

## 1.8. ОСНОВНЫЕ ОПЕРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

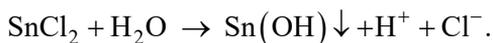
**Цель лекции:** изучение основных типовых операций технологического процесса изготовления печатных плат. Указание основных видов дефектов, встречающихся при выполнении этих операций и описание наилучших режимов/концентраций, позволяющих максимально избежать дефектов.

### 1.8.1. ХИМИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ

Цель этой операции – получить электропроводный слой меди для обеспечения возможности последующей гальванической металлизации отверстий. Химическое меднение диэлектрика осуществляется за счет восстановления на его поверхности меди из раствором её солей. При этом поверхность диэлектрика должна обладать каталитическими свойствами по отношению к реакции восстановления. Такие свойства диэлектрик приобретает после операции активирования – осаждения на его поверхности частиц металлов-катализаторов последующего химического меднения.

В производстве печатных плат широко распространен метод сенсактивирования – активирования с предварительной сенсбилизацией. Чаще всего для сенсбилизации используют растворы двухвалентного олова, а также применяют соединения Ge, Fe, Ti.

Для производства печатных плат применяют следующий раствор сенсбилизации:  $\text{SnCl}_2$  – 10–100 г/л;  $\text{HCl}$  – 10–30 мл/л. Присоединение  $\text{SnCl}_2$  к поверхности происходит не в растворе сенсбилизирования, а при промывке поверхности водой ( $T = 18 \div 25^\circ\text{C}$ ;  $t = 2 \div 5$  мин):



Результат сенсбилизации – осаждение на поверхности диэлектрика солей двухвалентного олова  $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}$  или других соединений, служащих катализатором в реакции восстановления металла-активатора.

Сенсбилизацию можно также проводить обработкой в красителях, например метиленовом синем, анилиновом синем с последующей обработкой в восстановителе  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  (гидросульфит) и промывкой.

Активирование осуществляют обработкой сенсбилизированной поверхности растворами соединений каталитически активных металлов Pd, Pt, Au, Ag. Растворы могут быть кислыми или щелочными. Металл в них находится в виде простого или комплексного соединения. При взаимодействии с сенсбилизатором на поверхности платы оседают коллоидные или малораство-

римые соединения металла-катализатора. Для химического меднения печатных плат распространены два раствора активирования:

- 1)  $\text{PdCl}_2 - 0,8-1 \text{ г/л}$ ;  $\text{HCl} - 1-2 \text{ г/л}$  ( $T = 20^\circ\text{C}$ ;  $t = 1 \div 2 \text{ мин}$ );
- 2)  $\text{PdCl}_2 - 4 \text{ г/л}$ ;  $\text{NH}_4\text{OH} - 250-350 \text{ мл/л}$ ; Трилон Б-12 г/л ( $T = 18 \div 25^\circ\text{C}$ ;  $t = 3 \div 5 \text{ мин}$ ).

Первый раствор – кислый, второй – щелочной. При активировании диэлектрика в кислом растворе скорость химического меднения значительно выше. Однако при концентрации кислоты в растворе более чем 15% возможен подтрав внутреннего окисленного слоя фольги.

В последнее время широкое распространение получало совмещенное сенсактивирование в растворах, содержащих соли двухвалентного олова и двухвалентного палладия. На поверхности диэлектрика, обработанного в таком растворе, образуется коллоидная частица, включающая  $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}$  и  $\text{PdCl}_2$ . При последующей обработке поверхности в растворе  $(\text{NH}_4)\text{HF}_2$  образуется металлический палладий – катализатор последующего меднения. Для успешной металлизации диэлектрика необходимо, чтобы в процессе активирования на квадратном миллиметре поверхности детали образовалось 10–15 частиц палладия диаметром  $\approx 50 \text{ нм}$ .

