

## **2.5. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ОТВЕРСТИЙ ПП**

**Цель работы:** ознакомление с процессом металлизации переходных и монтажных отверстий в печатных платах, технологией «глухих» микропереходов, изучение возможных дефектов при изготовлении.

### **Задание по работе**

В данной работе необходимо изучить методы исследования качества переходных отверстий ПП, научиться определять основные дефекты на различных стадиях металлизации отверстий. В процессе выполнения работы предлагается знакомство с различными дефектами переходных отверстий и выявление их на опытных образцах.

### **Теоретическая часть**

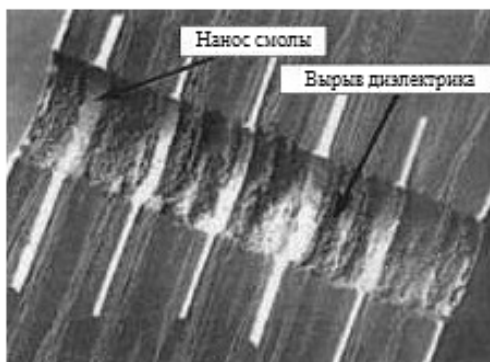
Перед выполнением необходимо изучить раздел 1.17.6 «Анализ дефектов печатных плат по микрошлифам» лекций.

Сквозные отверстия являются неотъемлемой частью структуры печатных плат. Данные отверстия могут служить для соединения элементов проводящего рисунка на разных слоях ПП (переходные отверстия), для обеспечения установки выводных элементов (монтажные отверстия), а также для крепления печатной платы в корпусе прибора или установки на плату объемных элементов конструкции, таких как радиаторы, экраны и т. п. (крепёжные отверстия). Отверстия ПП могут быть металлизированными и неметаллизированными. В данной работе будут рассматриваться металлизированные отверстия.

Одним из наиболее популярных методов производства печатных плат с металлизированными отверстиями является комбинированный позитивный метод. В отличие от химического метода, монтажные или переходные отверстия получают до образования проводящего рисунка на слоях при помощи сверления.

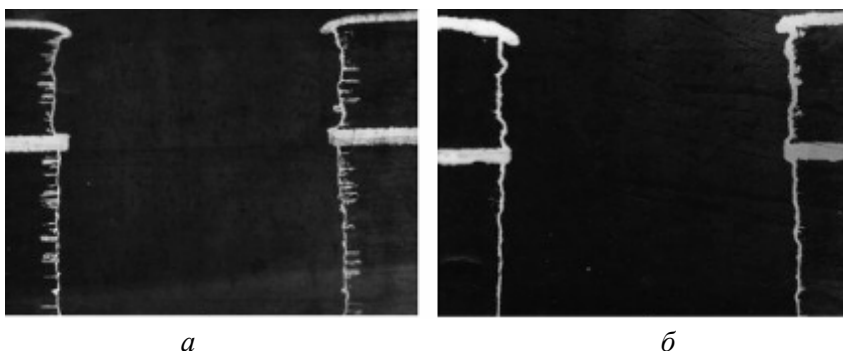
Стенки просверленных отверстий имеют дефекты (рис. 2.22) в виде наволакивания смолы, неравномерного микрорельефа и заусенцев, которые должны быть устранены перед металлизацией. Для этого применяют: механическую обработку абразивной суспензией, химическую обработку раство-

рами на основе соляной и серной кислот, комбинированную химико-механическую обработку, а также плазмохимическое травление.



**Рис. 2.22.** Дефекты на стенках отверстия после сверления

Как видно на рис. 2.23, при попытке металлизировать просверленные отверстия без дополнительной обработки появляются различные дефекты. Проникновение меди в трещины (рис. 2.23, *а*) может привести к замыканию металлизированного отверстия и расположенных рядом проводников, особенно при высокой плотности разводки. Также наличие неровностей и наплывов смолы может привести к отсутствию контакта и, как следствие, браку при производстве печатной платы.



