

Химическая медь или прямая металлизация — что выбрать?

Постоянная миниатюризация и рост сложности печатных плат влечет за собой уменьшение диаметра металлируемых отверстий при увеличении толщины печатных плат. Уплотнение рисунка схемы приводит к увеличению количества слоев МПП и снижению ширины проводников. Увеличение отношения толщины печатных плат к диаметру металлируемых отверстий обязывает поставщиков технологических процессов совершенствовать процессы металлизации печатных плат для обеспечения постоянно высокого качества и надежности производства.

**Франко Гарберольо
(Franco Garberoglio)
Семен Блутштейн
Алмаз Хусаинов**

Введение

Процесс получения токопроводящего слоя в отверстиях печатных плат можно разделить на две основные группы — процессы с использованием химического меднения и процессы так называемой прямой металлизации. Мы рассмотрим эти процессы на примере продуктов, выпускаемых итальянской фирмой «Альфахимичи».

Металлизация отверстий печатных плат с применением процесса химического меднения позволяет получать на стенках отверстий слой металлической меди толщиной 0,5–2 мкм с последующим нанесением слоя гальванической меди. В процессах прямой металлизации компании «Альфахимичи» токопроводящий слой в отверстиях образуется благодаря графиту или палладию. Очевидно, что перед тем как приступить к процессу металлизации отверстий, необходимо подготовить стенки отверстия при помощи процесса Desmear.

Процесс Desmear

Процесс Desmear предназначен для удаления наволакивания смолы со стенок отверстий и внутренних

слоев МПП, образующегося в процессе сверления, что позволяет увеличить надежность электрического контакта внутри отверстия и снизить риск последующих отслоений. Также процесс Desmear позволяет улучшить адгезию слоя меди к стенке отверстия за счет получения микрошероховатой поверхности материала основы (рис. 1). Технология Desmear компании «Альфахимичи» состоит из трех процессов (табл. 1). Этот процесс может быть реализован как в вертикальном, так и в горизонтальном оборудовании.

Для достижения хороших результатов при использовании стеклотекстолитов с различными характеристиками Tg-процесс позволяет гибко изменять рабочие параметры (главным образом температуру

Таблица 1. Технология Desmear

Процесс	Назначение
CUPROLITE PHP 08	Процесс набухания на водной основе
Промывка 2-каскадная	
EPOXYMOD MLX 60	Перманганатная очистка
Промывка 2-каскадная	
FINISHER MLX 100/S	Процесс восстановления/нейтрализации
Промывка 2-каскадная	

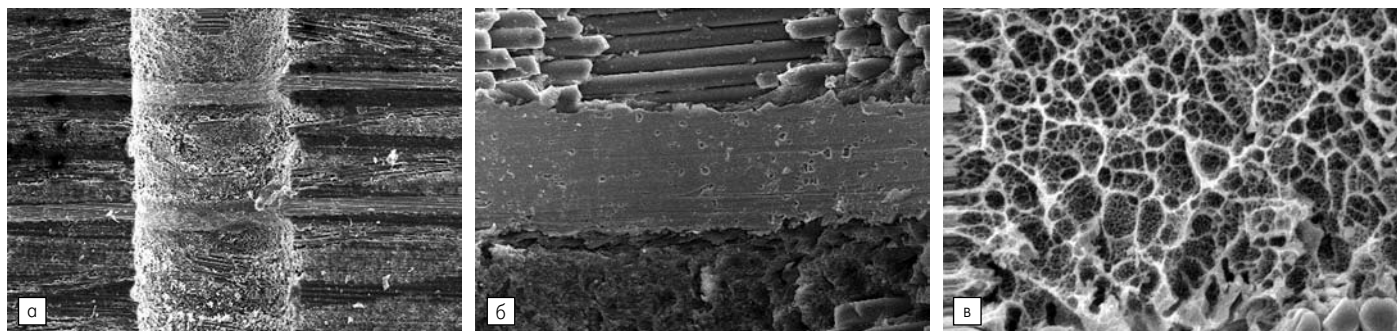


Рис. 1. а) Наволакивание смолы после сверления; б) внутренний слой МПП после процесса Desmear; в) микрошероховатость стенки отверстия после процесса Desmear

и время). После процедуры Desmear можно приступать к металлизации отверстий.

Далее мы рассмотрим процессы компании «Альфахимичи»:

- два процесса «прямой металлизации»:
 - GRAPHOLE SYSTEM на основе графита;
 - DPP SYSTEM на основе палладия;
- два процесса с использованием химического меднения:
 - тонкослойное химическое меднение с толщиной осаждаемого слоя меди около 0,3 мкм;
 - толстослойное химическое меднение (TXM) с толщиной осаждаемого слоя меди около 1,8 мкм.

