

1.10. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Цель лекции: анализ технологических процессов изготовления многослойных типов печатных плат с указанием материалов, методов получения рисунка печатной платы и проводящего рисунка печатной платы. Рассмотрение комплекта типового оборудования для производства МПП.

1.10.1. МПП ПОПАРНОГО ПРЕСОВАНИЯ

При разработке конструкции **МПП попарного прессования** (табл. 1.8, п. 9) учитывалась возможность применения известных типовых методов изготовления ПП и, в частности, ДПП на фольгированном диэлектрическом основании (табл. 1.8, п. 4).

Четырехслойную МПП получают с помощью двух фольгированных заготовок из СФ-2 с образованием проводящего рисунка вначале на внутренних слоях, а затем на наружных слоях (табл. 1.20).

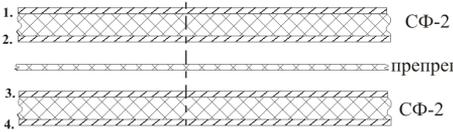
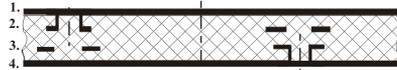
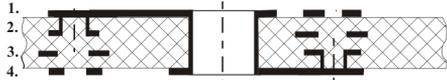
Электрическая связь слоев обеспечивается с помощью металлизированных отверстий 1–4. Так как проводящие рисунки слоев получают травлением фольги с пробельных мест, а металлизированные отверстия – осаждением меди, то применяются комбинированные методы изготовления ПП.

Внутренние слои 2 и 3 изготавливаются комбинированным негативным методом с применением негативных фотошаблонов, а гальваническое осаждение меди обеспечивается фольгой наружных слоев 1 и 4, включенных в электрическую цепь гальванической ванны с присоединением электродов в зоне технологического поля заготовки.

Проводящий рисунок наружных слоев 1 и 4 изготавливается комбинированным позитивным методом (табл. 1.12) с гальванической металлизацией сквозных отверстий.

Таблица 1.20

Изготовление МПП попарного прессования

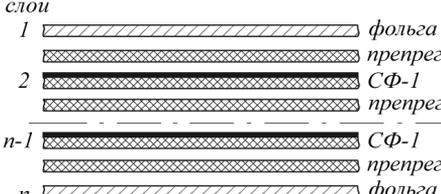
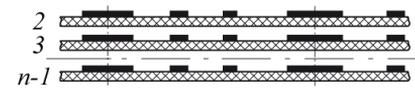
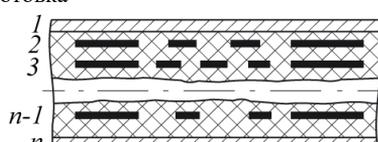
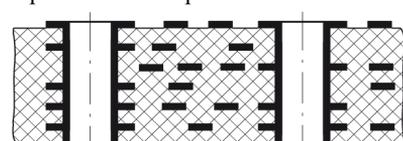
Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой фольгированного диэлектрика (СФ-2) на заготовки с технологическими полями, раскрой препрега. Химико-механическая подготовка поверхности фольги. Обеспечение условий хранения заготовок препрега (в холодильнике).	Две двусторонне фольгированные заготовки, диэлектрическая прокладка 
2	Получение проводящего рисунка на внутренних слоях 2 и 3 со сверлением и металлизацией переходных отверстий комбинированным негативным методом.	Проводящий рисунок на слоях 2 и 3, стенки переходных отверстий и сплошная фольга слоев 1 и 4 закрыты слоем гальванически осадженной Cu 
3	Сборка заготовок 1–2 и 3–4 в пакет с установкой прокладки-препрега. Прессование пакета под действием давления (p , кг/см ²) и температуры (T , °С). Химико-механическая обработка наружных слоев 1 и 4.	Монолитная заготовка – аналог заготовки ДПП. Переходные отверстия 1–2 и 4–3 заполнены эпоксидной смолой препрега. Примечание: проводящий рисунок изображен без разделения слоев меди 
4	Получение проводящего рисунка наружных (1 и 4) слоев и сквозных металлизированных отверстий комбинированным позитивным методом по технологии ДПП. Удаление технологического поля с контролем качества металлизации отверстий по тест-купонам.	Монолитная 4-слойная МПП с большим количеством переходных (1–2, 4–3) отверстий и относительно небольшим числом сквозных (1–4) отверстий. Предназначена для монтажа КМП (ИМС с планарными выводами, ЧИП-компоненты). Наносится паяльная маска 

