

Дисциплина «Конструирование электронных узлов
приборов/
Конструирование модулей ЭС»

Лекция № 10

к.т.н., доцент каф. №23

Ваганов М.А.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТНОГО УЗЛА И ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Печатный монтаж – система печатных проводников, обеспечивающая электрическое соединение элементов схемы или экранирование.

Печатный проводник – участок токопроводящего покрытия (слоя), нанесенного на изоляционное основание.

Печатная схема – система печатных проводников электро- и радиоэлементов, нанесенных на общее диэлектрическое основание.

Печатный элемент – сопротивление, емкость, индуктивность, разъем, концевой контакт и другие элементы, получаемые нанесением на изоляционное основание слоя металла или диэлектрика.

Печатная плата – изоляционное основание с нанесенными на его поверхность плоскими печатными проводниками, монтажом или печатной схемой.

Этапы проектирования печатного узла:

1. Формирование исходных данных на конструкторско-технологическое проектирование печатного узла и анализ ТЗ.
2. Выбор варианта конструктивного исполнения печатного узла.
3. Выбор компоновочной структуры узла, вариантов установки ЭРИ и ПМК.
4. Выбор типа конструкции ПП.
5. Выбор класса точности и метода изготовления ПП.
6. Выбор материала ПП.

Этапы проектирования печатного узла (продолжение):

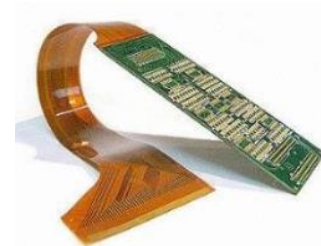
7. Разработка компоновочных эскизов ПУ и выбор габаритных размеров ПП.
8. Расчет элементов проводящего рисунка ПП.
9. Размещение ЭРИ.
- 10 Трассировка ПП.
11. Поверочные расчеты.
12. Окончательное оформление сборочного чертежа ПУ и чертежа ПП.

По ГОСТ 23751-86 предусмотрены следующие типы конструкции ПП:

- односторонние ПП;
- двухсторонние ПП;
- многослойные ПП;
- гибкие печатные платы (ГПП), гибких печатных кабелей (ГПК) и гибко-жесткие платы (ГЖП).