Химическое меднение печатных плат производится в растворах, содержащих соль двухвалентной меди (обычно  $\text{CuSO}_4$ ), восстановитель, комплексообразователи меди, вещества, поддерживающие pH раствора, различные добавки. Хороший восстановитель, используемый для химического меднения – формалин. При восстановлении им меди обеспечивается автокаталитический процесс, т. е. катализатором процесса является сама медь, что препятствует прекращению роста пленки меди по мере покрытия ею центров кристаллизации (частиц палладия) и самопроизвольному восстановлению меди из  $\text{CuSO}_4$  в объеме раствора. Автокатализ при восстановлении меди гипофосфитом, гидразином, гидросульфитом выражен гораздо слабее.

Химическое меднение требует тщательного соблюдения режимов и концентраций. Этот процесс обладает следующими недостатками: все растворы разового действия и имеют низкую плотность загрузки ( $< 2 \text{ дм}^2/\text{л}$ ); растворы очень нестабильны и требуют тщательной отработки процесса. Химически осажденная медь обладает очень низким качеством. Её удельное сопротивление значительно превышает сопротивление чистой меди. Гальваническая медь плохо сцепляется с химической. Требуется механическая зачистка поверхности перед гальваническим меднением. Скорость химического осаждения меди  $\sim 0,5 \text{ мкм/ч}$ , толщина слоя меди на печатных платах составляет 0,3–0,5 мкм.

### 1.8.2. ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ

Гальваническое осаждение меди производят для получения основного слоя металла-проводника. При этом плата с нанесенным слоем химической меди является катодом, а анодом – массивная медная пластина. Гальваническое меднение печатных плат предназначено обеспечивать толщину слоя меди в отверстиях не менее 25 мкм, равномерный по толщине слой меди на поверхности платы. Для этого необходима высокая рассеивающая способность электролита, прочное сцепление гальванической меди с фольгой и химической медью.

Наиболее распространенные в производстве ПП – сульфатные, фторборатные, фторсиликатные и пиррофосфатные электролиты меднения. Сернокислый электролит, состоящий из  $\text{CuSO}_4$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , обладает самой низкой рассеивающей способностью, дает крупнозернистые осадки меди. Лучшими свойствами обладают электролиты (табл. 1.17).

Таблица 1.17

Свойства электролитов

Электролит	Компоненты	Концентрация, г/л	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	pH	Температура, °С
Фторборатный	$\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$	230	2–4	0,5–1,5	18–25
	$\text{HBF}_4$	5–15			
	$\text{H}_3\text{BO}_3$	15–40			
Фторсиликатный	$\text{CuSiF}_6$	280–370	5–7	1,7–2,2	18–25
	$\text{H}_2\text{SiF}_6$	10–15			
Пиррофосфатный	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	30–38	1,0–1,5	7,5–9	45–60
	$\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	400–450			
	$\text{NH}_4\text{OH}$ (25%-й)	12–15			
	Лимонная кислота	10–15			

В этих электролитах компоненты  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{BF}_4)_2$ ,  $\text{CuSiF}_6$  являются растворителями анодов и способствуют получению ионов  $\text{Cu}^{2+}$ , разряжающихся на катоде. Фторборатная кислота  $\text{H}_3\text{BO}_3$  увеличивает проводимость электролита и способствует образованию мелкокристаллического осадка. Аналогичное действие оказывает фторсиликатная кислота  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ . Осаждение меди из фторборатных электролитов происходит с высокой скоростью. Выход по току (катодный и анодный) приближается к 100%. Электролит фторсиликатный по свойствам приблизительно аналогичен фторборатному,

однако требует большей плотности тока. При этом выход по току несколько снижается.

Пирофосфатные электролиты позволяют получить наиболее высокое качество меди. При плотности тока  $I = 1,0 \div 1,5 \text{ А/дм}^2$  выход по току – 100%. Аммиак ускоряет растворение анодов и способствует образованию мелкокристаллического осадка. Лимонная кислота адсорбируется на выступах микрорельефа катода и препятствует росту губчатых дендритов. Скорость осаждения меди из пирофосфатного электролита  $\sim 13 \text{ мкм/ч}$ .

Типичные дефекты химически осажденных пленок меди:

- 1) низкая прочность сцепления осажденной меди с фольгой вследствие плохого качества очистки фольги и нарушения режимов гальванического процесса;
- 2) наличие крупнозернистых шероховатых участков на поверхности покрытия вследствие присутствия органических веществ в электролите, адсорбирующихся поверхностью;
- 3) неравномерность по толщине слоя осажденной меди вследствие малой рассеивающей способности электролита;
- 4) наличие проколов в слое в отверстиях вследствие низкого качества химического меднения.