Химико-гальваническая металлизация сквозных отверстий МПП попарного прессования приводит к большой толщине меди на наружных слоях (слой фольги плюс дважды осадженный гальванически слой меди). Велико боковое подтравливание проводящего рисунка наружных слоев, что не позволяет получить высокий класс точности ПП по параметру t/s . Возникают также проблемы обеспечения сплошности паяльной маски из-за большой толщины меди (100–130 мкм) на наружных слоях МПП.

1.10.2. МПП с МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Таблица 1.21

Изготовление МПП без внутренних межслойных переходов методом металлизации сквозных отверстий

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой односторонне фольгированных заготовок, препрега и медной фольги	Необходимое количество заготовок слоев МПП с технологическими полями 
2	Получение проводящего рисунка внутренних слоев МПП химическим методом (см. табл. 1.5)	Наличие проводящего рисунка с контактными площадками в зоне будущих сквозных отверстий на каждом слое, знаков ориентации слоев 
3	Сборка заготовок слоев МПП в пакет. Прессование пакета под действием давления и температуры. Обеспечение точности совмещения слоев по знакам ориентации	Монолитная двусторонне фольгированная заготовка  <p>Слои 1 и n не имеют проводящего рисунка</p>
4	Получение проводящего рисунка на наружных слоях (1 и n), сверление и металлизация сквозных отверстий комбинированным позитивным методом (см. табл. 1.6), который является типовой технологией изготовления ДПП на диэлектрическом основании. Контроль качества металлизации отверстий. Нанесение паяльной маски	Готовая МПП с точным совмещением контактных площадок в зоне каждого металлизированного отверстия  <p>Упрощенный (стандартный) проводящий рисунок на наружных слоях. Слои земли, питания, сигнальные и экранные – внутри МПП. Паяльная маска на наружных слоях</p>

МПП с металлизацией сквозных отверстий получили наибольшее распространение в производстве ЭМ 1-го уровня. В классической (базовой) конструкции МПП (табл. 1.8, п. 10) металлизированные отверстия электри-

чески соединяют проводящие рисунки всех слоев при наличии в каждом слое в зоне металлизированного отверстия контактной площадки, к которой подходит печатный проводник. При наличии в МПП 10 слоев и, например, 1000 сквозных отверстий образуется 10 000 зон контакта в виде цилиндрических поясков перехода слоя металлизации отверстия к плоской контактной площадке проводящего рисунка каждого слоя. Таким образом, электрические соединения образуются только в зоне сквозных металлизированных отверстий (табл. 1.21), а их большое количество уменьшает электрическую надежность межслойных соединений.

ТП рассматриваемой МПП состоит из этапов (рис. 1.31): получение проводящего рисунка на внутренних слоях; сборка слоев в пакет и прессование его с образованием монолитной МПП; получение проводящего рисунка на внешних слоях платы с металлизацией сквозных отверстий (табл. 1.21).

Проводящий рисунок на внутренних слоях МПП при отсутствии внутренних межслойных переходов (табл. 1.8, п. 10) получают на односторонне фольгированном диэлектрике химическим методом (табл. 1.11). После химико-механической обработки слои собирают в пакет с установкой между ними слоев плетеной стеклоткани (препрега), пропитанной эпоксидной смолой, находящейся в состоянии неполного отверждения. Толщина слоев препрега должна быть в два раза больше толщины слоя меди проводящего рисунка внутренних слоев, что гарантирует надежное заполнение смолой всех пустот в процессе прессования пакета.