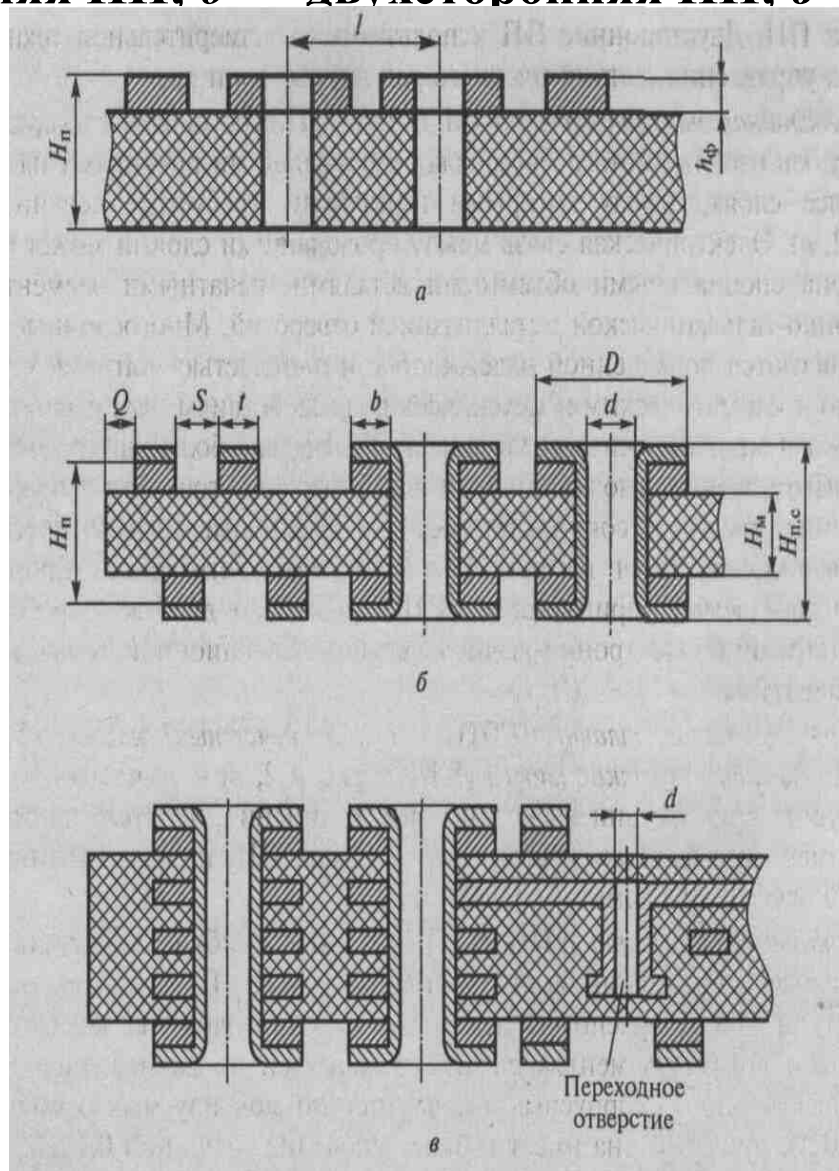


Классификация печатных плат



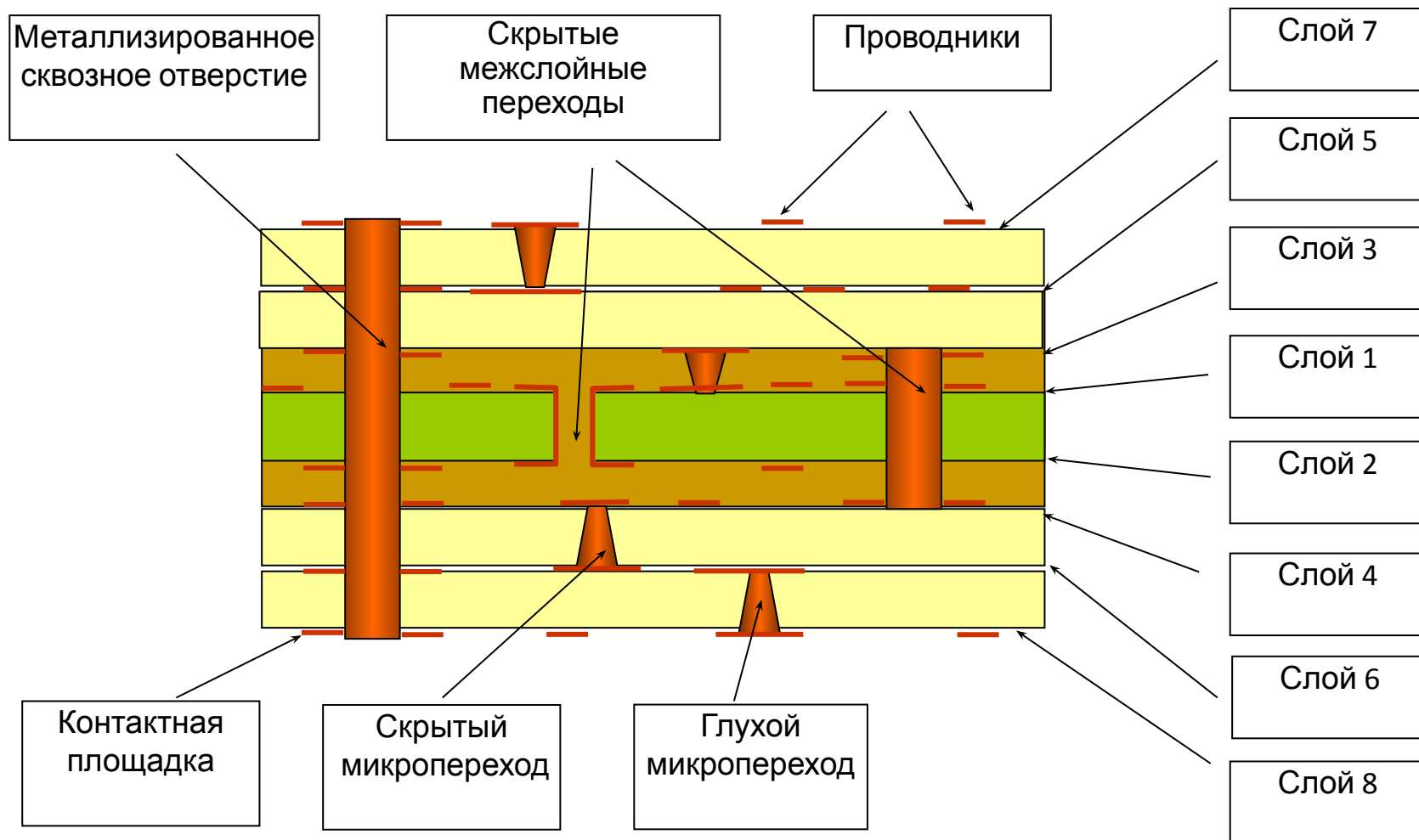


Конструкции печатных плат:
а — односторонняя ПП; *б* — двухсторонняя