

1.7. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Цель лекции: рассмотрение методов изготовления печатных плат (химический, комбинированный позитивный, тентинг-метод, электрохимический, фотоаддитивный, аддитивный). Описание сути метода, указание области применения, сущности метода, класса точности получаемого рисунка, используемых материалов.

1.7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В ОСТе 2.ГО.010.209 приняты четыре метода изготовления ПП. Химический метод изготовления травлением фольги с незащищенных мест применяется для ОПП, ГПК и внутренних слоев МПП. Комбинированный позитивный метод, основанный на сочетании химико-гальванического способа металлизации отверстий, контактных площадок и проводников со способом химического травления фольги с пробельных мест, применяется для ДПП и МПП различных классов точности. Электрохимический (полуаддитивный) метод изготовления путем химико-гальванического предварительного меднения отверстий и поверхности нефольгированного диэлектрика, гальванического наращивания токопроводящих участков и химического травления слоя предварительного меднения с пробельных мест применяется для изготовления ПП 4-го и 5-го классов точности. Для изготовления МПП рекомендуется метод металлизации сквозных отверстий. При этом печатный монтаж на внутренних слоях получают химическим методом, а на внешних – комбинированным позитивным методом.

В классификации (рис. 1.20) приведены аддитивный метод (химическое осаждение) и метод фотоформирования, не включенные в ОСТ4.ГО.010.209, но являющиеся перспективными для производства ПП. Аддитивный метод – химическое осаждение меди в зоне токопроводящих участков на нефольгированный диэлектрик с введенным катализатором и адгезивным слоем. Метод фотоформирования – восстановление поверхности нефольгированного диэлектрика из водных растворов солей металлов и ионов, образующих рисунок толщиной 0,2–0,5 мкм, и последующее химическое осаждение слоя меди. Различные модификации метода связаны с различными способами формирования рисунка – фотоосаждение металлов, проявление и восстановление ионов, формирование лучом лазера, фотоформинг.

Материалы, применяемые для изготовления печатных плат, приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Материалы, применяемые для изготовления печатных плат

Наименование материала	Марка материала	Толщина		Область применения материала
		фольги, мкм	материала с фольгой, мм	
Гетинакс фольгированный	ГФ-1-35	35	1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОПП, ДПП
	ГФ-2-35		1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	
Стеклотекстолит фольгированный	СФ-1(2)-35	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОПП, ДПП
	СФ1(2)-50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	
	СФ-1Н(2Н)-50	50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	
Стеклотекстолит нефольгированный	СТЭФ-1-2ЛК	–	1,0; 1,5	ДПП, изготовленные эл.-хим. метод.
Слофадит		5	1,0; 1,5	
Стеклотекстолит теплостойкий фольгированный	СТФ-1(2)	35	0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35; 0,50; 0,80; 1,00; 1,5; 2,00; 2,50; 3,00	ДПП, МПП, ГПП
Стеклотекстолит фольгированный травящийся	ФТС-1-20А(20АО)	20	0,08; 0,15	МПП, ГПП
	ФТС-2-20А(20АО)	20	0,18; 0,27; 0,50	
	ФТС-1-35А(35АО)	35	0,10; 0,12; 0,19	
	ФТС-2-35А(35АО)	35	0,14; 0,23; 0,50	
Диэлектрик фольгированный тонкий	ДФО-2	35	0,25; 0,35	ГПП
Диэлектрик гибкий фольгированный	ФДЛ	35	0,06; 0,07; 0,10	ГПК
		50	0,08; 0,09; 0,12	
	ФДФ-ЗМС-1	20	0,12	
Стеклоткань прокладочная	СПТ-3	–	0,025; 0,060	МПП

Наиболее трудоемким является комбинированный позитивный и электрохимический методы. Предварительную химико-гальваническую металлизацию проводят в отверстиях и на поверхности ПП, а гальваническую металлизацию (наращивание) – только на токопроводящих участках (отверстия, КП, проводники). В комбинированном позитивном и электрохимическом методах печатный монтаж перед травлением меди с пробельных мест защищают гальванически осажденным металлорезистом (олово–свинец), который затем оплавливают.