Учитывая анизотропные свойства стеклоткани, меньшее растяжение по нитям основы и большее по нитям утка, требуется взаимноперпендикулярная ориентация слоев препрега и заготовок с проводящим рисунком. Это позволяет уменьшить деформацию пакета после прессования. Этому же способствуют близкие по величине площади покрытия медью в проводящем рисунке внутренних слоев и применение заготовок фольги для наружных слоев МПП с установкой их на прокладку из препрега (табл. 1.21, этап 1).

Таким образом, после операции прессования пакета получается двусторонне фольгированная заготовка, аналогичная заготовке ДПП (табл. 1.21, этап 3). Дальнейшее изготовление МПП целесообразно проводить по технологии комбинированного позитивного метода (табл. 1.12).

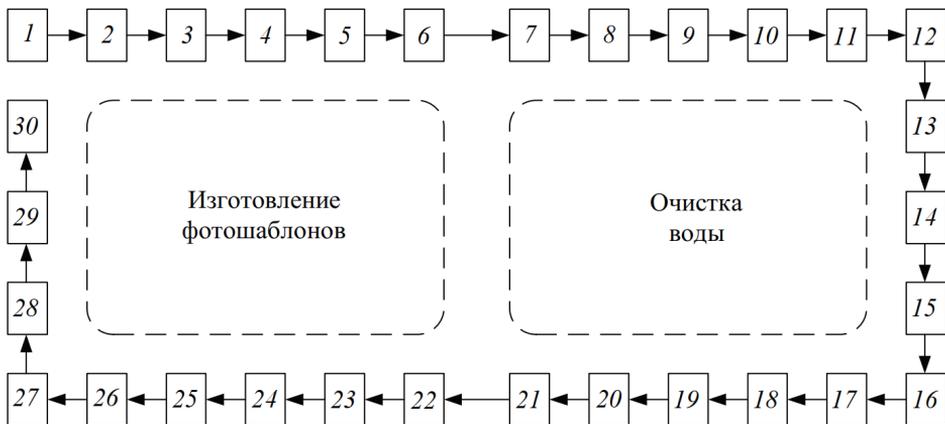
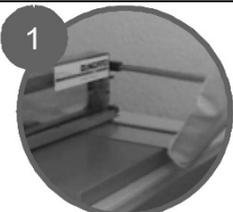
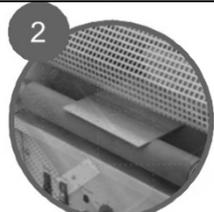
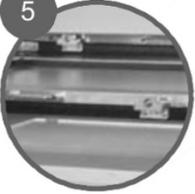
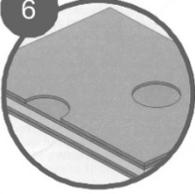
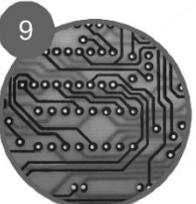
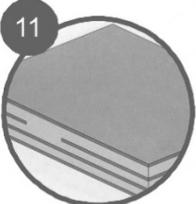
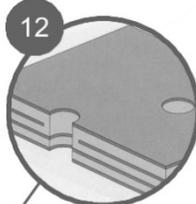
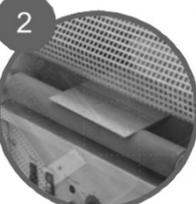
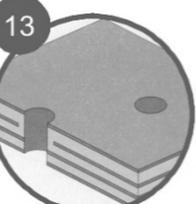
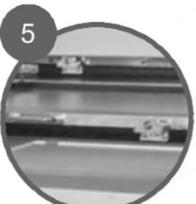
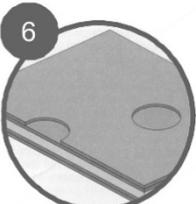


