимическая система «Травление-регенерация» для плат 5-го и выше классов точности

Эта статья открывает рубрику «Импортозамещение в области технологии и оборудования для изготовления печатных плат», в которой будет рассказано о подготовке поверхности для различных химических и химико-гальванических процессов с соответствующим оборудованием; о гальванической металлизации сверхтонких и зарощивании глухих отверстий; о создании проводящего слоя в отверстиях; о защитных папьяных масках и способах их нанесения, а также будут рассмотрены другие вопросы. Мы приглашаем авторов, работающих в области импортозамещения, принять участие в написании материалов для нашей рубрики.

Валентин Терешкин  
Лилия Григорьева  
Дмитрий Колесниченко

info@elmaru.com

Настоящая статья посвящена детальному рассмотрению теории и практики прецизионного травления при изготовлении печатных плат 5–7-го классов точности.

Тенденция развития печатных плат в части топологии рисунка характеризуется уменьшением ширины проводников и расстояний между ними. Печатные платы 5–7-го классов точности все чаще закладываются в конструкторскую документацию (КД), и требуется их изготовление в серийном производстве.

Однако в ходе процесса производственникам приходится сталкиваться с проблемами по обеспечению точности размеров элементов печатных плат, что связано с операцией травления. Здесь мы не будем останавливаться на вопросах точности обеспечения размеров элементов печатной платы при фотопечати или гальванопокрытии, которые, безусловно, вносят свой вклад. Для прецизионных печатных плат, где расстояние между элементами 100 мкм и менее, приходится учитывать, что травление происходит в узкой и глубокой «канавке», куда затруднено попадание травильного раствора. Изготовители печатных

плат стараются при этом уменьшить глубину «канавки» за счет сокращения толщины фольги до 18 или 9 мкм, резиста, минимально допустимого осаждения гальванической меди.

На процесс травления влияют:

- Выбор технологического процесса, определяющего комплекс химических и технологических факторов как самой процедуры травления меди, так и возможности поддержания параметров на заданном уровне.
- Гидродинамика процесса, связанная с выбором типа и конструкции травильного комплекса.

## Выбор технологического процесса

Поскольку печатные платы, в том числе и прецизионные, изготавливаются в основном по субстративной технологии с защитным металлорезистом, рассмотрим использование щелочных травителей на основе аминных комплексов: аминоклоридный и аминсульфатный травители. Аминоклоридный электролит обладает высокой скоростью травления, соответственно, и большим боковым подтравливанием, а это нежелательно для прецизионных печатных плат. Кроме того, применение его связано с выделением хлора в ходе электрохимической регенерации, образованием хлоридных соединений на поверхности металлорезиста — олова, ПОС, серебра, что вызывает потемнение и требует дополнительной операции осветления металлорезиста [1, 2].

Поэтому специалистами нашего предприятия разработан новый отечественный процесс травления прецизионных печатных плат — ТСМ 810, который выполняется на основе аминсульфата меди и исключает вышеуказанные недостатки.

## Методики оценки процесса травления

Для оценки факторов, влияющих на процесс травления, разработан экспресс-метод непосредственного определения скорости травления с применением цикловольтамперометрии (ЦВА).