ПП; *в* — многослойная ПП





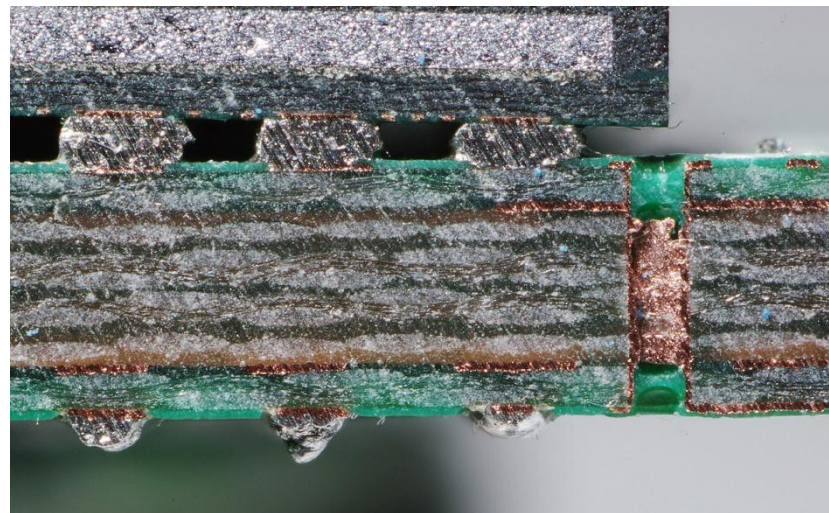
Многоуровневые соединения в МПП со скрытыми межслойными переходами и глухими отверстиями