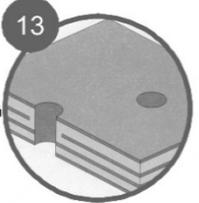
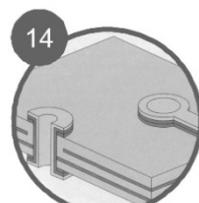
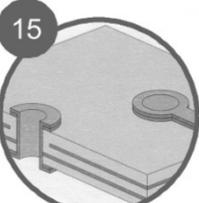
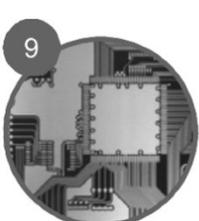
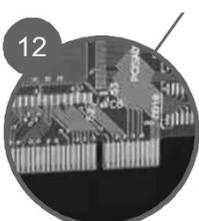
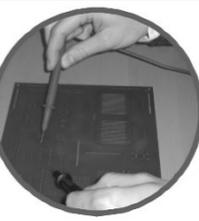
Рис. 1.31. Комплект типового оборудования для маршрута производства МПП
(www.ostec-group.ru)

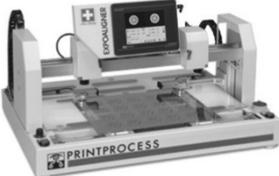
Таблица 1.22

К рисунку 1.31

Название	Иллюстрация	Название	Иллюстрация
1	2	3	4
<i>Наименование операций</i>			
1. Нарезка заготовок		2. Зачистка поверхностей	
3. Ламинирование фоторезиста		4. Базирование фотошаблона	
5. Экспонирование фоторезиста		6. Проявление фоторезиста	

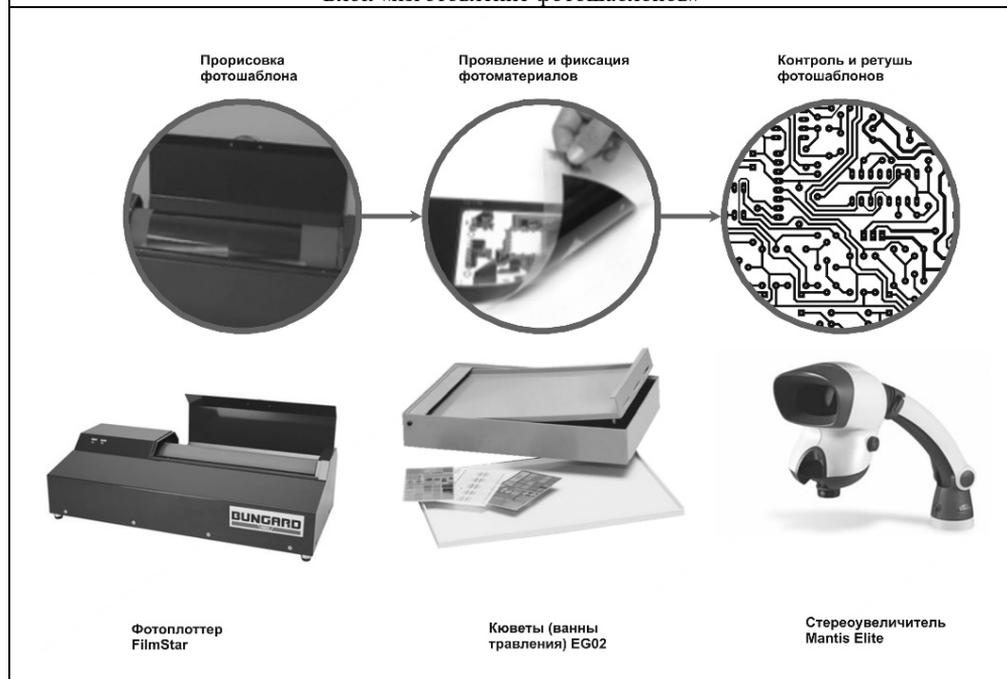
<p>7. Травление по фоторезисту</p>		<p>8. Удаление фоторезиста</p>	
<p>9. Контроль вытравленного рисунка</p>		<p>10. Сушка слоев</p>	
<p>11. Прессование слоев МПП</p>		<p>12. Сверление сквозных отверстий</p>	
<p>13. Зачистка поверхностей</p>		<p>14. Прямая металлизация сквозных отверстий</p>	
<p>15. Ламинирование фоторезиста</p>		<p>16. Базирование фотошаблона</p>	
<p>17. Экспонирование фоторезиста</p>		<p>18. Проявление фоторезиста</p>	

