



Гальваническое меднение при производстве печатных плат

В статье описываются основные моменты технологии гальванического меднения печатных плат.

**В. А. Терешкин,
к. т. н.,
Ж. Н. Фантгоф,
к. т. н.,
Л. Н. Григорьева**

info@elmaru.com

Гальваническое (электролитическое) меднение является процессом, при котором формируется токоведущий слой печатной платы, определяющий ее эксплуатационные свойства, такие как устойчивость к термоудару, циклическому изменению температур, перепайкам, ремонтпригодности.

Для осуществления процесса электролитического меднения в отечественной промышленности в настоящее время используются кислые электролиты: борфтористые и серноокислые.

Основные требования, предъявляемые к электролитам меднения печатных плат:

- высокая рассеивающая способность;
- обеспечение высокой пластичности осаждаемой меди;
- минимальное воздействие на фоторезисты;
- простота и технологичность в эксплуатации;
- приемлемая стоимость материалов, применяемых для приготовления и корректирования электролита.

Борфтористые электролиты не отвечают предъявляемым требованиям и имеют следующие основные недостатки:

- низкая рассеивающая способность;
- низкая пластичность осадков;
- чувствительность к органическим загрязнениям, в том числе, продуктам выщелачивания фоторезистов;

Поэтому применение борфтористых электролитов технически не оправдано и определяется только консервативностью производителей печатных плат.

Серноокислые электролиты меднения со специальными добавками лишены перечисленных недостатков. Именно поэтому в зарубежной практике используются только такие электролиты.

Рассеивающая способность

Электролиты с высокой рассеивающей способностью при соблюдении прочих необходимых условий обеспечивают равномерное распределение осаждаемого металла по поверхности и в отверстиях платы. При использовании электролитов с высокой рассеивающей способностью соотношение толщины меди на поверхности заготовки и в отверстиях приближается к 1:1. А это означает, что для получения толщины меди в отверстиях 20 мкм на поверхность достаточно осадить около 25 мкм.

Преимущества использования электролитов с высокой разрешающей способностью:

- сокращается технологический цикл на операциях меднения и травления;
- уменьшается расход анодов;
- улучшаются экономические и экологические показатели производства.

Известно, что на рассеивающую способность электролита наиболее сильно влияет соотношение в нем концентрации кислоты и соли меди. Чем больше будет соотношение $H_2SO_4 : CuSO_4$, тем более равномерным будет распределение металла по печатной плате. Однако чрезмерное снижение концентрации меди может привести к снижению рабочих плотностей тока, то есть, к уменьшению производительности процесса, что нецелесообразно.

Увеличение рассеивающей способности достигается также за счет введения в электролит специальных добавок, содержащих поверхностно-активные вещества.

Изменение температуры в диапазоне от 20 до 30 °С практически не влияет на распределение металла.

Пластичность

Пластичность — это основной критерий качества осаждаемого медного покрытия.

Чем это вызвано?

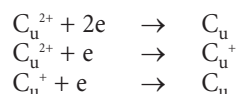
Известно, что стеклоэпоксидные диэлектрики (стеклотекстолиты), являющиеся основанием двусторонних и многослойных печатных плат, под воздействием температур при изготовлении, монтаже и эксплуатации платы растягиваются по высоте, то есть вдоль металлизированного отверстия. Это растяжение, в зависимости от конструкции платы, может составлять от 1 до 1,7%. Чтобы столб медного покрытия внутри отверстия выдержал это растяжение без разрыва, медь должна обладать достаточной пластичностью.

Однако следует сказать, что низкая пластичность не является единственной причиной возникновения трещин и разрывов столба металлизации в от-

верстиях. Есть и другие причины, например, неудовлетворительное сверление. Некачественное сверление может приводить к образованию глубоких канавок и вырывов в стенках отверстий и, как следствие, в них возможно утоньшение медного покрытия. Кроме того, наличие значительных неровностей вызывает известное явление — концентрацию напряжений в осадке в отдельных точках, как правило, на выступающих частях. Все это также приводит к разрывам при растяжении осадка. Постепенно, особенно при термоциклировании, это может привести к появлению сплошной кольцевой трещины по всему отверстию.