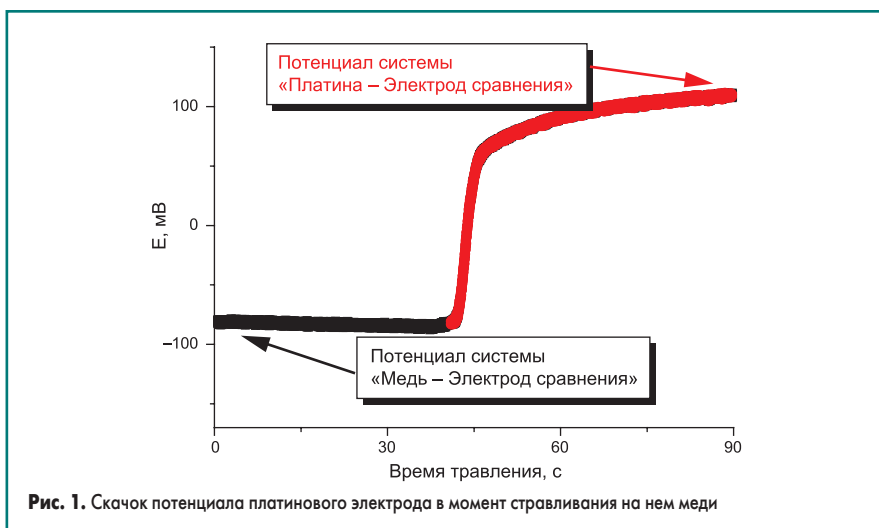


Рис. 1. Скачок потенциала платинового электрода в момент стравливания на нем меди

Метод основан на измерении потенциала между двумя электродами — медным и платиновым. Потенциалы платинового и медного электродов относительно электрода сравнения в травильном растворе сильно различаются (рис. 1).

Это является тем самым аналитическим сигналом, позволяющим судить о стравливании меди. Чем ближе скачок на кривой к началу координат, тем быстрее стравливается медь.

При помощи потенциостата на платиновый электрод в гальваностатическом режиме осаждается заданное количество меди. Далее такой электрод помещается в систему, содержащую исследуемый травильный раствор при заданной температуре.

Для постоянства внешних условий (конвекция, температура) в параллельных опытах используется специальное оборудование — термостатируемая стеклянная ячейка и установка с вращающимся дисковым электродом. Применение установки с вращающимся диском стало ключевым моментом опыта. Это позволило максимально приблизить гидродинамику эксперимента к гидродинамике реальной травильной машины (рис. 2).



Рис. 2. Установка дискового вращающегося электрода с термостатированной ячейкой

После того как платиновый электрод с осажденной медью помещен в ячейку с травильным раствором, на потенциостате регистрируется кривая «Потенциал — время». Характерный излом свидетельствует о переходе поверхности электрода с медной на платиновую (рис. 3).

Вторым методом оценки травящей способности комплекса является фактор травле-

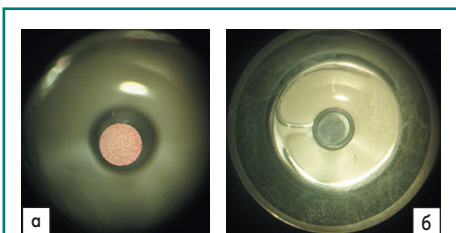


Рис. 3. Платиновый электрод: а) покрытый медью; б) после стравливания

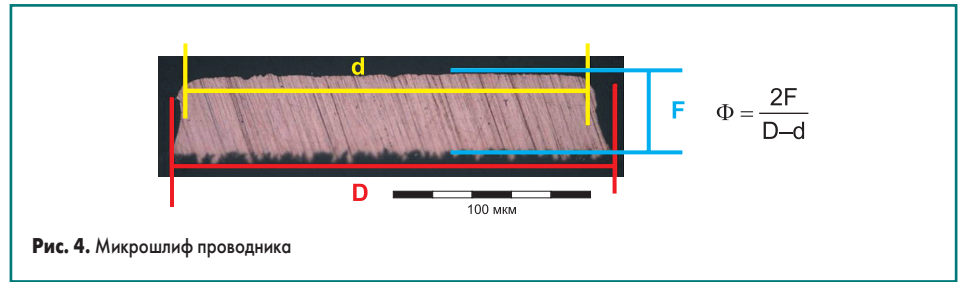


Рис. 4. Микрошлиф проводника

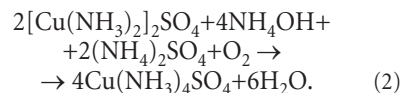
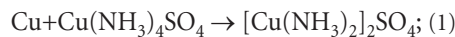
ния «Φ», определяемый измерением линейных размеров проводника после травления на микрошлифах [3].

В процессе травления, кроме вертикального травления меди (по глубине), неизбежно идет процесс горизонтального, то есть бокового травления, приводящего к искажению профиля проводника. Фактор травления оценивает величину изменения ширины проводника сверху под резистом к ширине проводника у основания (рис. 4):

$$\Phi = V/x,$$

где V — суммарная толщина медной фольги и осажденной меди; x — изменение ширины проводника после травления.