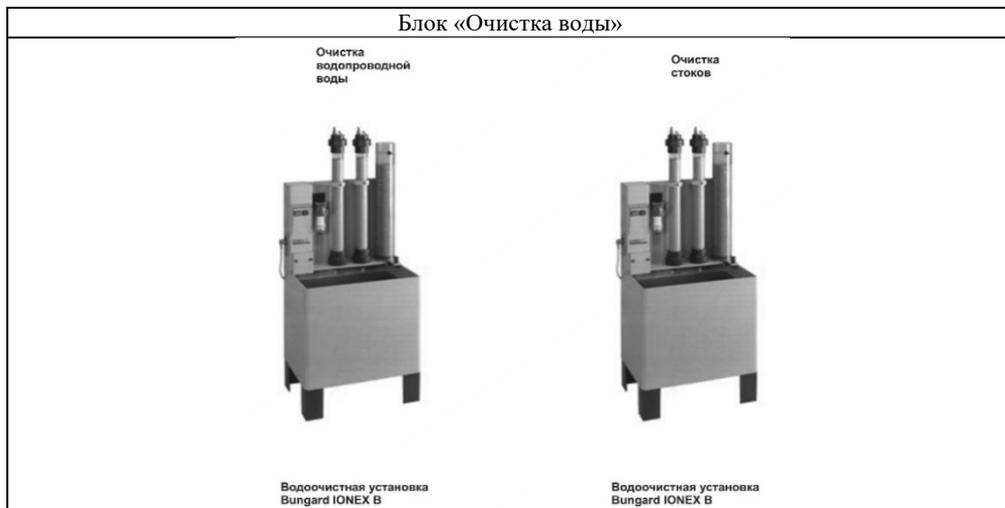
<p>19. Гальваническое меднение сквозных отверстий, осаждение металлорезиста</p>		<p>20. Удаление фоторезиста</p>	
<p>21. Травление рисунка</p>		<p>22. Удаление металлорезиста</p>	
<p>23. Контроль вытравленного рисунка</p>		<p>24. Нанесение композиции для маски, сушка, экспонирование, проявление, термодублирование</p>	
<p>25. Нанесение финишных покрытий</p>		<p>26. Маркировка</p>	
<p>27. Фрезерование сложного контура</p>		<p>28. Финишная отмывка плат от технологических загрязнений</p>	
<p>29. Контроль по признакам внешнего вида</p>		<p>30. Электрический контроль на обрыв цепей и короткое замыкание</p>	

<i>Соответствующее наименование оборудования</i>			
<p>1. Гильотинные ножницы <i>NE-CUT</i></p>		<p>2. Зачистная машина <i>RBM300 BLS</i></p>	
<p>3. Ламинатор <i>RLM 419p</i></p>		<p>4. Установка автоматическо- го совмещения <i>Expo-Aligner</i></p>	
<p>5. Установка экспонирова- ния <i>SEM M8K2</i></p>		<p>6. Конвейерная установка <i>DL 500</i></p>	
<p>7. Конвейерная установка <i>DL 500</i></p>		<p>8. Конвейерная установка <i>DL 500</i></p>	
<p>9. Стере- увеличитель <i>Mantis Elite</i></p>		<p>10. Сушильный шкаф <i>Source</i></p>	
<p>11. Пресс <i>RMP210</i></p>		<p>12. Сверльно- фрезерный ста- нок <i>CNC-1</i></p>	