Процесс DPP

Процесс DPP позволяет получать токопроводящий слой в отверстиях печатных плат за счет соединений палладия (табл. 2). Излишки палладия и олова впоследствии удаляются при помощи специальной обработки и процесса микроотравления.

Таблица 2. Технология DPP

Процесс	Наименование продукта
Кондиционер	CUPROLITE X 35 DP
Промывка 2-каскадная	
Прекатализатор	UNIPHASE DP A
Катализатор	UNIPHASE DP A + B
Промывка 2-каскадная	
Активатор	DRAGSTOP DP
Промывка 2-каскадная	
Удаление палладия	STRIPPER DP
Промывка 2-каскадная	
Сушка	
Промывка 2-каскадная	
Микроотравление	SODIUM PERSULPHATE
Промывка 2-каскадная	
Сушка	

Контроль

Контроль печатных плат после процесса DPP производится по проводимости между внешними сторонами печатных плат. Хотя этот метод контроля очень показателен, он не позволяет оценить равномерность распределения слоя палладия по поверхности отверстия и наличие микроразрывов в покрытии.

Достоинства процесса DPP:

- Возможность использования процесса в горизонтальном и вертикальном оборудовании.
 - Все стадии процесса контролируются аналитически.
 - Низкий расход воды.
 - Возможность запустить линию ради нескольких плат.
 - Простое обезвреживание отработанных растворов.
 - Экологически безопасный процесс.
- Недостатки процесса DPP:

- Трудно оперативно контролировать качество металлизации, дефекты могут проявиться только на операции оплавления, и в этом случае брак уже невозможно переделать.
- Сложность с переделкой брака.

Материалы компании «Альфахимичи», применяемые в техпроцессах DPP, GRAPHOLE и TXM

- CUPROLITE X-35 DP — щелочной кондиционер-очиститель, позволяющий подготовить стенки отверстий для последующей успешной адсорбции коллоидного соединения палладия или графита.
- CUPROLITE X 11 — щелочной кондиционер-очиститель, позволяющий подготовить стенки отверстий для последующей успешной адсорбции коллоидного соединения палладия.
- Основная задача UNIPHASE DP A — предотвратить загрязнение посторонними продуктами ванны катализатора, а также исключить ее разбавление. Разбавление ванны катализатора влечет за собой рост pH раствора и снижение концентрации основных компонентов, что приводит к нестабильности коллоидной системы.
- Основная задача UNIPHASE PHP A — предотвратить загрязнение посторонними продуктами ванны катализатора, а также исключить ее разбавление во избежание нестабильности коллоидной системы.
- UNIPHASE DP A+B — катализатор на основе коллоидного соединения. На этой стадии на стенках отверстий осаждается равномерный слой палладия, который становится токопроводящим на последующих этапах обработки.
- DRAG-STOP DP активует слой коллоидного палладия на стенках отверстий и увеличивает проводимость слоя. Процесс активизации слоя коллоидного палладия достигается за счет процесса восстановления в щелочной среде и воздействия высокой температуры.
- STRIPPER DP удаляет слой палладия с поверхности фольги заготовок печатных плат. Более того, задачей STRIPPER DP является фиксация слоя палладия на поверхности стенок отверстий.
- Струйный процесс микроотравления SODIUM PERSULPHATE полностью удаляет палладий или графит с поверхности заготовок печатных плат и с медной поверхности внутренних слоев МПП, тем самым обеспечивается адгезия меди к меди.
- GRAPHOLE 18 — щелочной коллоидный раствор графита. Частицы графита очень малы (0,5–1 мкм), имеют высокую проводимость и обеспечивают сплошное покрытие стенок отверстий с хорошей адгезией последующего слоя гальванической меди к диэлектрику.
- Струйный процесс микроотравления SODIUM PERSULPHATE полностью удаляет графит с поверхности заготовок печатных плат и с медной поверхности внутренних слоев МПП, тем самым обеспечивается адгезия медь-медь.
- CUPRO-T-ECO CNF раствор TXM для химического осаждения слоя меди толщиной 1,5–2 мкм в химико-гальванических линиях вертикального типа.
- CUPRO-T-ECO CNF LB раствор тонкослойного химического меднения для осаждения слоя меди толщиной 0,3–0,5 мкм в химико-гальванических линиях вертикального типа.
- ANTI-OX MLX процесс anti-tarnish не оставляет загрязнений на поверхности, не оказывает влияния на адгезию фоторезиста и последующих гальванических покрытий к медной поверхности.