Для защиты поверхности токопроводящих участков при травлении меди с пробельных мест, а также для обеспечения условий пайки выводов ЭРЭ печатный монтаж покрывают металлорезистом Sn–Pb (15–20 мкм). Металлорезист, содержащий Sn 50–65% и Pb 50–35%, осаждается в фторборатном электролите. Для получения покрытия Sn–Pb, соответствующего сплаву ПОС-61 (температура плавления сплава должна быть 210°C, чтобы не повредить плату), необходимо поддерживать в электролите отношение  $\text{Sn}:\text{Pb} = (2,0 \div 2,5):1$ . На поверхности металлорезиста Sn–Pb не должно быть сульфатов и окислов. Для их удаления применяют осветление в растворе, содержащем  $\text{HCl}$  (17 г/л),  $\text{SnCl}_2$  (20 г/л), тиомочевину (до 1 г/л). После осаждения металлорезист оплавливают.

При производстве печатных плат с печатными разъемами (ламелями) в качестве материала покрытия ламелей применяют палладий. Если плата не была покрыта серебром перед палладированием, необходимо гальванически нанести подслоя никеля (3–6 мкм) для лучшего сцепления палладия с основанием. Эта операция осуществляется в обычном сернокислном электролите. Палладирование проводится в аммиакатных электролитах. Толщина покрытий из палладия составляет 1–2 мкм. Такие покрытия обладают высокой твердостью и износостойкостью, не тускнеют на воздухе до 400°C.

### 1.8.3. ТРАВЛЕНИЕ МЕДИ

Эта операция служит для удаления меди с пробельных мест и получения элементов печатного монтажа. Технологический процесс травления меди на печатных платах состоит из следующих операций: щелочное обезжиривание поверхности; декапирование в 20% растворе соляной кислоты; травление меди в соответствующих растворах; нейтрализация после травления; сушка обдувом воздуха.

После каждой операции следует процесс промывки водой. Проводники из меди перед травлением могут быть защищены фоторезистом или металлорезистом Ag; Au; Sn–Pb; Sn–Ni.

Для травления меди в производстве печатных плат применяют следующие растворы – на основе хлорного железа  $\text{FeCl}_3$ , хлорной меди  $\text{CuCl}_2$ , персульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ , хромовосерной кислоты.

Растворы на основе  $\text{FeCl}_3$  и  $\text{CuCl}_2$  не применяются в случае использования металлорезиста Sn–Pb.

Растворы на основе  $\text{CuCl}_2$  более перспективны, так как имеют следующие преимущества: предел насыщения раствора ионами  $\text{Cu}^{2+}$  примерно в 3 раза выше, чем у  $\text{FeCl}_3$  (150–180 г/л для  $\text{CuCl}_2$  и 50–60 г/л для  $\text{FeCl}_3$ ); высокая и постоянная скорость травления меди; легкость отмывки плат после травления (после обработки в  $\text{FeCl}_3$  образуются нерастворимые соединения типа  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}(\text{OH})_2$ , что требует дополнительного декапирования, а осадки гидроокиси меди снимаются промывкой в щелочи).

Для травления фольги на платах, покрытых оловянно-свинцовым припоем, могут применяться растворы хромовосерной кислоты. Широко применяется в этом случае травлением меди персульфатом аммония. Эти растворы создают на поверхности ПОС нерастворимые пленки сульфида свинца, предотвращающие растворение сплава.

Основные требования к процессу травления меди с печатных плат – обеспечение равномерного травления и минимального бокового подтравивания элементов печатного монтажа. Выполнение этих требований обеспечивается выбором правильного раствора и метода травления. Так, травление меди в растворах на основе хлорного железа или хлорной меди сопровождается боковым подтравиванием, величина которого в два раза меньше, чем при травлении в растворе на основе персульфата аммония. Для обеспечения равномерности травления всей поверхности печатной платы применяют струйный метод травления, при котором платы, расположенные на конвейере, равномерно перемещаются под струями травителя, причем расположение сопел, формирующих струи, обеспечивает попадание одинакового количества свежего травителя на каждый элементарный участок платы.