<p>13. Установка металлизации <i>COMПАCTA L40 ABC 2Cu</i></p>		<p>14. Конвейерная установка <i>DL 500</i></p>	
<p>15. Установка <i>JET-34D</i></p>		<p>16. Ручная установка трафаретной печати <i>LSP-6070HP</i></p>	
<p>17. Установка металлизации <i>COMПАCTA L30 ABC</i></p>		<p>18. Ванна УЗ отмывки <i>S-Power</i></p>	

Блок «изготовление фотошаблонов»





Операция сверления сквозных переходных отверстий в пакете МПП требует особого внимания, минимальные диаметры отверстий находятся в пределах 0,2–0,6 мм, а в процессе сверления твердосплавные сверла с 4-гранной заточкой преодолевают сопротивление материалов: медная фольга ($h_{\phi} = 9; 18; 20; 35; 50$ мкм), стеклоткань (переплетенные с различной плотностью нити основы и утка), отвержденная эпоксидная смола препрега и диэлектрика внутренних слоев. При этом прохождение сверлом указанных материалов повторяется в соответствии с количеством слоев и заготовок МПП в обрабатываемом пакете.

Просверленные отверстия имеют характерные дефекты:

- заусенцы на входе и выходе сверла из пакета и отслоение фольги;
- наволакивание смолы на стенки отверстия из-за нагрева зоны сверления до 350°C;
- «гвоздевой эффект» – развальцовка торцов контактных площадок внутренних слоев МПП;
- смещение оси отверстия от заданной координаты на входе и выходе сверла.

Дефекты устраняются при подготовке и в процессе операции сверления или последующей очисткой отверстий в ходе технологической операции, входящей в ТП изготовления МПП. Чтобы уменьшить величину заусенцев, снизу в пакете плат размещают лист прессованного картона, а сверху, после установки пакета на столе сверлильного станка, – лист тонкой металлической фольги. Просверленная фольга выполняет роль направляющей втулки, препятствующей уходу сверла при сверлении пакета заготовок. Центрирование сверл может быть обеспечено и применением специальных направляющих втулок с усилием прижима их в зоне отверстия в пределах 1,5–2,0 МПа.

Наволакивание смолы и «гвоздевой эффект» минимизируют специальными заточками режущих кромок сверл, соблюдением диапазона подач рабочего ($s = 0,02 \div 0,05$ мм/об.) и обратного хода (ускоренное извлечение) инструмента, работой только острозаточенными сверлами (период стойкости – 1000–1200 отверстий). Температуру сверл уменьшают с помощью направленного воздушного охлаждения.

Так как полностью исключить наволакивание смолы на торцы просверленных контактных площадок внутренних слоев МПП не представляется возможным, то в технологический процесс изготовления введена операция очистки просверленных сквозных отверстий.

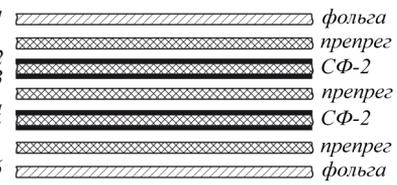
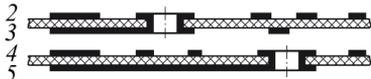
Известно несколько способов очистки: подтравливание в смеси серной и плавиковой кислот; перманганатная обработка; плазмохимическая и гидроабразивная очистка. Промышленное применение нашли перманганатная обработка и плазмохимическая очистка.

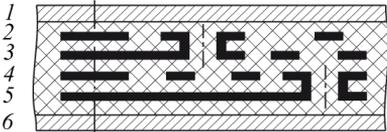
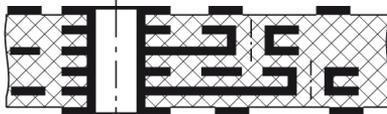
Перманганатная очистка проводится на конвейерных линиях струйной обработки с растворением смолы в щелочном растворе перманганата калия при температуре 70°C. В состав линии входят также ванны кондиционирования, восстановления и промывки.