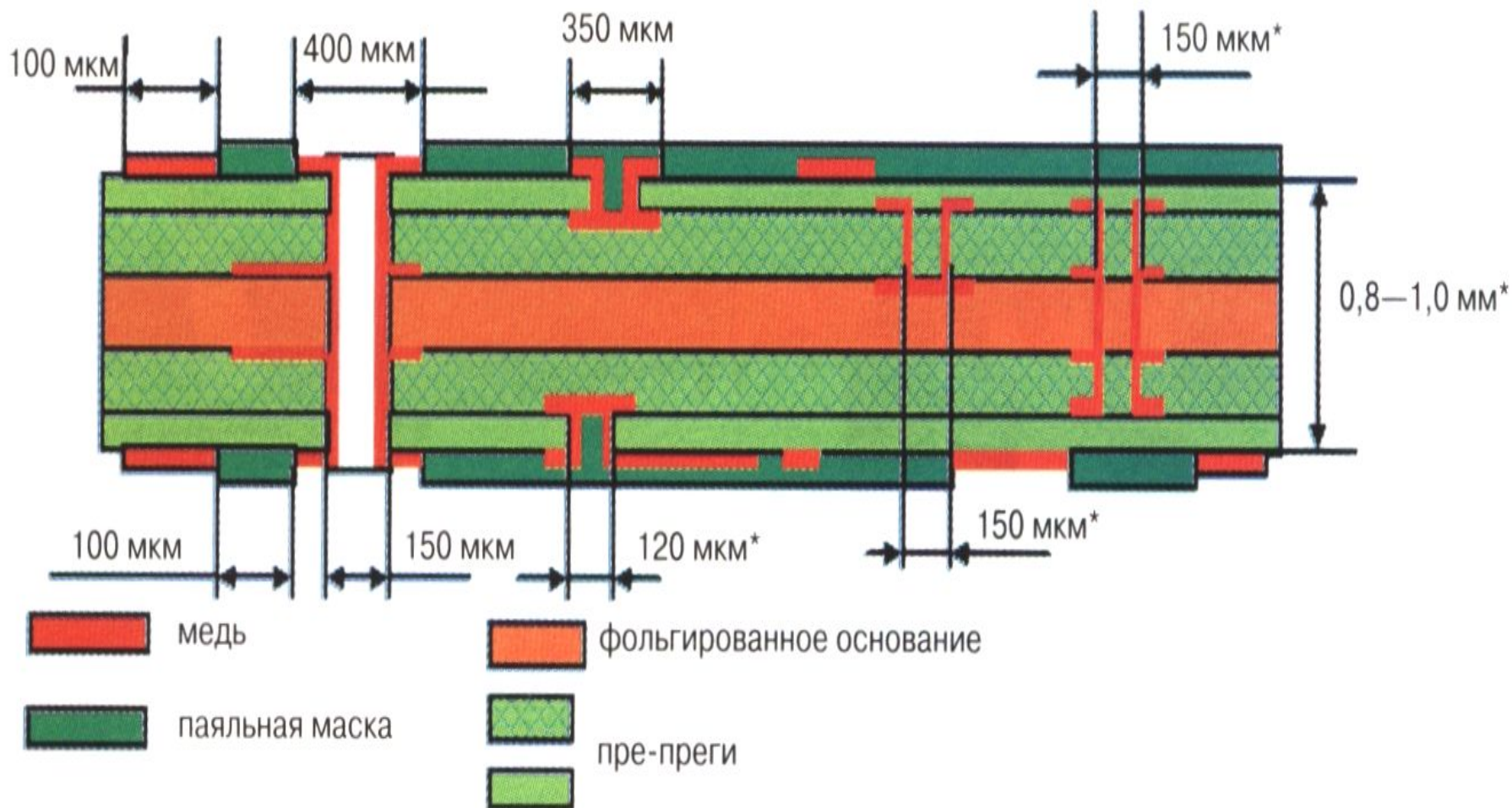
Назначение слоев в МПП

8-слойная печатная плата 3,25 +/- 0,03

МАТЕРИАЛ	ТОЛЩИНА
Медная фольга	0,017
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 7628(2)	0,36 +/- 0,03
Медная фольга	0,035
Стеклотекстолит FR-4	0,51 +/- 0,05
Медная фольга	0,035
Препрег 2113(2)	0,19 +/- 0,02
Медная фольга	0,017