Для получения пластичных осадков в мировой практике используют сернокислые электролиты меднения со специальными добавками.

Осаждение меди происходит в основном за счет разряда ионов Cu^{2+} , но возможно и протекание параллельно реакции разряда двухвалентной меди до одновалентной и осаждение меди из одновалентных ионов, особенно при низких плотностях тока. В электролите все эти формы находятся в равновесии, сдвинутом в сторону двухвалентной меди. Схематически реакции, проходящие при электролитическом осаждении меди, выглядят следующим образом:



Сульфатные электролиты, содержащие только сульфат меди и серную кислоту, наиболее просты в эксплуатации. Однако осадки, получаемые из таких электролитов, имеют крупнозернистую структуру и равномерность осаждения меди из этих электролитов невелика.

Связано это с тем, что поляризация в кислых электролитах невелика и для ее увеличения в электролит вводят специальные добавки. Адсорбция их на катоде приводит к перераспределению активных центров осаждения и к снижению величины зерна.

На рис. 1 представлен график катодной поляризации при осаждении меди в электролите с добавками и без них. Из представленных кривых видно, что введение добавок смещает потенциал выделения меди в отрицатель-

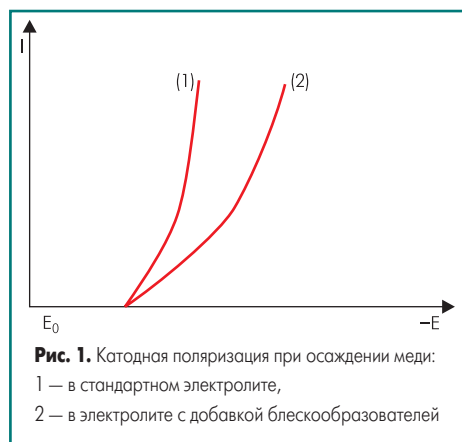


Таблица 1. Рекомендуемые составы электролитов сернокислого меднения

Компонент электролита	Концентрация	Выполняемая функция
$C_0SO_4 \cdot 5H_2O$	70–120 г/л	Обеспечение ионами меди Проводимость электролита Рассеивающая способность
H_2SO_4	160–200 г/л	Проводимость Рассеивающая способность
Cl^-	40–60 мг/л	Растворение анодов Рассеивающая способность Блескообразующая способность
Добавки БСД или БСД-2	4–6 мг/л	Пластичность Блескообразующая способность Рассеивающая способность

ную сторону, то есть затрудняет процесс выделения меди, что способствует перераспределению металла.

Кроме состава электролита на качество осаждаемого медного покрытия, на равномерность его распределения по площади ПП и на повышение рассеивающей способности влияют следующие параметры процесса:

- уменьшение плотности тока;
- уменьшение температуры раствора;
- увеличение объема электролита, проходящего через отверстия, которое достигается за счет качания катодной штанги с платами в процессе металлизации. Этому способствует также создание потока электролита от фильтрации и барботажа.

При выполнении процесса электроосаждения меди очень важно следить за чистотой электролита. Загрязнение электролита органическими веществами — основная причина дефектов металлизации. Источниками органических загрязнений являются:

- фоторезисты;
- продукты разложения добавок.

Первая причина при «тентинг»-методе исключается, поскольку фоторезист наносится на плату после полного гальванического меднения, что является одним из достоинств метода.

Причины разложения добавок:

- Попадание в электролит подготовительных растворов микротравления, содержащих перекисные соединения, что является следствием плохой межоперационной промывки.
- Поляризация анодов, которая может возникать при избытке хлоридов в электролите, а также при высокой анодной плотности тока и использовании нефосфористых анодов.

Дефекты, возникающие при загрязнении электролита органическими веществами:

- неравномерное покрытие;
- точечная коррозия;
- отсутствие блеска;
- уменьшение пластичности.

Для исключения дефектов покрытия, вызванных накоплением органических загрязнителей, производится очистка электролита. Сразу следует заметить, что очистку с использованием перекисных соединений производить не следует. Это вызвано тем, что остатки перекисных соединений очень трудно удалить из электролита — требуется прогрев ванны при температуре 60–65 °С не менее 2–3 часов.