- Необходимость удаления слоя палладия с медной поверхности заготовок печатных плат.
- Слой палладия с медной поверхности заготовок печатных плат удаляется операцией микроотравления. Если скорость процесса микроотравления слишком высока, возможен подтрав внутренних слоев МПП (рис. 2). Если же скорость процесса микроотравления слишком низка, остатки палладия остаются на медной поверхности внутренних слоев МПП, особенно в отверстиях малого диаметра, что впоследствии приводит к отслоениям в процессе температурных тестов, даже если слой остатков палладия был очень тонким (рис. 3).

- Любой дефект в процедуре сверления отверстий может привести к серьезным проблемам в процессе металлизации отверстий из-за снижения проводимости токопроводящего слоя.
- Эффект «собачьей кости», являющийся следствием неравномерности распределения слоя гальванической меди по поверхности отверстия, еще больше проявляется на печатных платах с высоким коэффициентом отношения толщины ПП к диаметру отверстия (aspect ratio).
- Высокий расход палладия.
- Невозможно применять механические методы подготовки печатных плат перед нанесением фоторезиста (гидроабразивная очистка).



Рис. 2. Подтрав внутреннего слоя МПП

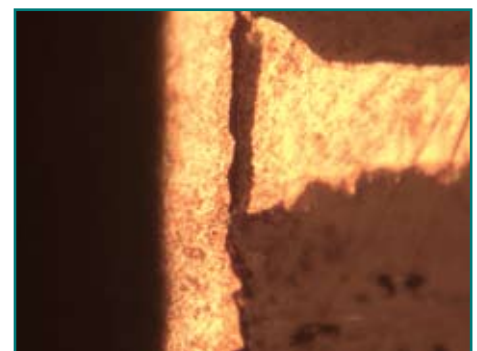


Рис. 3. Остатки палладия на внутреннем слое МПП

Процесс GRAPHOLE

Процесс GRAPHOLE позволяет получать токопроводящий слой в отверстиях печатных плат за счет коллоидных соединений графита (табл. 3). Излишки графита впоследствии удаляются при помощи специальной обработки и процесса микротравления.

Таблица 3. Технология GRAPHOLE

Процесс	Наименование продукта
Кондиционер	CUPROLITE X 35 DP
Промывка 2-каскадная	
Нанесение графита	GRAPHOLE 18
Промывка 2-каскадная	
Сушка	
Промывка 2-каскадная	
Микротравление	SODIUM PERSULPHATE
Промывка 2-каскадная	
Сушка	

Контроль

Контроль печатных плат после процесса GRAPHOLE осуществляется по проводимости между внешними сторонами печатных плат. Хотя этот метод контроля очень показателен, он не позволяет оценить равномерность распределения слоя палладия по поверхности отверстия и наличие микроразрывов в покрытии.

Достоинства процесса GRAPHOLE:

- Все стадии процесса контролируются аналитически.
- Низкий расход воды.
- Возможность запустить линию ради нескольких плат.
- Простое обезвреживание отработанных растворов.
- Экологически безопасный процесс.

Недостатки процесса GRAPHOLE:

- Процесс может быть реализован только в горизонтальных конвейерных установках.
- Трудно оперативно контролировать качество металлизации, дефекты могут проявиться только на операции оплавления и в этом случае брак уже невозможно переделать.
- Сложность с переделкой брака.
- Необходимость удаления слоя графита с медной поверхности заготовок печатных плат.
- Слой графита с медной поверхности заготовок печатных плат удаляется операцией микротравления. Если скорость процесса микротравления слишком высока, возможен подтрав внутренних слоев МПП. Если же скорость процесса микротравления слишком низка, остатки графита остаются на медной поверхности внутренних слоев МПП, особенно в отверстиях малого диаметра, что впоследствии приводит к отслоениям в процессе температурных тестов, даже если слой остатков графита был очень тонким.
- Любой дефект в процедуре сверления отверстий может привести к серьезным проблемам в процессе металлизации отверстий из-за снижения проводимости токопроводящего слоя.
- Эффект «собачьей кости», являющийся следствием неравномерности распределения слоя гальванической меди по поверхности

отверстия, еще больше проявляется на печатных платах с высоким коэффициентом отношения толщины ПП к диаметру отверстия (aspect ratio).

- Не подходит для производства печатных плат с микроотверстиями, глухими отверстиями и МПП с большим количеством внутренних слоев.
- Невозможно применять механические методы подготовки печатных плат перед нанесением фоторезиста (гидроабразивная очистка).