Давайте посмотрим, что происходит в самом травильном растворе. Обратимся к протекающим химическим реакциям:



Первая стадия процесса: медноаммиачный комплекс двухвалентной меди вступает в реакцию с металлической медью на поверхности платы. Продукт реакции — аммиакат одновалентной меди, который играет важную роль в процессе травления. С одной стороны, накопление аммиаката одновалентной меди замедляет скорость травления. С другой — он в виде побочного продукта остается на торцах проводников и препятствует боковому подтравливанию, тем самым уменьшая его. Комплекс одновалентной меди — нестойкий, под воздействием аммиака и кислорода воздуха по реак-

ции (2) частично переходит в двухвалентный. Вот почему в процессе травления важно вести автоматический контроль не только содержания меди, pH, температуры, а также соотношения одно- и двухвалентной меди. Необходимо найти золотую середину между скоростью травления и боковым подтравливанием. Для прецизионных печатных плат важнее последнее, нужно получить точные размеры элементов печатных плат, поэтому процесс травления ведут обычно при более низких скоростях.

### Выбор состава травильного раствора и режимов процесса

#### Влияние ускорителя

Для регулирования скорости реакции вводится ускоритель — добавка TSM 814. Ниже представлен график зависимости скорости травления от концентрации ускорителя TSM 814 (рис. 5).

Как видно из рисунка, скорость травления существенно зависит от концентрации ускорителя TSM 814, что позволяет использовать данный травильный раствор не только для прецизионных печатных плат (зона 1), но и для плат 3–4-го классов точности (зона 2), где желательнее иметь более высокую скорость травления.

#### Влияние pH раствора

Из представленного графика видно (рис. 6), что оптимальное значение pH для травления прецизионных печатных плат составляет 7,8–8,1. Боковое подтравливание с повышением pH увеличивается. Причиной тому является образование аминокислотного комплекса одновалентной меди (реакция 1) при pH ниже 8, который, образуя соединение на торце проводника, не только замедляет реакцию травления, но и образует своего рода защитный

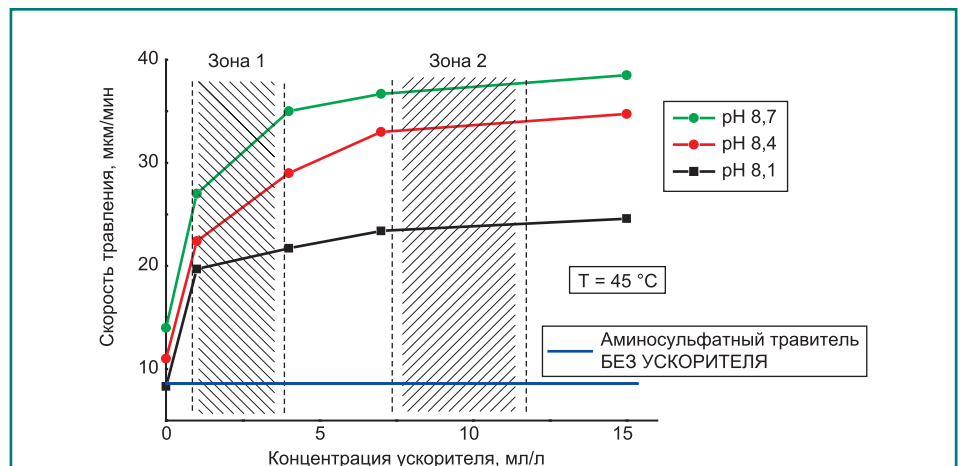
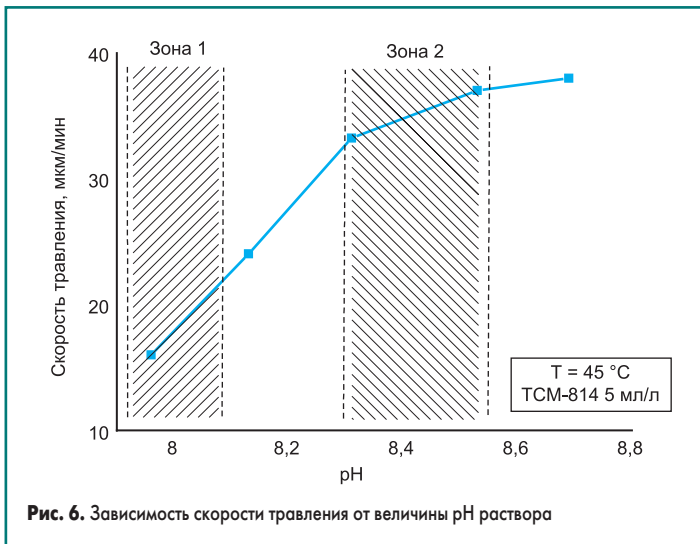
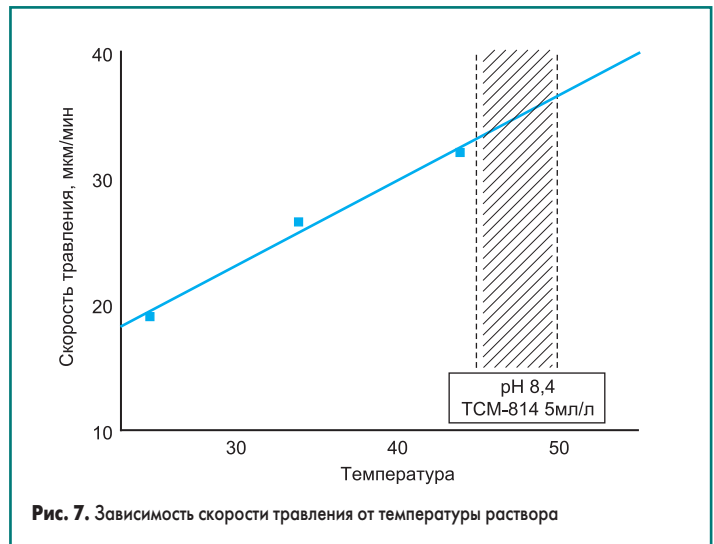