Основной метод очистки, который используется на производствах — это очистка с помощью активированного угля. Однако у этого метода есть существенный недостаток — мельчайшие частицы угольной пыли часто не отфильтровываются и, оставаясь в электролите, вызывают образование дефектов на покрытии в виде «набросов».

Чтобы исключить подобный дефект, рекомендуется использовать угольную ткань. АУСФ — это активированная угольная ткань, имеющая высокую сорбционную емкость, что сокращает ее норму расхода по сравнению с активированным углем БАУ примерно в 50 раз. Она имеет высокую сорбционную активность, значительно превосходящую активность угля БАУ, благодаря чему время очистки электролита от органических примесей сокращается.

Ткань АУСФ значительно упрощает технологию очистки электролитов от органических примесей: не требуется предварительной промывки и прокаливании ее при высокой температуре. Процесс очистки электролитов прост и удобен, может производиться на работающей ванне.

Как уже говорилось, одним из основных факторов, определяющих качество медных осадков, является наличие в электролитах специальных добавок. Среди них отечественные добавки БСД и БСД-2, которые широко используются в электролитах сернокислого меднения при широком диапазоне концентраций остальных компонентов:

- медь сернокислая: 60–220 г/л;
- кислота серная: 60–200 г/л;
- натрий хлористый: 40–80 мг/л.

Добавка БСД-2 отличается от БСД пониженным пенообразованием и поэтому может использоваться в тех случаях, когда для перемешивания электролита наряду с покачиванием катодной штанги с платами применяется барботаж воздуха.

При этом обеспечивается:

- отличная рассеивающая способность, благодаря которой при металлизации печатных плат соотношение толщины покрытия на поверхности и в отверстиях близко к 1:1;
- широкий диапазон рабочих плотностей тока — от 1 до 6 А/дм² при неизменно высоком качестве покрытия;
- высокая эффективность процесса.

Скорость осаждения меди при различной плотности тока составляет:

- 1 А/дм² — 14 мкм/час,
- 3 А/дм² — 40 мкм/час,
- 5 А/дм² — 65 мкм/час.

Свойства получаемого медного осадка:

- выдерживает испытания на термоудар в течение 10 с и более;
- коэффициент удлинения (пластичность) при соблюдении оптимальных условий проведения процесса: 7–15%;
- прочность на разрыв: 25–30 кг/мм²;
- электропроводность: 0,52 мкСм/см.

Для достижения вышеуказанных характеристик процесса и медного осадка необходимо соблюдать определенные условия приготовления и эксплуатации электролита.

При подготовке электролита к работе, до введения добавок, для удаления неорганических примесей следует провести проработку электролита при плотности тока 0,1–0,5 А/дм² в течение 5–8 часов. В качестве катода при этом наилучшей будет рифленая пластина из нержавеющей стали. Для удаления возможных органических загрязнений электролит следует очистить активированным углем или с помощью угольной ткани АУСФ.

В процессе эксплуатации электролита необходимы:

- достаточно интенсивное перемешивание воздухом;
- постоянная фильтрация через пропиленовую ткань.

Использование для фильтрации материалов на целлюлозной, бумажной или хлопковой основе не рекомендуется.

Не следует также производить постоянную фильтрацию через угольные материалы, так как это приводит к выведению блескообразующих добавок.

Необходим следующий контроль процесса:

- неорганический состав электролита по данным химического анализа;
- расход добавки по количеству пропущенного электричества;
- общее состояние электролита — тест по ячейке Холла;
- металлизация — по металлографическим шлифам отверстий.

Тест по ячейке Холла

При тестировании процесса по ячейке Холла оценивается блеск осадка и его площадь, подгар и его площадь и др.

На рис. 2–5 представлены фотографии образцов, полученных в ячейке Холла, которые иллюстрируют, как влияют изменения в параметрах технологического процесса на внешний вид образца.