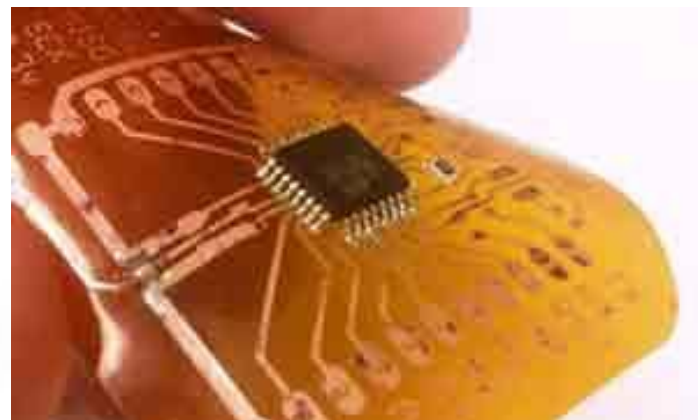
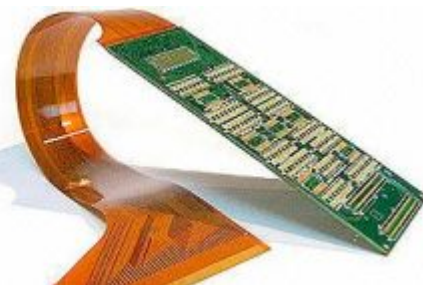
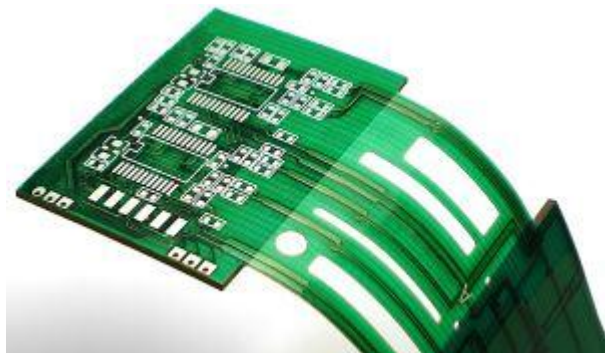


Типичные значения параметров МПП – монтажной подложки для BGA-компонентов





ГЩ, ГПК, ГЖП



Выбор класса точности ПП

ГОСТ 23751-86 устанавливает пять классов точности, каждый из которых характеризуется:

- минимальным допустимым значением номинальной ширины проводника (t),
- расстоянием между проводниками (S),
- расстоянием от края просверленного отверстия до края контактной площадки,
- ширины контактной площадки (b),
- отношением диаметра отверстия к толщине ПП (γ),
- допусками на ширину печатного проводника, контактной площадки, концевого печатного контакта (Δt)
- допуск на взаимное расположение соседних элементов проводящего рисунка (Tl)

Класс точности ПП

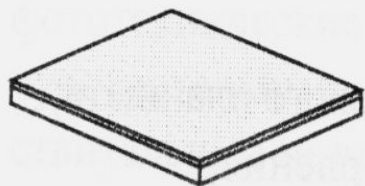
Условные обозначения элементов печатного монтажа	Класс точности ПП				
	1	2	3	4	5
t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
$\gamma = d/H$	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20
Δt , мм (без покрытия)	$\pm 0,15$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$	0; -0,03
Δt , мм (с покрытием)	+0,25; - 0,20	+0,15; - 0,10	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,03$
T_l , мм – ОПП, ДПП, МПП (наружный слой)	0,20	0,10	0,05	0,03	0,02
T_l , мм – МПП (внутренний слой)	0,30	0,15	0,10	0,08	0,05

Методы изготовления ПП

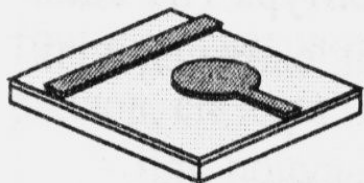
- субтрактивные (фотохимические либо химико-механические, например, офсетная печать);
- полуаддитивные (химико-гальванические);
- аддитивные (химические);
- с использованием приемов толсто пленочной либо тонкопленочной технологии;
- рельефные;
- комбинированные.