Рис. 5. Зависимость скорости травления от концентрации ускорителя TSM 814


**Рис. 6.** Зависимость скорости травления от величины pH раствора

**Рис. 7.** Зависимость скорости травления от температуры раствора

буфер, препятствующий травлению по горизонтали, то есть бокового подтрав. Однако при повышении pH больше 8,1 и в присутствии кислорода воздуха указанный комплекс одновалентной меди переходит в двухвалентный по реакции 2, тем самым увеличивая боковой подтрав.

#### Влияние температуры раствора

С повышением температуры скорость реакции растет (рис. 7). Оптимальным режимом для травления прецизионных печатных плат является температура +45...+50 °С.

Таким образом, с учетом влияния изложенных выше параметров и режимов процесса установлен оптимальный состав травильного раствора для прецизионных печатных плат:

- медь: 65–70 г/л;
- сульфаты: 190–210 г/л;
- фосфаты: 3,5–5 г/л;
- ускоритель TCM 814: 1 мл/л;
- pH: 7,8–8,1;
- температура: +45...+50 °С;
- фактор травления: 4,3–5,2.

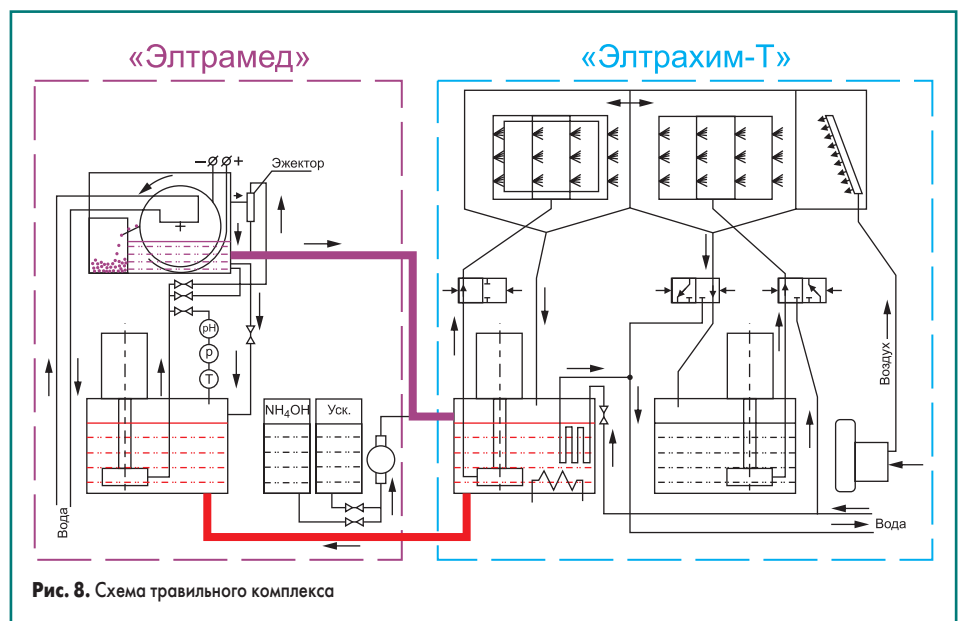
#### Комплекс оборудования для травления и регенерации раствора