#### 1.8.4. СВЕРЛЕНИЕ МОНТАЖНЫХ ОТВЕРСТИЙ

От качества выполнения этой операции зависит сплошность и электрическая прочность печатного монтажа. К просверленным отверстиям предъявляются следующие требования:

- стенки отверстий должны быть гладкими, без заусенцев, смятия и расслаивания диэлектрика;
- оси отверстий должны быть перпендикулярны поверхности платы;
- отверстия должны быть строго цилиндрическими;
- не допускается наличия в отверстиях следов инструмента, смазки;
- отверстия не должны выходить за пределы контактных площадок.
- Эти требования обеспечиваются выбором соответствующих инструмента, оборудования, режимов обработки.

Сверление отверстий в печатных платах осуществляют спиральными твердосплавными сверлами, выполненными с высокой точностью. Процесс проводят без применения СОЖ во избежание загрязнения диэлектрика. Стойкость сверл – 2000–5000 отверстий. Для сверления платы собирают в пакет и фиксируют по базовым отверстиям. Толщина пакета не должна превышать 4 мм. Под нижнюю плату пакета помещают подкладку из гетинакса или оргстекла толщиной 1,5 мм, предотвращающую образование заусенцев при выходе сверла из пакета и поломку сверл. В качестве оборудования наиболее перспективно применение многошпиндельных сверлильных станков с программным управлением. Они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- размер поля обработки – 250–300 мм;
- точность позиционирования инструмента – не менее чем  $\pm 0,05$  мм;
- плавная регулировка частоты вращения шпинделей – от 5000 до 70 000 об./мин и подачи – от 0,02 до 0,5 об./мин;
- наличие пневматического устройства для удаления стружки.

Вследствие некачественного сверления на платах возникают следующие дефекты:

- 1) наличие неметаллизированных участков в отверстиях вследствие неровностей стенок отверстия, в которых скапливаются пузырьки воздуха, препятствующие осаждению меди на этих участках; наличия загрязнений участков отверстий, которые в дальнейшем удаляются вместе с осажденной на них медью;
- 2) уменьшение диаметра отверстий вследствие наличия заусенцев, на которые осаждается избыточное количество меди;
- 3) отслаивание проводников и контактных площадок вследствие снятия диэлектрика при высокой плотности отверстий. Смятый диэлектрик при металлизации впитывает химические реактивы и воду, которые могут подтравливать внутренний слой фольги. Насыщение диэлектрика ионами примесей снижает его сопротивление и

приводит к образованию коротких замыканий между соседними отверстиями;

- 4) смещение отверстий вследствие изгиба сверла, неправильной его заточки, высокой скорости подачи, сверления слишком толстого пакета плат, люфтов в патроне, шпинделе. При смещении отверстий возможен их выход за пределы контактных площадок на одной из сторон платы.

В табл. 1.18 приведены все основные операции технологических процессов изготовления двусторонних печатных плат различными методами. Операции даны в технологической последовательности.

Таблица 1.18

Основные операции технологических процессов изготовления двусторонних печатных плат

Основные технологические операции	Метод изготовления ДПП					
	Комбинированный позитивный	Комбиниров. позит. с печатными разьемами	Полуаддитивный		Аддитивный	Метод фотоформирования
			На диэлектрике	На металлич. основании		
Нарезка заготовок	+	+	+	+	+	+
Образование базовых отверстий	+	+	+	+	+	+
Образование монтажных отверстий	+	+	+	+	+	+
Нанесение диэлектр. покрытий	-	-	-	+	-	-
Активация поверхности	-	-	+	+	-	+
Химическая металлизация	+	+	+	+	-	-
Гальваническая металлизация	+	+	+	+	-	-
Фотосенсибилизация	-	-	-	-	-	+
Получение рисунка схемы	+	+	+	+	+	+
Усиление рисунка схемы	-	-	-	-	-	+
Термообработка	-	-	-	-	+	-
Активация поверхности	-	-	-	-	+	-
Химическая металлизация	-	-	-	-	+	+
Гальваническая металлизация	+	+	+	+	-	-
Нанесение металлорезиста	+	+	+	+	-	-
Удаление маски	+	+	+	+	+	-
Термообработка	-	-	+	-	+	+
Травление меди	+	+	+	+	-	-
Снятие металлорезиста с контактами	-	+	-	-	-	-
Палладиование печатного разьема	-	+	-	-	-	-
Оплавление металлорезиста	+	+	+	+	-	-
Обработка по контуру	+	+	+	+	+	+
Маркировка	+	+	+	+	+	+
Нанесение защитного покрытия	+	+	+	+	+	+
Окончательный контроль	+	+	+	+	+	+