Методы изготовления проводящих слоев печатных плат

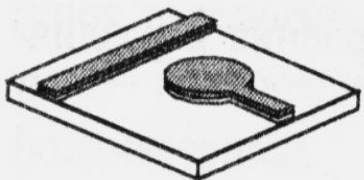
Субтрактивный



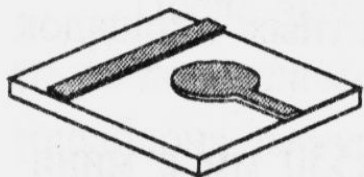
Получение заготовки из одностороннего фольгированного диэлектрика



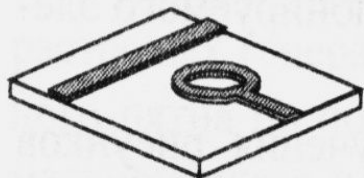
Нанесение защитного рельефа схемы (маски)



Травление меди с пробельных мест

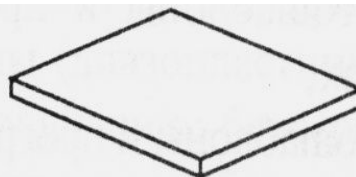


Удаление маски

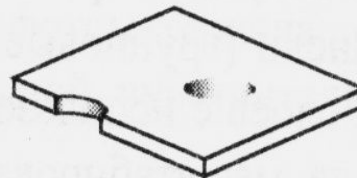


Пробивка отверстий

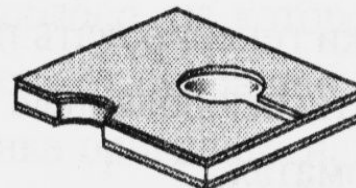
Аддитивный



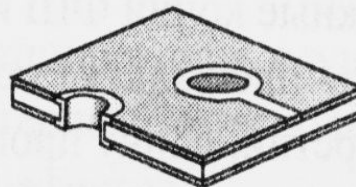
Получение заготовки из нефольгированного материала



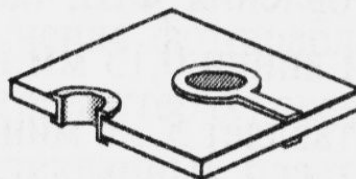
Сверление отверстий



Нанесение защитного рельефа схемы (маски)



Толстослойное химическое меднение



Удаление маски



Выбор материала основания ПП

- предполагаемое механическое воздействие (вибрации, удары, линейные ускорения);
- класс точности ПП (ширина проводников, расстояние между проводниками);
- реализуемые печатным узлом электрические функции;
- объект, на котором устанавливается ЭА;
- быстродействие (частотный спектр сигналов, передаваемых в пределах платы);
- климатические условия эксплуатации;
- стоимость;
- экологическая чистота и безопасность материала для человека и окружающей среды.

Базовые и расходные материалы ПП

- фольгированные или нефольгированные диэлектрики, керамические, металлические (с поверхностным диэлектрическим слоем) материалы, из которых изготавливают основание ПП;
- изоляционный прокладочный материал (склеивающие прокладки), используемый для склеивания слоев МПП. Склеивающие прокладки изготавливают из стеклоткани, пропитанной недополимеризованной терморезистивной эпоксидной или другими смолами; из полиимида с нанесенным с двух сторон адгезионным покрытием и др.;
- для защиты поверхности от внешних воздействий применяют полимерные защитные лаки и покрывные защитные пленки.

Фольгированные диэлектрики на основе стеклоткани состоят:

- из стеклоткани, изготовленной из нитей, например, алюмоборосиликатного стекла;
- из смолы, используемой для пропитывания стеклоткани (определяет характеристики материала);
- из фольги, используемой в качестве металлического покрытия фольгированных материалов (медной, алюминиевой, резистивной, в частности, нихромовой и др.)

Стандартная толщина фольги на материалах, выпускаемых отечественной промышленностью, – 5, 20, 35 и 50 мкм.

Ряд толщин фольги на материалах зарубежного производства составляет 5; 17,5; 35; 50; 70 и 105 мкм.

Чистота меди не менее 99,5 %, а шероховатость открытой поверхности не ниже 0,4 мкм.

Нефольгированные диэлектрики:

- с адгезионным (клеевым) слоем, например, эпоксикаучуковой композиции толщиной 50...100 МКМ;
- с введенным в объем диэлектрика катализатором, способствующим осаждению химической меди.

Керамические материалы характеризуются:

- стабильностью электрических и геометрических параметров;
- стабильной высокой механической прочностью в широком диапазоне температур;
- высокой теплопроводностью;
- низким влагопоглощением и пр.