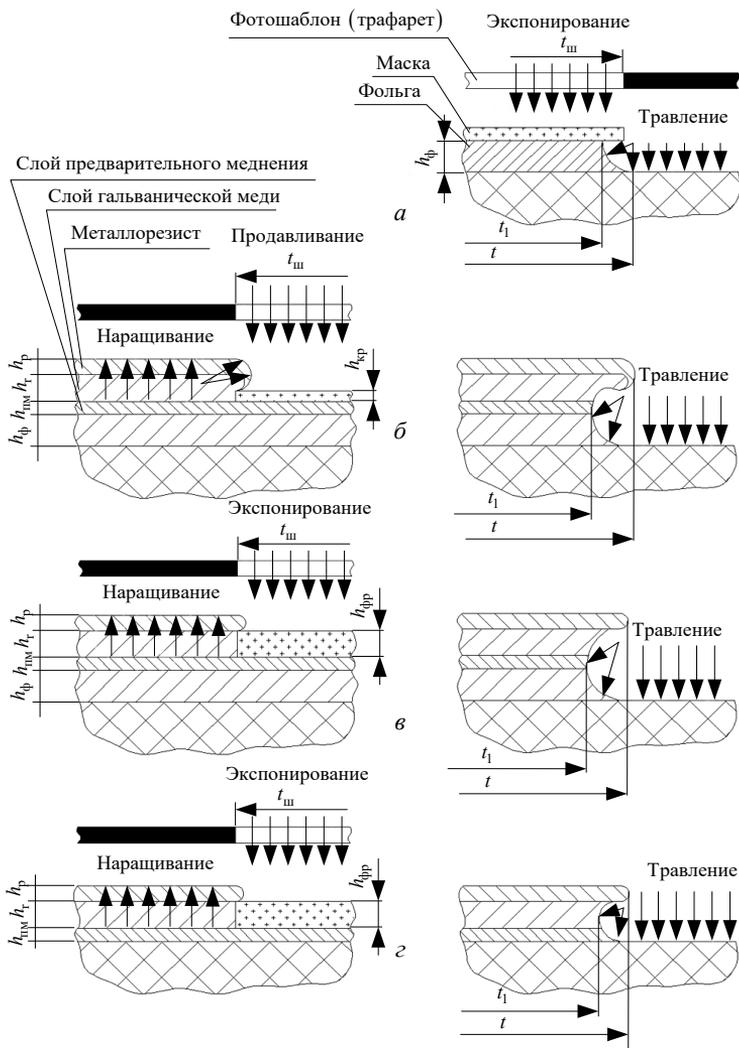


Рис. 1. 27.Изменение параметров печатного монтажа (проводника): при химическом методе (а), комбинированном позитивном с сеткографическим (б) и фотохимическим (в) способами получения рисунка, электрохимическом методе (г) с фотохимическим способом получения рисунка

Нанесение рисунка на заготовку с просверленными монтажными отверстиями требует применения сухого пленочного фоторезиста при фотохимическом способе или сеточно-графического способа получения рисунка (жидкий фоторезист не приемлем). Для совмещения рисунка контактных площадок с центрами монтажных отверстий необходимо точное базирование фотошаблона (трафарета) относительно заготовки платы.

По количеству основных этапов аддитивный метод и метод фотоформирования близки к химическому методу изготовления ОПП. Если сравнить трудоемкость методов изготовления ДПП и принять трудоемкость комбинированного позитивного метода за 100%, то трудоемкость электрохимического метода составит 90%, аддитивного метода $\approx 70\%$, а метода фотоформирования $\approx 60\%$.

1.7.2. ХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Химический метод (табл. 1.11). Применяется в тех случаях, когда исходными материалами являются фольгированные диэлектрики (ГФ, СФ, СТФ, ФТС, FR и другие). В аббревиатуре отечественных материалов буква «Ф» означает «фольгированный». Пример марки материала СФ-1-35, где СФ – стеклотекстолит фольгированный; 1 – одностороннее фольгированный; толщина фольги – $h_{\text{ф}} = 35$ мкм.

Сущность химического метода (субтрактивный метод – *subtratio* (лат) – «отнимать, вычитать») – образование проводящего рисунка путем удаления (травления) фольги в зонах, образующих непроводящий рисунок, т. е. в зонах пробельных мест (табл. 1.11, этап 3). При этом будущий проводящий рисунок защищает от травления маска из фоторезиста, нанесенного фотоспособом (рис. 1.21, а), или из краски, нанесенной сеткографическим способом (рис. 1.21, б).

Для травления применяют травители на основе хлорного железа (FeCl_3), хлорной меди (CuCl_2), персульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ и некоторые другие травители.

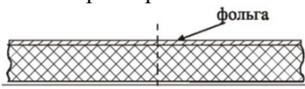
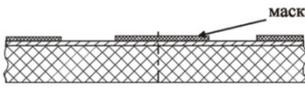
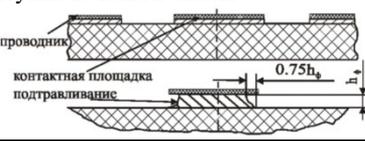
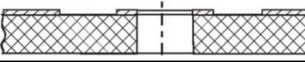
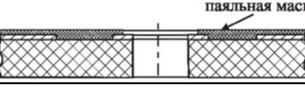
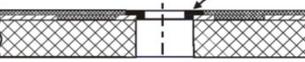
В зависимости от травителя и условий травления (температура, насыщенность медью) скорость травления колеблется в пределах 20–35 мкм/мин. Качество травления характеризуется величиной бокового подтравливания проводящего рисунка, которое составляет $0,75 h_{\text{ф}}$ при струйном травлении. Подтравливание следует учитывать при расчете узких мест и определении геометрии рисунка на фотошаблонах:

$$t_{\text{min}} = t_{1\text{min}} + 1,5h_{\text{ф}}; D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5h_{\text{ф}},$$

где $t_{1\text{min}}$ – исходная минимальная ширина сигнального проводника, заданная классом точности ПП или получающаяся на основании электрического расчета печатной схемы; $D_{1\text{min}}$ – минимально допустимый диаметр круглой контактной площадки в зоне монтажного или переходного отверстия.