Для решения задач прецизионного травления СПбЦ «Элма» разработан специальный комплекс оборудования, состоящий из травильной машины «Элтрахим Т» и установки регенерации раствора «Элтрамед».

«Элтрахим Т» — это современная вертикальная двухкамерная машина, обеспечивающая прецизионное травление печатных плат 5-го и выше классов точности. Выбор вертикальной машины определен обеспечением равных условий травления каждой стороны печатной платы.

Функционально машина состоит из камеры травления платы, камеры промывки аммиачной водой и финишной отмывки, а также сушильного модуля (рис. 8).

Транспортная система, управляемая от микроконтроллера, обеспечивает независимое время обработки ПП в каждом модуле и для каждой операции. При обработке ПП также осуществляется горизонтальная осцилляция. Набор коллекторов с ножевыми форсунками, распо-


**Рис. 8.** Схема травильного комплекса

женными под определенным углом к движению ПП, обеспечивает равномерное травление и минимальный боковой подтрав независимо от расположения проводников на ПП [2].

После травления плата перемещается в камеру промывки. В этой камере проводятся две операции: первичная отмывка 3%-ным аммиаком и финишная промывка водой. Использование системы пневмоуправляемых клапанов позволяет выполнять две операции обработки разными растворами в одном модуле оборудования. Такая система существенно сокращает габариты травильной машины.

Возможность технологической промывки травильной камеры (для предотвращения кристаллизации раствора в форсунках при длительных простоях) и система защиты от некорректных операций делает работу с установкой простой и удобной.

Раствор в основном резервуаре травильной машины связан системой труб с регенератором «Элтрамед». Он контролирует и поддерживает концентрацию ускорителя, pH раствора, температуру, плотность раствора и редокс-потенциал, а также снижает концентрацию меди с помощью электролиза.

Особенность работы «Элтрамед» в том, что поддержание параметров травителя проис-

ходит без остановки работы травильной машины. При этом объем травильного средства относительно небольшой — 220–240 л.

Во время работы травильного комплекса раствор непрерывно прокачивается через аналитический модуль, состоящий из трех измерительных систем. Через равные промежутки времени закрывается клапан протока и происходит снятие показаний со всех датчиков.

#### Определение концентрации меди

Концентрация меди поддерживается постоянной благодаря датчику плотности — при превышении плотности включается электролиз раствора. Колба, в которой расположен плотномер, имеет гибкую настройку, позволяя регулировать плотность травильного раствора в интервале  $(1,2 \pm 0,01)$  г/см<sup>3</sup>, что дает возможность работать в диапазоне от 60 до 90 г/л по меди.

Для исключения ложных срабатываний измерение плотности заключается в пяти последовательных проверках показаний плотнмера в течение короткого временного промежутка. При превышении заданной плотности происходит заполнение электролизера травильным раствором и начинается электролиз раствора.