Техника безопасности при работе с ручным сверлильным станком.

1. Пройдите инструктаж по работе с ручным сверлильным станком.
2. Работа со сверлильным станком возможна только с разрешения преподавателя или лаборанта. При обнаружении неисправности станка обязательно проинформируйте преподавателя или лаборанта.
3. Перед началом работы соберите волосы (можно использовать головной убор), застегните все пуговицы, в том числе пуговицы на манжетах, наденьте защитные очки и рукавицы. Не начинайте работу без разрешения преподавателя или лаборанта.
4. Проверьте, что рабочая зона не содержит посторонних предметов, которые могут помешать при работе.
5. Убедитесь, что станок находится на устойчивой горизонтальной поверхности, надежно закреплен и в исправном состоянии. Проверьте, что вам достаточно места для комфортной работы.
6. Перед началом работы убедитесь, что нужное вам сверло соответствует требованиям (острое, чистое, не повреждено и т. д.), а также что оно правильно и надежно закреплено в сверлильном станке, то есть находится строго перпендикулярно заготовке для сверления.
7. Во время работы запрещается оставлять станок без присмотра!
8. Во время работы станка не поправляйте обрабатываемую деталь руками. Чтобы подправить деталь выключите оборудование, дождитесь его полной остановки и после этого подправьте деталь.
9. Избегайте сильного нажима на сверло во избежание его разлома или иного повреждения. В случае повреждения сверла немедленно выключите станок, дождитесь его полной остановки, аккуратно снимите поврежденное сверло и утилизируйте. Убедитесь, что на рабочем месте не осталось осколков. Для продолжения работы используйте только исправное сверло.
10. При сверлении металлических материалов используйте смазку или охлаждающую жидкость, чтобы предотвратить перегрев и повреждение сверла. Своевременно обновляйте их.
11. После завершения работы выключите сверлильный станок и дождитесь его полной остановки перед заменой сверла или завершением работы.
12. Никогда не пытайтесь регулировать или очищать сверло пока оно вращается. При удалении стружки пользоваться поддувом запрещено.
13. Если произошло внезапное отключение электричества сразу произведите отключение станка. В противном случае внезапное включение станка может стать причиной травмы. Перед повторным включением станка убедитесь, что станок в исправном состоянии и деталь находится в правильном положении.
14. После завершения работы убедитесь, что все инструменты и оборудование полностью отключены и разложите их по местам.

**Тесты к лекции 1.7**

1. Что является источником меди при ее химическом осаждении?
  - а) Раствор ее солей;
  - б) Металлическая медь;
  - в) Раствор ее оксидов.
  
2. Что является восстановителем при реакции меди с формалином?
  - а) Медь;
  - б) Формалин;
  - в) Палладий.
  
3. Чем является плата с нанесенным слоем химической меди при гальваническом осаждении меди?
  - а) Катодом;
  - б) Анаодом;
  - в) Зависит от технологии производства.
  
4. Что НЕ относится к типичным дефектам химически осажденных пленок меди?
  - а) Пористость осажденной пленки;
  - б) Низкая прочность сцепления осажденной меди с фольгой;
  - в) Неравномерность по толщине слоя осажденной меди.
  
5. Как происходит сверление отверстий в плате при массовом производстве?
  - а) Платы собираются в пакет и фиксируются по базовым отверстиям;
  - б) Каждая плата закрепляется в установке сверления за счет крепежных отверстий;
  - в) Сверление проводится вручную с использованием лазерного станка.