Толстослойное химическое меднение (ТХМ)

Процесс ТХМ позволяет получать токопроводящий слой в отверстиях печатных плат за счет химического осаждения слоя меди толщиной 1,5–2 мкм (табл. 4). После процесса ТХМ печатные платы направляются на нанесение фоторезиста с последующим гальваническим меднением и нанесением металлорезиста олово или олово-свинец.

Контроль

Контроль осуществляется визуально, при дополнительной подсветке (рис. 4, 5). Этим методом можно проконтролировать реальное покрытие химической медью в отверстиях и качество металлизации.

Достоинства процесса ТХМ:

- Все стадии процесса контролируются аналитически.
- Возможность визуального контроля печатных плат сразу после операции ТХМ.
- Возможность переделки брака.
- Широко используется во всем мире.
- Фактически отсутствует эффект «собачьей кости».
- Очень надежный процесс для металлизации микроотверстий.
- Малочувствителен к дефектам сверления.
- Возможность применения гидроабразивной очистки перед нанесением фоторезиста.

Таблица 4. Технология толстослойного химического меднения

Процесс	Наименование продукта
Кондиционер	CUPROUTE X 11
Промывка 2-каскадная	
Микротравление	SODIUM PERSULPHATE
Промывка 2-каскадная	
Прекатализатор	UNIPHASE PHP A
Катализатор	UNIPHASE PHP A + B
Промывка 2-каскадная	
Химическое меднение	CUPRO - T — ECO CNF
Промывка 2-каскадная	
Anti tarnish	ANTIOX MLX
Промывка 2-каскадная	
Сушка	



Рис. 4. Контроль с подсветкой

Недостатки процесса ТХМ:

- Многоэтапный процесс.
- Большой объем аналитических процедур.
- Желательно работать без перерыва настолько, насколько это возможно.
- Формальдегид и комплексообразователи в сточных водах.

Стандартное тонкослойное химическое меднение

Процесс ТХМ позволяет получать токопроводящий слой в отверстиях печатных плат за счет химического осаждения слоя

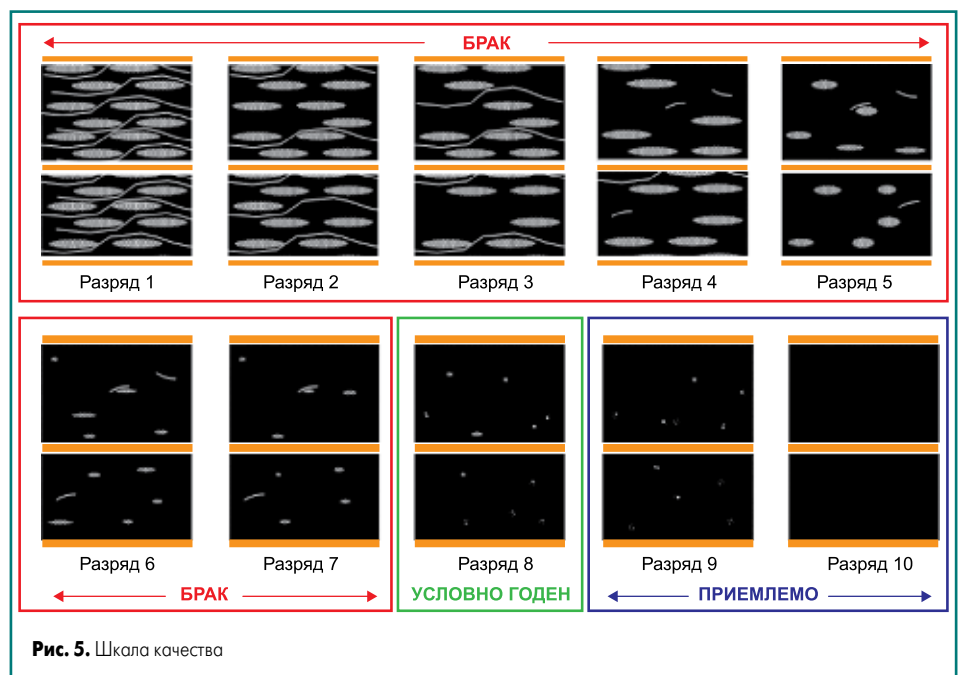


Рис. 5. Шкала качества

Таблица 5. Технология тонкослойного химического меднения

Процесс	Наименование продукта
Кондиционер	CUPROUTE X 11
Промывка 2-каскадная	
Микротравление	SODIUM PERSULPHATE
Промывка 2-каскадная	
Прекатализатор	UNIPHASE PHP A
Катализатор	UNIPHASE PHP A+B
Промывка 2-каскадная	
Химическое меднение	CUPRO-T – ECO CNF LB
Промывка 2-каскадная	
Гальваническая «затяжка»	
Промывка 2-каскадная	
Сушка	

меди толщиной 0,3–0,5 мкм (табл. 5). После процесса химического меднения необходимо провести операцию предварительного гальванического меднения («затяжки») толщиной около 5 мкм с последующим нанесением фоторезиста.