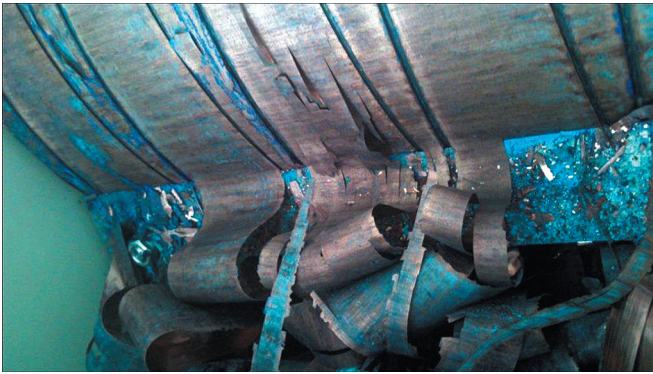


Рис. 9. Срезанная ножом медь подается в сборник

Катод в электролизере выполнен в виде цилиндра из нержавеющей стали. Во время электролиза происходит вращение барабана и осажденная медь срезается ножом, попадая в сборник. Таким образом, исключается трудоемкая операция ручного удаления меди с катода (рис. 9).

**Дозирующая система**

Дозирующая система состоит из насоса, пневмоклапанов и двух емкостей с ускорителем и аммиаком.

«Элтрамед» с помощью специального электрода определяет pH травильного раствора. При пониженном значении pH включается насос-дозатор, вводящий в систему жидкий аммиак.

Расход ускорителя компенсируется по числу пропущенных при регенерации ампер-часов. Анализ на скорость травления, о котором говорилось выше, может быть использован для контроля концентрации ускорителя.

**Контроль одновалентной меди**

Известно, что большое влияние на процесс травления оказывает содержание одновалентной меди в растворе. Помимо общих слов о том, что одновалентная медь создает некую пленку на проводнике, понижающую боковой подтрав, нет никаких рекомендованных количественных параметров.

Установленные в регенераторе «Элтрамед» специальный редокс-электрод и система бар-

ботирования раствора регулируют концентрацию  $Cu^{1+}$  в травителе.

Согласно уравнению Нернста для системы  $Cu^{2+}/Cu^{1+}$  редокс-потенциал определяется следующим выражением:

$$E = E_0 + (2,303RT/n) \times \text{Log}(Cu^{2+}/Cu^{1+}).$$

При травлении меди редокс-потенциал системы резко понижается. Установка «Элтрамед» поддерживает заданное значение потенциала с помощью барботирования травителя кислородом, содержащимся в воздухе.

Таким образом, концентрация  $Cu^{1+}$  поддерживается постоянной. Это исключает изменение величины бокового подтрав, связанное с разницей в концентрации одновалентной и двухвалентной меди.

**Травильный комплекс**

Установки «Элтрахим» и «Элтрамед», подключенные друг к другу, образуют полноценный травильный комплекс. Одно из немаловажных достоинств вертикальных струйных машин СПБЦ «ЭЛМА» — их компактные габариты. Внешний вид комплекса, эксплуатируемого на одном из предприятий, представлен на рис. 10.

Удобный пользовательский интерфейс позволяет контролировать состояние установки в онлайн-режиме в виде удобной мнемосхемы, или блок-схемы процесса (таблица).

Все это позволяет с уверенностью сказать, что на отечественном рынке появилось новое достойное оборудование, сделанное в России, по российским технологиям, стоимость которого гораздо меньше импортных аналогов.

**Литература**

1. Терешкин В. А., Фантгоф Ж. Н., Григорьева Л. Н. Травление печатных плат и регенерация травильных растворов // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 3.
2. Терешкин В. А., Фантгоф Ж. Н., Григорьева Л. Н. Травление и защитные металлизаторы в производстве печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2010. № 3
3. Ball D. Thoughts on Undercut. Chemcut Corporation State College, PA, USA.



Рис. 10. Внешний вид травильного комплекса

Таблица. Схема травильного процесса

Скорость травления (при использовании процесса ТСМ-810)	до 40 мкм/мин
Среднее время обработки при 1 загрузке (max 12 дм²)	100–130 с
Производительность	2,7–3,3 м²/ч
Габаритные размеры «Элтрахим Т»	2152×1302×1915 мм
Габаритные размеры «Элтрамед»	1375×1187×1160 мм
Габаритные размеры комплекса травления-регенерирования «Элтрахим–Элтрамед»	2200×5500×1915 мм
Выход меди по металлу	350–540 г/ч