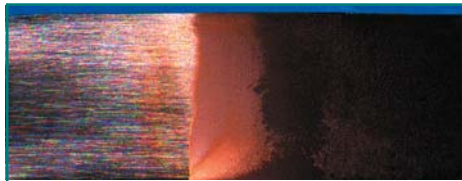


Рис. 4. Вид образцов без перемешивания электролита



Рис. 2. Вид образцов при различном содержании меди



Рис. 3. Вид образцов при перемешивании электролита

Таблица 2. Основные возможные неполадки внешнего вида и методы их устранения

Характер неполадок	Возможные причины	Способ устранения
Наличие матовых пятен на покрытии, подгары, ступенчатое отложение меди	1. Накопление ионов железа 2. Недостаток добавки	1. Проработать в течение 5–8 часов при катодной плотности тока 0,2–0,3 А/дм ² 2. Ввести добавку в количестве, как после очистки электролита
Неравномерное покрытие, точечная коррозия, шероховатость, уменьшение толщины покрытия в отверстиях	Загрязнение электролита органическими продуктами	Очистить электролит обработкой активированным углем
Полосатость осадка	Избыток хлор-иона	Разбавить электролит и откорректировать по остальным компонентам или осадить избыток хлор-иона азотнокислым серебром
Шероховатый осадок — набросы меди	Загрязнение электролита механическими примесями	Отфильтровать электролит
Хрупкие блестящие осадки	Избыток добавки	Очистить электролит с помощью угольной ткани АУСФ или активированным углем

Поскольку продолжительность процесса контроля в ячейке составляет 10–12 мин, этот метод контроля состояния электролита позволяет оперативно оценивать готовность линии металлизации к работе и принимать необходимые решения по корректировке электролита.

Контроль металлизации отверстий по металлографическим шлифам

Контроль металлизации отверстий по металлографическим шлифам позволяет оценить:

- толщину металлизации;
- дефекты базового материала (пустоты, вспучивание, расслоение);
- дефекты адгезии столба металлизации к стенкам отверстия.

Кроме того, можно оценить и состояние электролита в части возрастания концентрации органических и металлических примесей. При загрязнении структура покрытия становится слоистой и затем столбчатой.

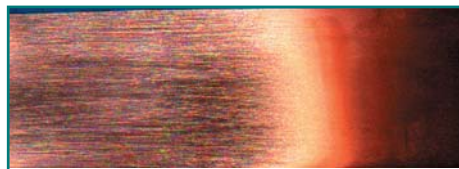


Рис. 4. Вид образцов без перемешивания электролита



Рис. 2. Вид образцов при различном содержании меди



Рис. 5. Вид образцов при различном содержании добавки БСД

Основные критерии оценки качества осадка:

- внешний вид;
- пластичность;
- толщина металлизации в отверстиях.

Внешний вид оценивается без применения оптических средств. Осадок должен быть плотным, без набросов и, в зависимости от применяемой добавки, от матового до блестящего.

Пластичность должна быть не менее 4%. Пластичность обычно оценивают по величине относительного удлинения образцов при помощи разрывной машины методом растяжения до разрыва.

В качестве основы для осаждения образцов используют подложку из нержавеющей стали. Шероховатость поверхности R_a должна быть менее 0,63 мкм, чтобы осажденный медный образец легко отслаивался от основы.

Испытания рекомендуется выполнять на разрывной машине типа МР при нагрузке 90–100 кг при скорости 1–2 мм/с.

При недостаточной пластичности электролит необходимо очистить от органических загрязнений.

Толщина меди в отверстиях. Наиболее объективным методом является контроль по металлографическим шлифам. Этот метод позволяет не только проконтролировать толщину металлизации, но и выявить дефекты адгезии столба металлизации к стенкам отверстий, что особенно важно при производстве многослойных плат.

Заключение

1. Процесс гальванического меднения является определяющим для формирования токоведущих параметров печатных плат.
2. Для гальванического меднения следует использовать сернокислые электролиты со специальными структурообразующими и пластифицирующими добавками.
3. Добавки БСД и БСД-2 отечественного производства не уступают по качеству зарубежным аналогам, но выгодно отличаются от них меньшей стоимостью.
4. Процесс гальванического меднения в сернокислых электролитах с добавками БСД или БСД-2 используется при производстве двусторонних и многослойных печатных плат, полностью отвечающих современным требованиям потребителей.