Таблица 1.11

Химический метод изготовления ПП

Этап ПП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой и разделение листа фольгированного диэлектрика на заготовки печатных плат. Химико-механическая очистка поверхности.	Односторонне фольгированная заготовка конечных размеров 
2	Получение рисунка фотографическим (маска - фоторезист) или сеткографическим (маска - краска) способом.	На поверхность фольги заготовки нанесен позитивный рисунок печатной схемы 
3	Химическое травление фольги на пробельных местах ПП. Воздействие сопровождается подтравливанием фольги под маской.	Фольга удалена в местах, не закрытых маской, с образованием проводящего рисунка печатной схемы 
4	Химико-механическое удаление маски. Сверление монтажных отверстий в зоне контактных площадок проводящего рисунка.	В заготовке для односторонней ПП выполнены монтажные отверстия 
5	Нанесение, сушка и экспонирование рисунка паяльной маски (контактные площадки открыты для пайки).	Проводящий рисунок закрыт паяльной маской (кроме мест пайки навесных компонентов) 
6	Флюсование и горячее лужение мест пайки, не закрытых паяльной маской. Окончательная промывка готовой печатной платы.	На контактные площадки нанесен припой 

При дальнейшем уменьшении $t_{1\min}$ и $D_{1\min}$ следует учитывать фактор прочности сцепления фольги, приклеенной к диэлектрику, при механических, химических и температурных воздействиях.

Области применения химического метода – изготовление ОПП с монтажными неметаллизированными отверстиями и без монтажных отверстий, слоев МПП без межслойных переходов, ГПК и гибких шлейфов, гибко-жестких ПП.

1.7.3. КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОЗИТИВНЫЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Комбинированный позитивный метод (табл. 1.12) разработан для изготовления ПП на двусторонне фольгированных диэлектриках (СФ-2-50, ГФ-2, ФТС-2, СТФ-2 и других). Наличие в ДПП металлизированных отверстий требует сочетания операций: *удаление меди* (признак субтрактивного метода) с пробельных мест двух проводящих слоев и *осаждение меди* (признак аддитивного метода) на стенки металлируемых отверстий. Отсюда название метода – *комбинированный*.

В отличие от химического метода, монтажные или переходные отверстия ДПП получают до образования проводящего рисунка на слоях (табл. 1.12, этап 2). При предварительной металлизации отверстий слой $h_{\text{пм}} = 5 \div 7$ мкм химико-гальванически осаждается на всех поверхностях заготовки (табл. 1.12, этап 3). Однако этой толщины недостаточно для надежного электрического соединения слоев ДПП металлизированными отверстиями.

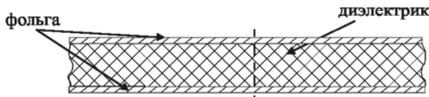
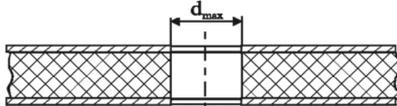
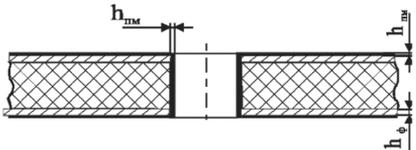
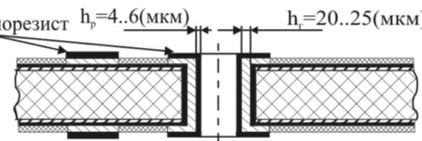
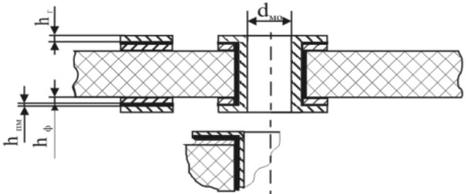
На этапе 5 (табл. 1.12) осуществляется гальваническое наращивание меди в отверстиях ($h_{\text{р}} = 20 \div 25$ мкм) и на всех участках проводящего рисунка слоев. При этом пробельные места защищают маской из фоторезиста (сухой пленочный фоторезист $h_{\text{фр}} = 20; 40; 60$ мкм) или краски $h_{\text{кр}} = 10$ мкм. На фольгированных поверхностях заготовки образуется негативный рисунок (табл. 1.12, этап 4). Следовательно, для его получения необходим позитивный фотошаблон или сетчатый трафарет. Отсюда полное название метода – *комбинированный позитивный метод*.