Контроль

Контроль осуществляется визуально, при дополнительной подсветке. Этим методом можно проконтролировать реальное покрытие химической медью в отверстиях и качество металлизации.

Достоинства процесса химического меднения:

- Все стадии процесса контролируются аналитически.
- Возможность визуального контроля печатных плат сразу после операции химического меднения.
- Возможность переделки брака.
- Широко используется во всем мире.
- Фактически отсутствует эффект «собачьей кости».
- Очень надежный процесс для металлизации микроотверстий на подвесках.
- Малочувствителен к дефектам сверления.
- Возможность применения гидроабразивной очистки перед нанесением фоторезиста.

Недостатки процесса химического меднения:

- Многостадийный процесс.
- Большой объем аналитических процедур.
- Желательно работать без перерыва настолько, насколько это возможно.
- Формальдегид и комплексообразователи в сточных водах.
- Более низкая производительность по сравнению с процессом ТХМ.

Заключение

Все рассмотренные процессы металлизации отверстий печатных плат надежны и широко применяются во всем мире. Выбор того или иного процесса зависит от задач, стоящих перед производителем печатных плат.

Однако, заглядывая в будущее, можно предположить, что с ростом сложности печатных плат, требований к их надежности и качеству, с одной стороны, и возможностью автоматизации контроля на каждой стадии технологического процесса металлизации, с другой,

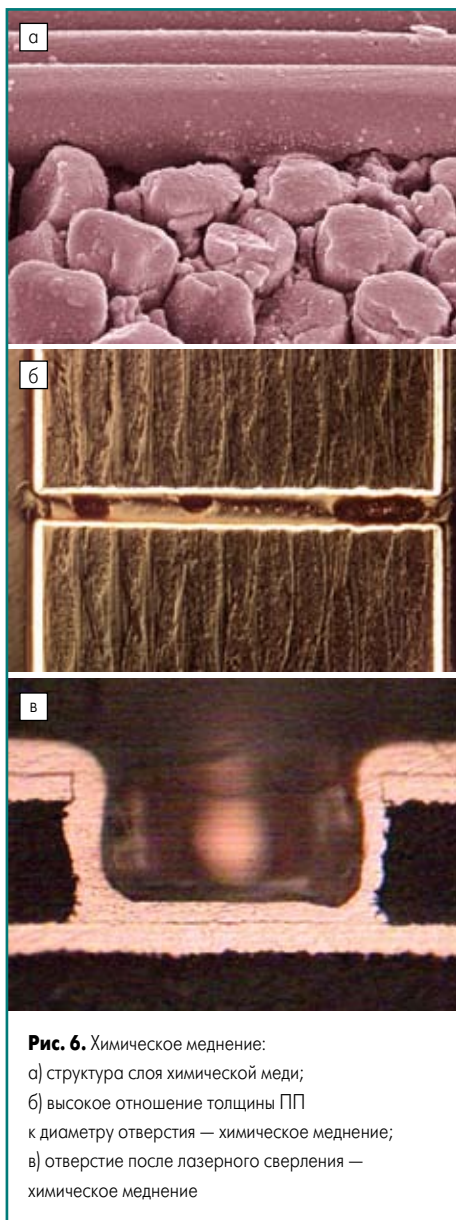


Рис. 6. Химическое меднение:
 а) структура слоя химической меди;
 б) высокое отношение толщины ПП к диаметру отверстия — химическое меднение;
 в) отверстие после лазерного сверления — химическое меднение

процесс химического меднения будет наиболее востребованным как с позиции производственной надежности, так и с позиции экономической эффективности.

Для подтверждения этого постулата следует отметить, что хотя процессы «прямой металлизации» применяются в производстве печатных плат в течение долгого времени, они никогда не были по-настоящему широко востребованы, в частности у крупных производителей в Азиатском регионе.

Мы считаем, что в будущем задачей разработчиков технологических процессов станет совершенствование процессов металлизации печатных плат на основе процесса химического меднения с большей экономической эффективностью и улучшенными характеристиками экологической безопасности — без использования формалина и хелатных соединений.

Примечание. Статья подготовлена на основе доклада, представленного на XI Международной конференции «Основные направления развития технологий, оборудования и материалов для производства печатных плат» (www.pcb-forum.info).