**Рис. 2.23.** Фрагмент шлифта переходного отверстия  
*а* – металлизированного без дополнительной обработки стенок;  
*б* – металлизированного после химической обработки стенок

После очистки отверстий следует операция *химического меднения* диэлектрика. Данная операция осуществляется за счет восстановления на его поверхности меди из растворов 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.

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.

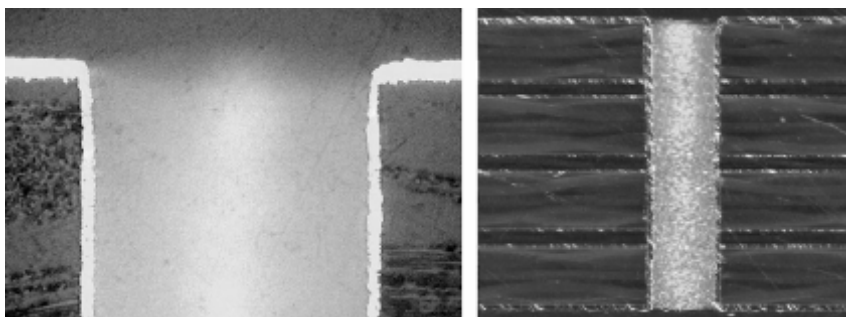
Активирование осуществляют обработкой сенсбилизированной поверхности растворами соединений каталитически активных металлов Pd, Pt, Au, Ag. Растворы могут быть кислыми или щелочными. При активировании диэлектрика в кислом растворе скорость химического меднения значительно выше. Однако при концентрации кислоты в растворе более чем 15% возможен подтрав внутреннего окисленного слоя фольги. Металл в растворах находится в виде простого или комплексного соединения. При взаимодействии с сенсбилизатором на поверхности платы оседают коллоидные или малорастворимые соединения металла-катализатора.

При предварительной металлизации отверстий слой меди толщиной  $h_{\text{пм}} = 5 \div 7$  мкм осаждается на всех поверхностях заготовки. Однако этой толщины недостаточно для надежного электрического соединения слоев металлизированными отверстиями.

Химическое меднение требует тщательного соблюдения режимов и концентраций. Этот процесс обладает следующими недостатками: все растворы разового действия и имеют низкую плотность загрузки; растворы очень нестабильны и требуют тщательной отработки процесса. Химически осажденная медь обладает очень низким качеством. Её удельное сопротивление значительно превышает сопротивление чистой меди.

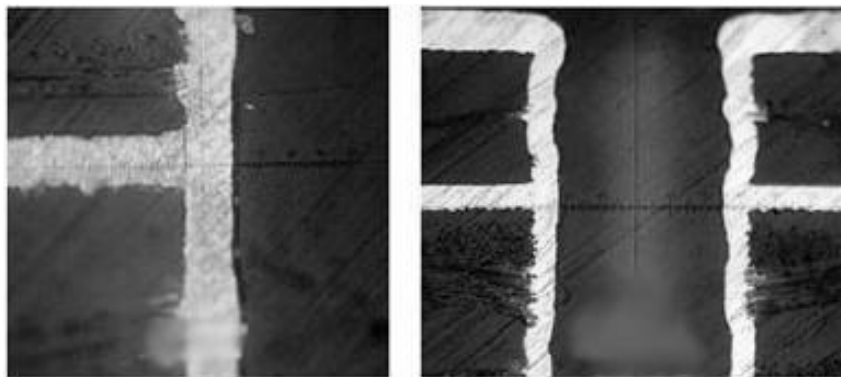
*Гальваническое осаждение меди* производят для получения основного слоя металла-проводника. Осаждение меди на плату происходит в ванне с электролитом под действием электрического тока. При этом плата с нанесенным слоем химической меди является катодом, а анодом – массивная медная пластина. Гальваническое 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. Скорость наращивания меди значительно выше, чем при химическом меднении, и составляет порядка 13 мкм/ч.