Для *плазмохимической очистки* необходимо специальное стационарное вакуумное оборудование, в котором под действием высокочастотного электрического поля образуется плазма (газы – кислород, фреон), растворяющая смолу в отверстиях платы. Процесс сухой, экологически безвредный, однако достаточно дорогой, так как связан с применением и доставкой указанных газов. Сухое плазменное травление обеспечивает хорошую адгезию меди осаждаемой в отверстиях МПП.

Таблица 1.23

Изготовление МПП с внутренними межслойными переходами методом металлизации сквозных отверстий

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой двусторонне фольгированных заготовок, препрега и медной фольги	Необходимое количество заготовок слоев МПП с технологическими полями 
2	Получение проводящего рисунка внутренних слоев МПП комбинированным позитивным методом (см. табл. 1.6)	Проводящий рисунок слоев 2–3 и 4–5 соединен металлизированными переходными отверстиями. Наличие знаков ориентации слоев 

3	Сборка заготовок слоев МПП в пакет. Прессование пакета под действием давления и температуры. Обеспечение точности совмещения слоев по знакам ориентации	<p>Монолитная двусторонне фольгированная заготовка</p>  <p>Слои 1 и 6 не имеют проводящего рисунка. Внутренние межслойные переходы заполнены смолой препрега</p>
4	Получение проводящего рисунка на наружных слоях (1 и 6), сверление и металлизация сквозных отверстий комбинированным позитивным методом (см. табл. 1.6) по технологии ДПП. Контроль качества металлизации отверстий. Нанесение паяльной маски.	<p>Готовая МПП с точным совмещением контактных площадок в зоне сквозных металлизированных отверстий</p>  <p>Межслойные переходы сокращают длину сигнальных цепей проводящего рисунка. Внутренние слои: сигнальные цепи, шины земли, питания, экраны (экранная сетка). Паяльная маска на наружных слоях</p>

Отличие технологии изготовления **МПП с внутренними межслойными переходами** (табл. 1.8, п. 11) заключается только в том, что для изготовления внутренних слоев применяют двусторонне фольгированный диэлектрик (табл. 1.23) с образованием проводящего рисунка и металлизацией внутренних переходных отверстий комбинированным позитивным методом (табл. 1.12).

1.10.2. МПП ПОСЛОЙНОГО НАРАЩИВАНИЯ

В **МПП послойного наращивания** (табл. 1.8, п. 12) все проводящие слои (не более пяти) электрически соединены последовательно с помощью сплошь металлизированных переходных отверстий. Исходными заготовками для изготовления такой платы являются: лист медной фольги стандартной толщины (первый слой) и лист перфорированного диэлектрика: стеклоткань, полиимидная пленка (табл. 1.24, этап 1). Отверстия в диэлектрике могут быть получены травлением, пробивкой, прожиганием лазерным лучом или сверлением. Фольгу и перфорированный диэлектрик приклеивают друг к другу, затем из отверстий химико-механически удаляют остатки клея и гальванически наращивают в отверстиях слой меди. Сплошная фольга первого слоя служит катодом.

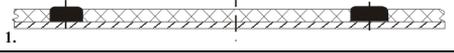
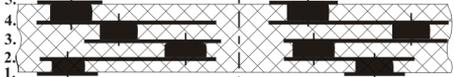
Осажденная в переходных отверстиях медь должна выступать над поверхностью диэлектрика (табл. 1.24, этап 2). Выступающую часть стол-

биков меди выравнивают шлифованием до уровня плоскости слоя диэлектрика. Эта операция трудоемка и плохо механизирована.