Металлическое основание изготавливают из алюминия, титана, стали или меди.

Их применяют в теплонагруженных ПП для улучшения отвода теплоты, а также для повышения жесткости ПП, выполненных на тонком основании.

Характеристиками прокладочных склеивающих материалов (толщин 0,025; 0,06 и 0,1 мм):

- марка стеклоткани и смолы;
- общее содержание смолы, которое определяет прочность склеивания, способность заполнять пространство между печатными проводниками в слое МПП, толщину изоляционного слоя между слоями МПП;
- текучесть смолы, которая определяет режим прессования слоев (температуру и давление) и пригодность прокладочного материала для склеивания слоев МПП;

К технологическим (расходным) материалам для изготовления ПП относятся:

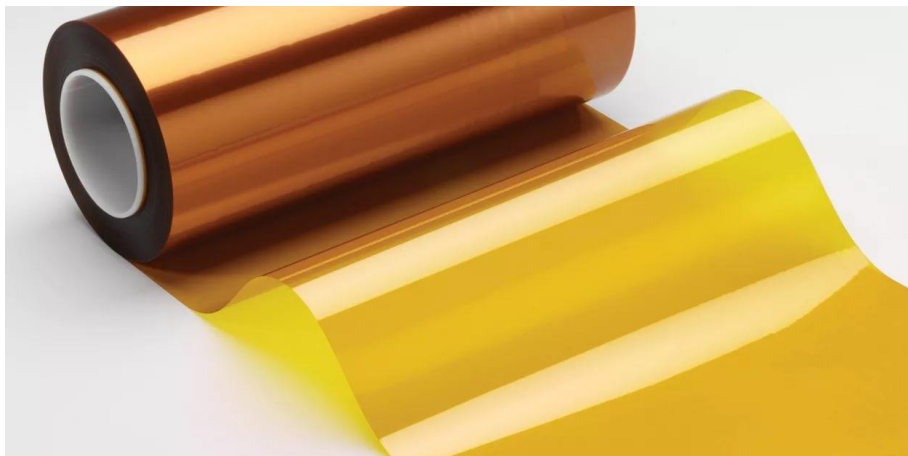
- фоторезисты,
- специальные трафаретные краски,
- защитные маски,
- электролиты меднения, травления и пр.

Материалы для изготовления ОПШ, ДПШ и МПШ

□ гетинакс;

□ стеклотекстолит;

□ полиимид.



Гетинакс фольгированный состоит из спрессованных слоев электроизоляционной бумаги (армирующего наполнителя), пропитанных фенольной или эпоксифенольной смолой в качестве связующего вещества, облицованных с одной или двух сторон медной фольгой (например, запись ГФ-1 или ГФ-2 обозначает гетинакс фольгированный односторонний или двухсторонний).



Стеклотекстолит фольгированный

представляет собой спрессованные слои стеклоткани, пропитанные эпоксифенольной или эпоксидной смолой (например, запись СФ-1 или СФ-2 обозначает стеклотекстолит фольгированный односторонний или двухсторонний, соответственно).



В наименовании марки материала буквы означают: С — стеклотекстолит; Т — теплостойкий; Н — негорючий или нормированной горючести; Ф — фольгированный; 1, 2 — облицованный фольгой с одной или двух сторон; цифры 5, 9, 12, 18, 35, 50, 70, 100, 105 — толщину фольги в мкм.

По сравнению с гетинаксами стеклотекстолиты имеют лучшие механические и электрические характеристики, более высокую нагревостойкость, меньшее влагопоглощение.