Для того чтобы защищать проводящий рисунок ДПП при травлении слоя ($h_{\text{ф}} + h_{\text{пм}}$) с пробельных мест (табл. 1.12, этап 6) его закрывают путем гальванического осаждения металлорезиста (олово Sn или олово–свинец Sn–Pb) – этап 5 (табл. 1.12). Если металлорезист олово ($h_{\text{р}} = 3 \div 5$ мкм), то после травления меди его также удаляют травлением. Паяемость проводящего рисунка обеспечивается нанесением паяльной маски (табл. 1.12, этап 7) и горячим лужением открытых мест пайки (табл. 1.12, этап 8).

Если металлорезист олово–свинец ($h_{\text{р}} = 10 \div 20$ мкм), то его оставляют на проводящем рисунке ДПП, а после травления меди с пробельных мест оплавляют. При этом паяльная маска наносится поверх оплавленного сплава олово–свинец.

Таблица 1.12

Комбинированный позитивный метод изготовления ПП

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой и разделение листа фольгированного диэлектрика на заготовки ДПП. Химико-механическая очистка поверхностей заготовки.	<p>Двусторонне фольгированная заготовка конечных размеров</p>  <p>фольга, диэлектрик</p>
2	Сверление отверстий на станке с ЧПУ. Подготовка отверстий под металлизацию.	<p>Заготовка с просверленными монтажными и переходными отверстиями</p>  <p>d_{max}</p>
3	Подготовка стенок отверстий и активация поверхностей под осаждение меди. Химическая или прямая металлизация с последующей гальванической затяжкой ($h_{пм} = 5 \div 7$ мкм).	<p>Стенки отверстий и поверхность фольги покрыты слоем предварительного меднения $h_{пм}$</p>  <p>$h_{пм}$, $h_{ф}$</p>
4	На фольгу ламинированием нанесен сухой пленочный фоторезист. Рисунок экспонирован с позитивного фотошаблона, проявлен и задублен.	<p>На поверхностях фольги заготовки образован негативный рисунок печатной схемы.</p>  <p>маска(фоторезист)</p>
5	Гальваническое наращивание меди на стенках отверстий (h_r) и в зонах проводящего рисунка на поверхности фольги. Гальваническое осаждение металлорезиста Sn на проводящий рисунок (h_p).	<p>В зонах, не закрытых СПФ, нанесен слой меди h_r и слой металлорезиста (олово) h_p.</p>  <p>металлорезист $h_p=4..6(мкм)$, $h_r=20..25(мкм)$</p>
6	Удаление фоторезистивной маски. Травление меди ($h_{ф} + h_{пм}$) с пробельных мест. Травление металлорезиста (Sn) на проводящем рисунке.	<p>Проводящий рисунок выполнен в объеме и на поверхности диэлектрического основания</p>  <p>$h_{пм}$, $h_{ф}$, d_{max}</p>

7	Нанесение, сушка и экспонирование рисунка жидкой маски (КП открыты для пайки выводов навесных компонентов)	<p>Проводящий рисунок закрыт паяльной маской (кроме мест пайки навесных компонентов). Проводящий рисунок изображен без разделения слоев меди.</p>  <p style="text-align: center;">паяльная маска</p>
8	Флюсование и горячее лужение мест пайки, не закрытых паяльной маской. Окончательная промывка готовой платы.	<p>На КП проводящего рисунка и на стенки отверстий нанесен припой.</p>  <p style="text-align: center;">припой</p>

При анализе геометрии проводящего рисунка ДПП учитывают явление разращивания проводников и других элементов печатного рисунка при гальваническом осаждении меди и металлорезиста ($h_r + h_p$) и явление подтравливания слоя ($h_\phi + h_{пм}$) при удалении (травлении) меди с пробельных мест.

Если маска из краски или тонкого СПФ, то учитывается подтравливание и разращивание:

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1,5(h_\phi + h_{пм}) + h_r + h_p;$$

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5(h_\phi + h_{пм}) + h_r + h_p.$$

Если маска из толстого СПФ ($h_{СПФ} = 40; 60$ мкм), то разращивание отсутствует и учитывается только подтравливание:

$$t_{\min} = t_{1\min} + 1,5(h_\phi + h_{пм});$$

$$D_{\min} = D_{1\min} + 1,5(h_\phi + h_{пм}).$$

Таким образом, при необходимости изготовления ДПП 4-го и 5-го классов точности не следует применять сеткографический способ нанесения рисунка, а также следует использовать тонкофольгированный диэлектрик СФ-2-9, СФ-2-18 и СТПА-5 ($h_\phi = 9; 18; 5$ мкм соответственно).