Проводящий рисунок следующего слоя получают электрохимическим методом (табл. 1.8) путем осаждения слоя $h_{\text{пм}}$, гальванического наращивания проводящего рисунка и травления $h_{\text{пм}}$ с пробельных мест. Для получения последующих слоев перечисленные выше операции повторяются (приклеивание перфорированного диэлектрика и т. д.). Проводящий рисунок в фольге первого слоя получают на последнем этапе изготовления платы химическим методом (табл. 1.24, этап 5).

Таблица 1.24

Изготовление МПП послойного наращивания

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой медной фольги нефольгированного диэлектрика. Перфорирование диэлектрика	Слой медной фольги и слой перфорированного диэлектрика 
2	Склеивание фольги и диэлектрика, удаление клея из отверстий в диэлектрике, гальваническое наращивание меди в отверстиях (слой фольги – катод)	Отверстия в диэлектрике заполнены сплошным слоем гальванически осажденной меди, выступающей за диэлектрик 
3	Химико-механическое вытравливание поверхности диэлектрика. Получение проводящего рисунка слоя 2 электрохимическим методом (табл. 1.8). Подготовка следующего слоя перфорированного диэлектрика	Слой фольги 1 остается сплошным, на слое 2 образован проводящий рисунок, следующий слой диэлектрика перфорирован 
4	Приклеивание перфорированного диэлектрика к пакету слоев 1 и 2. Гальваническое наращивание меди в отверстиях очередного слоя диэлектрика. Далее повторение операций наращивания последующих проводящих слоев	Образование следующих проводящих слоев. Слой фольги 1 выполняет роль катода на гальванических операциях 
5	Создание проводящего рисунка на слое фольги 1. Удаление технологического поля, нанесение паяльной маски	МПП со сплошными металлизированными межслойными переходами, обеспечивающими надежное соединение слоев 

Таким образом, МПП послойного наращивания имеет высокую надежность электрического соединения слоев с помощью сплошь металлизированных переходных отверстий, обеспечивает возможность получения меж-

слоистых соединений в любом свободном месте монтажного поля платы и, как следствие, высокую плотность печатного монтажа.

Недостаток данной МПП – только последовательное изготовление проводящих слоев, наличие операции очистки переходных отверстий после операций приклеивания и шлифования диэлектрика с выступающими медными столбиками. МПП предназначены только для монтажа компонентов (КМП), монтируемых на поверхность платы, и может быть применена для изготовления ЭВС высокой надежности (бортовая аппаратура).

Тесты к лекции 1.10

1. МПП попарного прессования предназначена для монтажа...
 - а) Чип-компонентов и ИМС с планарными выводами;
 - б) Выводных компонентов и ИМС с планарными выводами;
 - в) Только чип-компонентов.
2. Что такое препрег?
 - а) Плетеное стекловолокно, пропитанное эпоксидной смолой;
 - б) Клей для склеивания слоев печатной платы;
 - в) Затвердевшая эпоксидная смола.
3. Выберите верное утверждение:
 - а) Операцию сверления сквозных отверстий в МПП Для удаления стружки, возникшей при сверлении производят сразу после прессования пакета;
 - б) Операцию сверления сквозных отверстий в МПП производят до прессования пакета при помощи реперных знаков;
 - в) Операцию сверления сквозных отверстий в МПП производят только после получения печатного рисунка на наружных слоях платы.
4. Для чего нужна операция очистки просверленных сквозных отверстий?
 - а) Для устранения дефектов, возникших при сверлении и подготовки стенок отверстия к металлизации;
 - б) Для устранения дефектов, возникших при сверлении и подготовки стенок отверстия к металлизации;
 - в) Для удаления остатков растворов травления.
5. Что является исходными заготовками для изготовления МПП послойного наращивания?
 - а) Лист медной фольги стандартной толщины и лист перфорированного диэлектрика (стеклоткань или полиимидная пленка);
 - б) Готовые ОПП и ДПП с монтажем КМП;
 - в) Фольгированный стеклотекстолит и адгезивные материалы.