**Рис. 2.24.** Шлиф сквозного отверстия после операции предварительной металлизации

На рис. 2.25 приведен шлиф металлизированного отверстия после гальванического осаждения. Толщина слоя меди составляет порядка 25–30 мкм в отверстии и 40–50 мкм на поверхности платы.

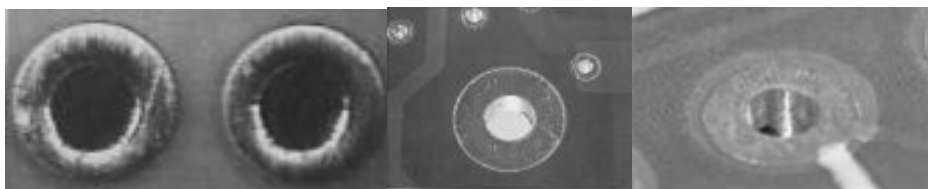


**Рис. 2.25.** Шлиф сквозного отверстия после операции гальванического осаждения меди

Для защиты поверхности токопроводящих участков при травлении меди с пробельных мест, а также для обеспечения условий пайки выводов ИЭТ 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). После осаждения металлорезист оплавливают.

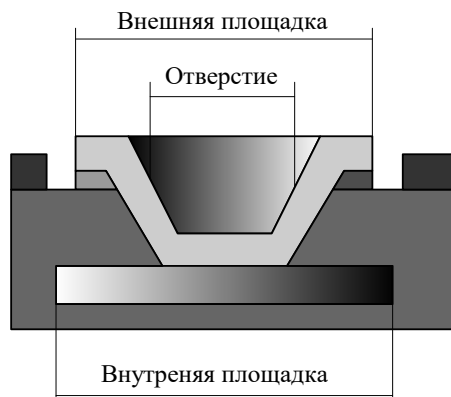
На рис. 2.26 представлены отверстия, покрытые металлорезистом.



**Рис. 2.26.** Внешний вид отверстий, покрытых металлорезистом

При производстве печатных плат с печатными разъемами (ламельями) в качестве материала покрытия ламелей применяют палладий. Если плата не была покрыта серебром перед палладированием, необходимо гальванически нанести подслой 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.

«Глухие» или «слепые» отверстия (рис. 2.27) соединяют наружный слой с одним или несколькими внутренними.



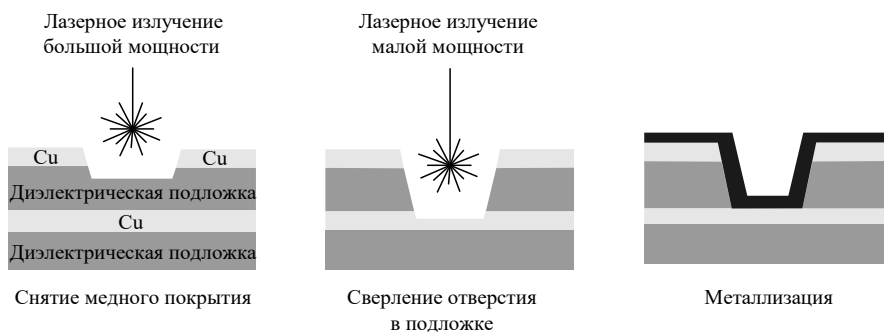
**Рис. 2.27.** Структура «глухого» микроотверстия

Обычно такой тип отверстий применяется в печатных платах 5-го и более классов точности с большой плотностью проводящего рисунка. Чаще всего это могут быть портативные приборы либо приборы с микросхемами в корпусах *BGA* с мелким шагом выводов. Существует несколько способов получения данного типа отверстий. Рассмотрим некоторые из них:

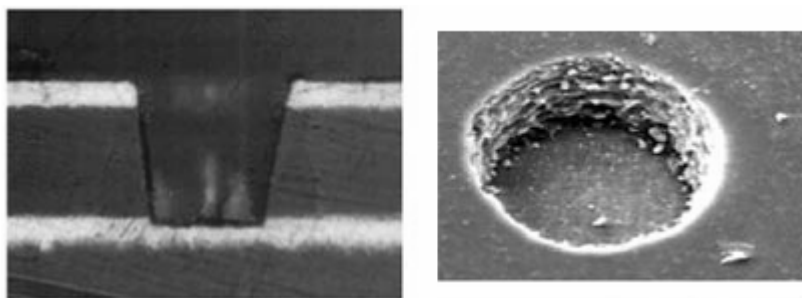
*Химическое травление.* Использование полиимидных пленок для наращивания слоев МПП позволяет вытравливать в них глухие отверстия в крепких горячих щелочах. Для этого первоначально в соответствующих местах вытравливаются окна в фольге, которая в данном случае играет роль маски. Этот групповой метод оформления отверстий, естественно, обладает высокой производительностью. Но отсутствие соответствующих установок со струйной обработкой горячими щелочами вынуждает использовать погружное травление, что влечет за собой нежелательное подтравливание диэлектрика под фольгой. Тем не менее, при отсутствии соответствующего оснащения травление отверстий остается одним из наиболее популярных способов выполнения глухих отверстий.

*Лазерное сверление.* Предлагается ряд совершенно новых решений для микросверления, основанного на использовании мощных лазеров. Лазерные системы позволяют сверлить сотни отверстий в секунду диаметром от 0,05 до 0,2 мм. Активная среда *Cu-Br*-лазера, излучающего на длинах волн 511 и 578 нм, или *Nd: YAG*-лазера с длиной волны на третьей гармонике 355 нм специально выбрана для хорошего поглощения энергии излучения медью в ультрафиолетовой области спектра. Необходимость использования таких систем обосновывается большим количеством микроотверстий в платах с высокой плотностью межсоединений (*MLB-HDI*). Плотность размещения

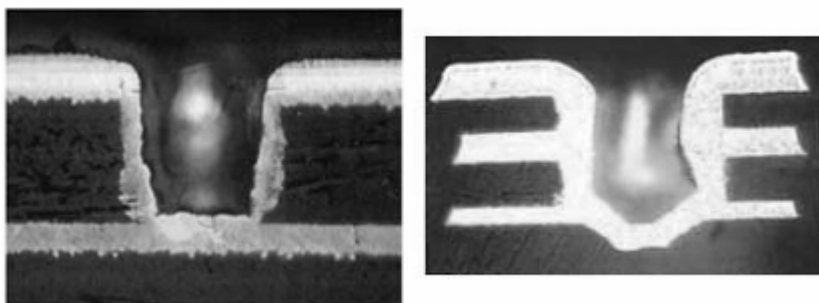
таких отверстий в *MLB-HDI*-платах достигает 10 тыс./ $\text{дм}^2$ . Для сверления комбинации фольги и диэлектрика приходится варьировать мощностью лазера так, что сверление фольги производится при плотности энергии 4 Дж/ $\text{см}^2$ , диэлектрической подложки – 0,1 Дж/ $\text{см}^2$  (рис. 2.28).



**Рис. 2.28.** Последовательность операций лазерного сверления глухих отверстий



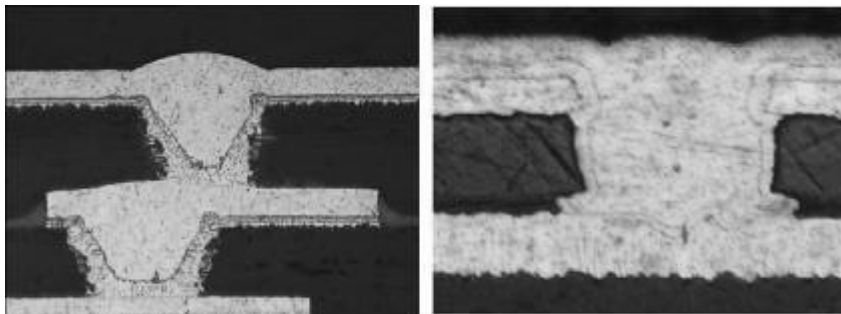
**Рис. 2.29.** Микрошлифы глухих отверстий (после лазерного сверления)