Комбинированный позитивный метод – типовой и наиболее распространенный в производстве ПП. Он применяется для изготовления ДПП различных классов точности, внутренних слоев МППс металлизированными переходными отверстиями, наружных слоев МПП с металлизацией сквозных отверстий и гибких ПП (ГПП) с металлизированными отверстиями.

1.7.4. ТЕНТИНГ - МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Тентинг-метод (табл. 1.13) разработан как менее трудоемкий для производства ДПП на двусторонне фольгированных диэлектриках. Основная его особенность – защита проводящего рисунка при травлении меди с пробельных мест не слоем металлорезиста (Sn, Sn–Pb), а слоем фоторезиста, который в зоне металлизированных отверстий образует тент (завеску). Технология комбинированного метода при этом видоизменяется (табл. 1.13). Сразу после предварительной металлизации ($h_{\text{пм}}$) следует гальваническое наращивание меди ($h_{\text{т}}$ до 35 мкм) в отверстиях и на поверхности фольги. Затем проводящий рисунок защищают с применением СПФ ($h_{\text{фр}} = 40; 60$ мкм), экспонируя его с негативного фотошаблона, а медь с пробельных мест удаляют травлением CuCl_2 , который хорошо поддается регенерации и утилизации. При этом для сохранения прочности завесок несколько увеличивают диаметры контактных площадок и увеличивают толщину применяемого фоторезиста (до 60 мкм). В тентинг-методе разрачивание проводящего рисунка отсутствует, а подтравливание снижает его точность:

$$t_{\text{min}} = t_{1\text{min}} + 1,5(h_{\text{ф}} + h_{\text{пм}} + h_{\text{т}});$$

$$D_{\text{min}} = D_{1\text{min}} + 1,5(h_{\text{ф}} + h_{\text{пм}} + h_{\text{т}}).$$

Поэтому применяют тонкофольгированные диэлектрики ($h_{\text{ф}} = 5; 9; 18$ мкм).

Тентинг-метод хорошо сочетается с технологией прямой металлизации диэлектрика в отверстиях, когда на стадии активации исключают химическое осаждение меди и сразу переходят к гальваническому осаждению.

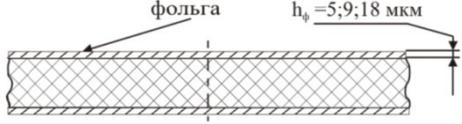
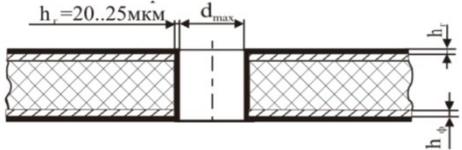
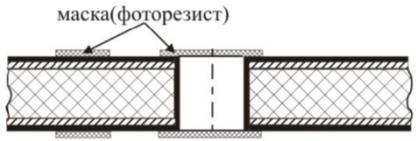
Защитное СПФ покрытие делает поверхность ПП, что увеличивает защиту проводников от коррозии, пыли и влаги.

По сравнению с тентинг-методом комбинированный позитивный метод является более экономичным. Кроме того, комбинированный позитивный метод, как правило, позволяет получить проводящий рисунок с большей точностью, чем тентинг-метод.

Паяемость ПП, изготовленных тентинг-методом, обеспечивают нанесением паяльной маски и горячим лужением мест, не закрытых ею.

Для изготовления прецизионных ПП применяются аддитивные (*additio* (лат.) – «присоединять, прибавлять») методы, реализуемые на нефольгированных диэлектриках. Рассмотрим вначале полуаддитивный (электрохимический) метод.

Тентинг-метод изготовления печатных плат

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой и разделение листа тонкофольгированного диэлектрика на заготовки ДПП. Химико-механическая очистка поверхностей заготовки.	Двусторонне фольгированная заготовка конечных размеров 
2	Сверление отверстий на станке с ЧПУ. Химическая или прямая металлизация, гальваническое наращивание Си до заданной толщины в отверстиях и на поверхности фольги.	Заготовка с переходными отверстиями металлизирована гальваническим осаждением Си в объеме и на поверхности 
3	Нанесение рисунка фотоспособом с применением СПФ с негативного фотошаблона.	На заготовке позитивный рисунок схемы. Отверстия закрыты завесками (тентами) из СПФ от проникновения травильных растворов 
4	Травление h_r и h_f с пробельных мест, удаление маски из СПФ, нанесение паяльной маски, горячее лужение проводящего рисунка.	Заготовка закрыта паяльной маской, места пайки подвергнуты горячему лужению 

1.6.5. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В электрохимическом методе (табл. 1.14) на нефольгированную заготовку (СТЭК) с просверленными отверстиями путем активации, химического осаждения ($h_{\text{ХМ}} \cong 1 \text{ мкм}$) и гальванической затяжки (до 5–7 мкм) наносят слой предварительного меднения ($h_{\text{ПМ}}$). Толщина слоя достаточна для дальнейшего гальванического наращивания меди на проводящий рисунок (табл. 1.14, этап 4) и осаждения металлорезиста (Sn). Толстая маска сухого пленочного фоторезиста (табл. 1.14, этап 3) препятствует разрачиванию меди,

а при травлении слоя $h_{\text{пм}}$ с пробельных мест подтравливание незначительно.