**Рис. 2.30.** Микрошлифы глухих отверстий (после металлизации)

При достаточно малых диаметрах глухих отверстий и в случаях, если они используются для межсоединений слоев МПП, используется полная металлизация, т. е. отверстие полностью заполняется медью. Также это позволяет

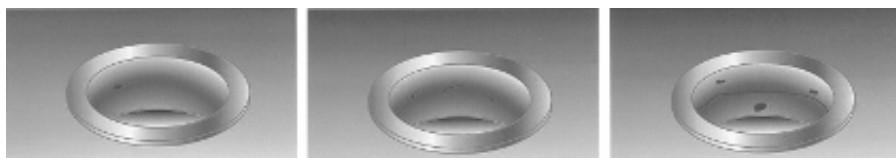
в 2 раза увеличить плотность межсоединений, так как в этом случае их можно располагать друг над другом, а не со сдвигом в сторону на один шаг, как если бы глухие отверстия не были заполнены металлом.



**Рис. 2.31.** Заполненное металлом глухое отверстие

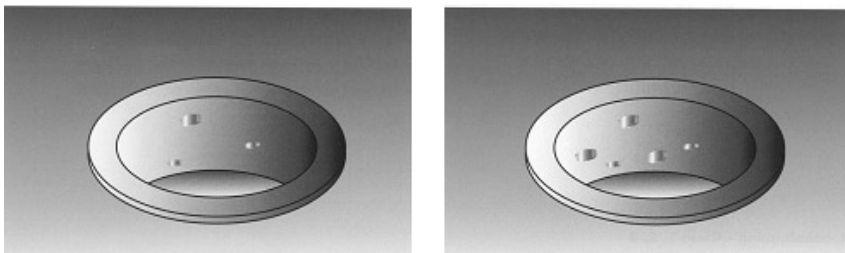
При производстве печатных плат могут возникать дефекты на различных стадиях металлизации отверстий:

1. *Раковины в медном покрытии*(рис. 2.32). Возникают на стадии предварительной или гальванической металлизации. Могут привести к отсутствию контакта, а также снижению механической прочности металлизации в отверстии.



**Рис. 2.32.** Раковины в медном покрытии

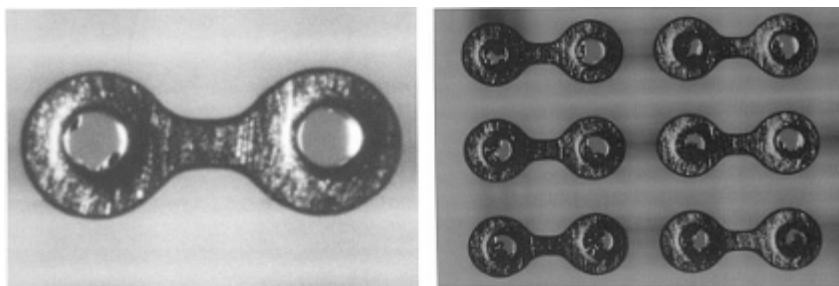
2. *Раковины в покрытии олово–свинец*(рис. 2.33). Возникают на стадии покрытия металлорезистом. Приводят к ухудшению паяемости отверстия, а также уменьшению коррозионной стойкости.



**Рис. 2.33.** Раковины в покрытии олово–свинец

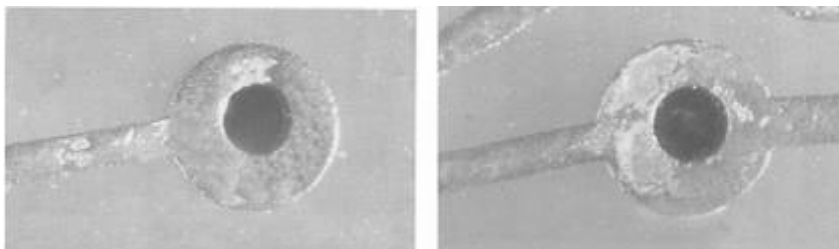


3. Утолщения/неровности слоя покрытия(рис. 2.34). Также возникают на стадии покрытия металлорезистом. Могут привести к частичному или полному закрытию отверстия и, как следствие, невозможности монтажа КМО.