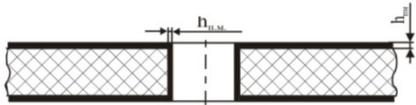
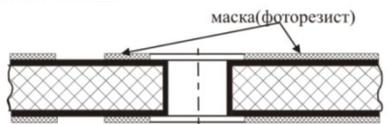
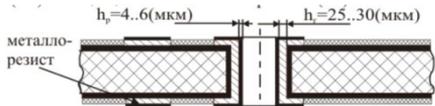
$$t_{\text{мин}} = t_{1\text{мин}} + 1,5h_{\text{пм}}; D_{\text{мин}} = D_{1\text{мин}} + 1,5h_{\text{пм}}.$$

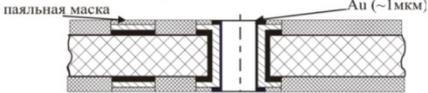
Все эти технологические условия позволяют получить проводящий рисунок 4-го и 5-го классов точности и даже точнее.

Таким образом, электрохимический (полуаддитивный) метод предусматривает предварительное меднение ($h_{\text{пм}}$) всей заготовки в объеме (отверстия) и на поверхности диэлектрика путем химико-гальванического осаждения меди. Слой металлизации служит катодом при дальнейшем гальваническом наращивании меди во всех зонах проводящего рисунка. После достижения заданной расчетной толщины Cu слой предварительного меднения ($h_{\text{пм}}$) удаляют с пробельных мест травлением (отсюда название – «полуаддитивный»).

Таблица 1.14

Электрохимический (полуаддитивный) метод изготовления ПП

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой и разделение листа нефольгированного диэлектрика на заготовки ДПП. Очистка поверхностей заготовки.	Заготовка конечных размеров из нефольгированного диэлектрика 
2	Сверление отверстий на станке с ЧПУ активация (Sn) и sensibilization (Pd) диэлектрика. Химическая металлизация (Cu) и гальваническая затяжка меди ($h_{\text{пм}} = 5 \div 7$ мкм).	Заготовка с просверленными монтажными отверстиями и переходными отверстиями металлизированна в объеме (стенки отверстий) и на поверхности слоем предварительного меднения ($h_{\text{пм}}$) 
3	Нанесение СПФ на металлизированную заготовку. Рисунок экспонирован с позитивного фотошаблона, проявлен и задубленю	На заготовку нанесен негативный рисунок печатной схемы маска (фоторезист) 
4	Гальваническое наращивание меди $h_{\text{Г}}$ в зонах проводящего рисунка (сплошной слой $h_{\text{пм}}$ на диэлектрическом основании – катод). Гальваническое осаждение металлорезиста Sn.	Проводящий рисунок доведен до оптимальной толщины (Cu) и защищен слоем металлорезиста (Sn) $h_{\text{Г}} = 4..6$ (мкм) $h_{\text{Сн}} = 25..30$ (мкм) металлорезист 

5	Удаление фоторезистивной маски, травление $h_{\text{пм}} = 5 \div 7$ мкм с пробельных мест, травление металлорезиста (Sn)	Слой предварительного меднения ($h_{\text{пм}}$) удален с пробельных мест диэлектрического основания. Металлорезист удален с проводящего рисунка 
6	Нанесение жидкой паяльной маски, сушка и экспонирование рисунка. Иммерсионное покрытие мест пайки на проводящем рисунке.	Проводящий рисунок закрыт паяльной маской. На места пайки выводов навесных компонентов нанесено иммерсионное покрытие (Sn, Au) 

1.7.6. ФОТОАДДИТИВНЫЙ МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Фотоаддитивный метод разработан для изготовления ПП на нефольгированном диэлектрике (табл. 1.15). В нефольгированной диэлектрической заготовке (материал СТЭК) сверлят монтажные и переходные отверстия. На заготовку наносят раствор, содержащий соли металлов (Cu, Ag) и обладающий фотосвойствами.

Нанесенный и высушенный раствор экспонируют УФ-излучением через негативный фотошаблон. При ультрафиолетовом облучении из раствора на диэлектрике осаждаются ионы металлов, образуя тончайшую металлическую пленку. При одновременном экспонировании с двух сторон заготовки металлическая пленка образуется и на стенках отверстий. Следует при этом учитывать отношение $d_{\text{мо}}/H_{\text{шт}}$.