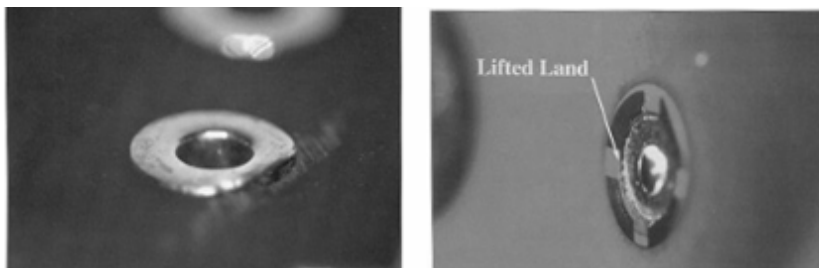
**Рис. 2.34.** Утолщения/неровности слоя покрытия

4. Несмачивание(рис. 2.35). Возникают на стадии покрытия металлорезистом. Приводят к ухудшению паяемости отверстия, а также уменьшению коррозионной стойкости.



**Рис. 2.35.** Несмачивание контактной площадки

5. Отслоение контактной площадки(рис. 2.36). Возникает в результате плохой адгезии металла к диэлектрику (недостаточная активация диэлектрика), либо при тепловом ударе (при пайке или горячем лужении). Может привести к отрыву контактной площадки от диэлектрика, ухудшению контакта и механических свойств соединения.



**Рис. 2.36.**Отслоение контактной площадки

**Подготовка к работе:** получите у преподавателя опытные образцы и средства для проведения замеров и расчётов

**Порядок выполнения работы:**

1. Ознакомиться с теоретической частью к лабораторной работе
2. Получить опытные образцы у преподавателя, примеры таковых представлены на рис. 2.37. Отверстия на образцах показаны в разрезе.



**Рис. 2. 37.** Примеры опытных образцов для выполнения лабораторной работы

3. Произвести визуальный анализ предоставленных образцов на предмет дефектов с помощью микроскопа
4. Заполнить таблицу 2.9 для отчёта:

*Таблица 2. 9*

Номер образца	Обнаруженные дефекты (зарисовать)	К чему могут привести данные дефекты	Причины данных дефектов

5. Проанализируйте, из-за каких ошибок ТП могли возникнуть перечисленные вами дефекты. Перечислите эти ошибки.
6. Ответьте на контрольные вопросы.

### **Завершение работы**

После выполнения работы необходимо вернуть опытные образцы преподавателю, привести в порядок рабочее место, выключить задействованные электронные приборы, а также подготовить отчёт по лабораторной работе.

### **Порядок оформления отчета по лабораторной работе**

В отчете по выполненной работе должны быть представлены:

1. Цель и задачи экспериментального исследования;
2. Краткий конспект теоретической части и теоретические расчеты;
3. Заполненная таблица из описания к лабораторной работе;
4. Результаты экспериментальных исследований;
5. Выводы по итогам сравнения расчетных и экспериментальных показателей;
6. Ответы на контрольные вопросы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите основные этапы металлизации отверстий. Коротко опишите каждый из них.
2. Что такое метод сенактивирования?
3. Что является результатом сенсбилизации?
4. Назовите недостатки химического меднения.
5. Опишите процесс галиванического осаждения меди.
6. Какой материал используют для покрытия ламелей? Опишите этот процесс.
7. Для чего используются глухие переходные отверстия?
8. Какие существуют методы получения глухих отверстий?
9. Когда используется полная металлизация отверстий?
10. Назовите основные дефекты при металлизации отверстий и с чем они связаны.