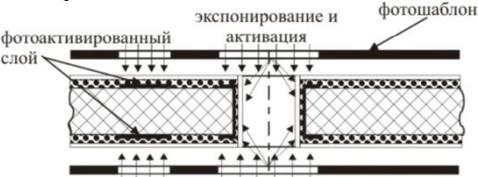
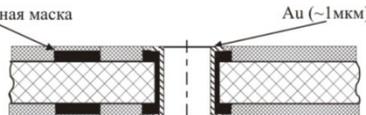
На диэлектрическом основании образуется тончайший металлический рисунок печатной схемы. Обеспечить толщину проводящего рисунка позволяет его толстослойное химическое меднение. Применение гальванического наращивания меди невозможно, так как все компоненты рисунка не соединены в единую электрическую цепь.

Процесс изготовления платы (например, ДПП) заканчивается нанесением паяльной маски и иммерсионным осаждением соответствующих металлов в местах пайки навесных компонентов и проводящего рисунка.

Основное преимущество фотоаддитивного метода – получение ПП 4-го, 5-го классов точности.

Таблица 1.15

Фотоаддитивный метод изготовления ПП

Этап ТП	Технологическое воздействие на материал	Характерные признаки состояния материала, эскиз заготовки
1	Раскрой и разделение листа нефольгированного диэлектрика на заготовки. Очистка поверхностей заготовки.	Заготовка конечных размеров из нефольгированного диэлектрика 
2	Сверление отверстий на станке с ЧПУ. Нанесение фотоактивируемого катализатора. Экспонирование и активация с образованием тонкого металлического рисунка.	Заготовка с отверстиями, все поверхности которой покрыты фотоактивируемым катализатором 
3	Тонкослойное химическое меднение (ТХМ) проводящего рисунка. Отмывка заготовки от технологических растворов и неактивированного катализатора. Нанесение паяльной маски и иммерсионного покрытия.	Проводящий рисунок заданной толщины закрыт паяльной маской. В местах пайки нанесено финишное иммерсионное покрытие 

Если пробельные места рисунка закрыты фоторезистивной маской, то разращивание $h_{ТХМ}$ отсутствует:

$$t_{\min} = t_{1\min};$$

$$D_{\min} = D_{1\min}.$$

Если маски нет, то происходит разращивание проводящего рисунка:

$$t_{\min} = t_{1\min} + h_{ТХМ};$$

$$D_{\min} = D_{1\min} + h_{ТХМ}.$$

Так как фотоаддитивный метод реализуется на нефольгированных диэлектриках, то в ТП изготовления отсутствует операция травления проводящего рисунка, что обеспечивает более высокую геометрическую точность.

Анализируя последовательность операций, следует отметить, что монтажные отверстия сверлят до нанесения рисунка печатного монтажа (исключение – химический метод). Это требует применения сверлильных станков с программным управлением и точного базирования заготовок плат на станке.

1.7.7. АДДИТИВНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

3D-печать или «аддитивное печатное производство» – процесс создания цельных трехмерных объектов практически любой геометрической формы на основе цифровой модели. 3D-печать основана на концепции построения объекта последовательно наносимыми слоями, отображающими контуры модели. Фактически, 3D-печать является полной противоположностью таких традиционных методов механического производства и обработки, как фрезеровка или резка, где формирование облика изделия происходит за счет удаления лишнего материала («субтрактивное производство»).

В настоящее время рынок аддитивных технологий активно развивается во всех направлениях науки и промышленности. Согласно исследованиям, рынок аддитивных технологий показывал непрерывный рост с 2017 по 2020 годы в среднем на 22% ежегодно. По прогнозам аналитиков, к 2027 году рынок аддитивных технологий может вырасти более чем на 300% относительно 2020 года. На рисунке 1.28 приведена столбчатая диаграмма состояния и прогноза рынка аддитивных технологий.

Рассмотрим с экономической точки зрения то, какие преимущества открываются перед разработчиками и производством при применении технологии 3D-печати при изготовлении печатных плат.

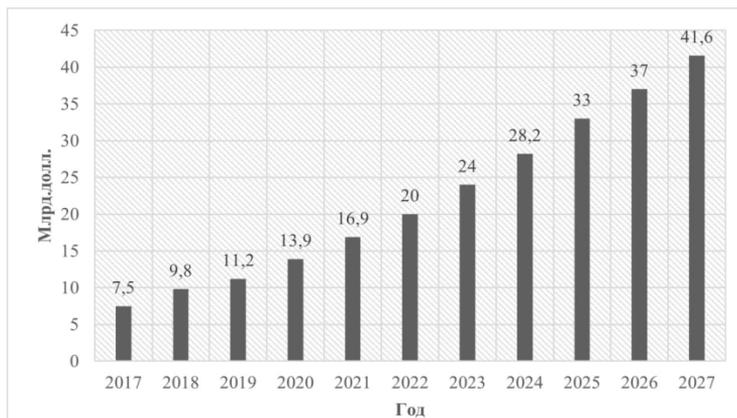


Рис. 1.28. Диаграмма состояния и прогноз рынка аддитивных технологий

Как правило, в аддитивном производстве, в сравнении с традиционным производством, значительно сокращаются затраты за счет существенного сокращения производственного цикла изделий. Появляется возможность отказаться от необходимости разработки технологии на изготовление, а также от этапов подготовки производства (заготовительные участки, литейное производство и т.д.).

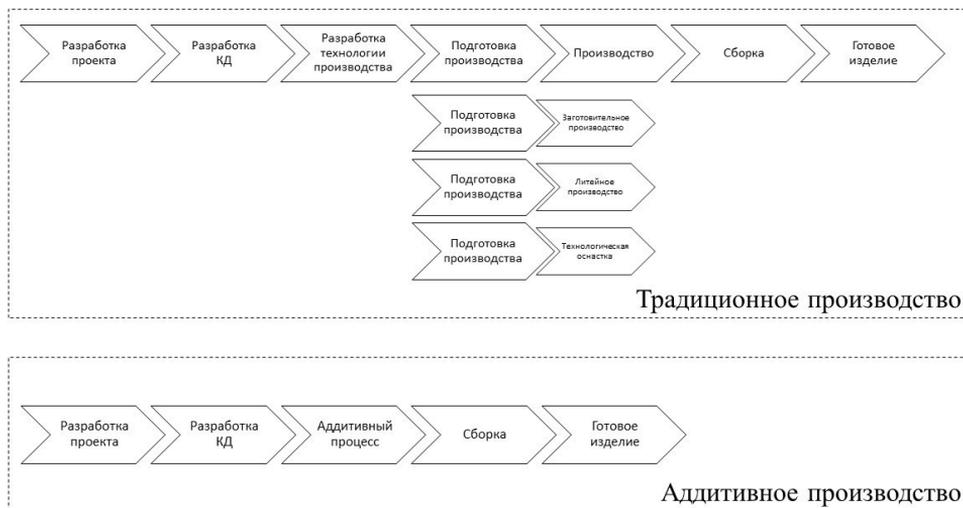


Рис. 1.29. Сравнение традиционного и аддитивного производства

Аддитивное производство также позволяет значительно сократить затраты на изготовление продукции за счет кратного сокращения штата рабочих, экономии на производственных площадях, экономии материалов, а также быстром производственном цикле. Однако перечисленные преимущества неминуемо приводят к снижению качества выпускаемой продукции. В таблице 1.16 приведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков двух технологий.

Таблица 1.16

Сравнительный анализ преимуществ и недостатков

Традиционное производство		Аддитивное производство	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Высокая степень надёжности	Сравнительно долгий производственный цикл	Быстрый цикл производства	Низкая степень надёжности
Отработанная технология	Большая площадь производства	Небольшая площадь производства	«Сырая» технология
Гарантийный срок на изделия	Большой штат сотрудников	Маленький штат сотрудников	Отсутствие гарантийного срока
Большой выбор поставщиков материалов и оборудования	Высокая стоимость оборудования для производства	Возможность применения особых технологий (встроенные компоненты, заполненные отверстия и тд)	Невозможность применения технологии для большей части уже разработанных изделий

Следует отметить, что аддитивное производство печатных плат на текущем этапе его развития позволяет существенно сэкономить производственные затраты и ускорить процесс изготовления печатных плат. Помимо этого, оно даёт возможность применения особых технологий, таких как монтаж с торца печатной платы, технологии встроенных компонентов и иных технологий не доступных в рамках традиционного производства.

Тесты к лекции 1.6

1. Какие виды маски можно наносить на заготовку с просверленными монтажными отверстиями при фотохимическом способе получения рисунка?
 - а) Сухой пленочный фоторезист;
 - б) Жидкий фоторезист;
 - в) Любой фоторезист.

2. При помощи чего в комбинированном позитивном методе осуществляется защита проводящего рисунка при травлении меди с пробельных мест?
 - а) Металлорезист;
 - б) Фоторезист;
 - в) Зависит от материала основания печатной платы.

3. Какое основание используют для реализации аддитивного метода получения рисунка ПП?
 - а) Нефольгированный диэлектрик;
 - б) Полимер;
 - в) Фольгированный диэлектрик.

4. Какие методы производства ПП позволяют получить 4 и 5 класс точности?
 - а) Комбинированный позитивный, электрохимический и фотоаддитивный методы;
 - б) Любой метод;
 - в) Все субтрактивные методы.

5. Что относится к преимуществам аддитивного производства?
 - а) Маленький штат сотрудников;
 - б) Высокая степень надежности;
 - в) Большой выбор поставщиков материала.