Недостатки:

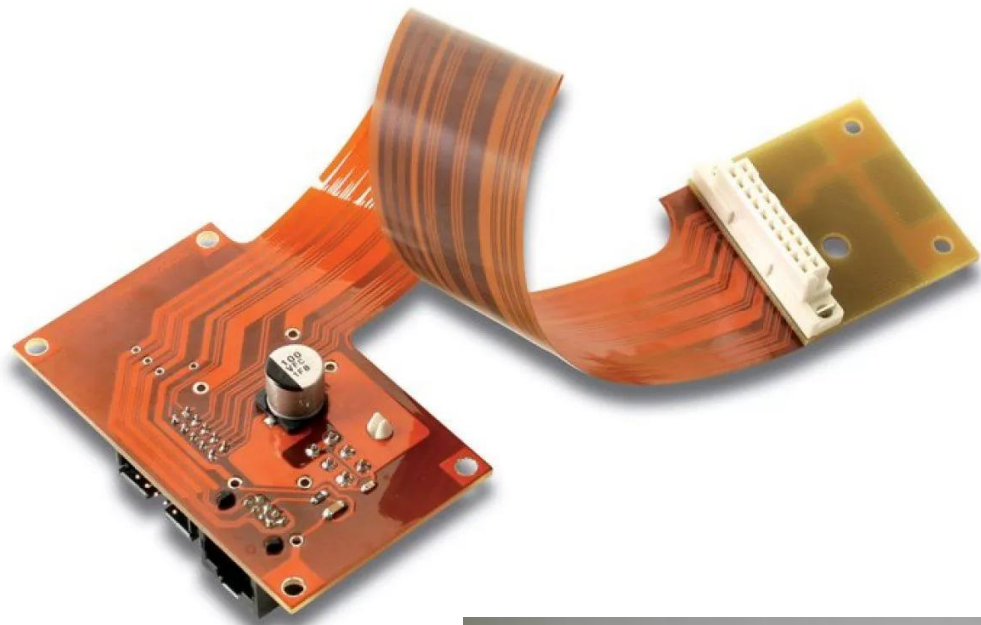
- невысокая нагревостойкость по сравнению с полиимидами,
- худшая механическая обрабатываемость;
- более высокая стоимость;
- существенное различие (примерно в 10 раз) ТКЛР меди и стеклотекстолита в направлении толщины материала;
- различие в ТКЛР эпоксидной смолы и стекла примерно в 20 раз.



Материалы для изготовления печатных плат

Вид материала	Марка материала	Толщина		Область применения
		фольги, мкм	материала с фольгой, мм	
Фольгированный гетинакс	ГФ-1-35 ГФ-2-35	35	1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОПП, ДПП
Фольгированный стеклотекстолит	СФ-1(2)-35	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОПП
	СФ-1(2)-50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ДПП
	СФ-1Н(2Н)-50	50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	
Нефольгированный стеклотекстолит	СТЭК	–	1,0; 1,5	ДПП, изготовленные электрохимическим методом
Слофадит		5	1,0; 1,5	
Теплостойкий фольгированный стеклотекстолит	СТФ-1 (2)	35	0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35; 0,50; 0,80; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50; 3,00	ДПП, МПП ГПП
Травящийся фольгированный стеклотекстолит	ФТС-1-20А(20А0)	20	0,08; 0,15	МПП, ГПП
	ФТС-2-20А(20А0)	20	0,18; 0,27; 0,50	
	ФТС-1-35А(35А0)	35	0,10; 0,12; 0,19	
	ФТС-2-35А(35А0)	35	0,14; 0,23; 0,50	
Тонкий фольгированный диэлектрик	ДФМ-2	35	0,25; 0,35	ГПП
Гибкий фольгированный диэлектрик	ФДЛ	35	0,06; 0,07; 0,10	ГПК
	ФДЛ	50	0,08; 0,09; 0,12	
	ФДФ-3МС-1	20	0,12	
Прокладочная стеклоткань	СТП-3	–	0,025; 0,060; 0,1	МПП

Гибкая печатная плата (ГПП), гибкий печатный кабель (ГПК) и гибко-жесткая плата (ГЖП)



Материалы для изготовления ГЩ, ГПК и ГЖП

- фольгированный лавсан;
- полиимид (фольгированный и нефольгированный);
- фторопласт;
- полиэтилен;
- полисульфон.

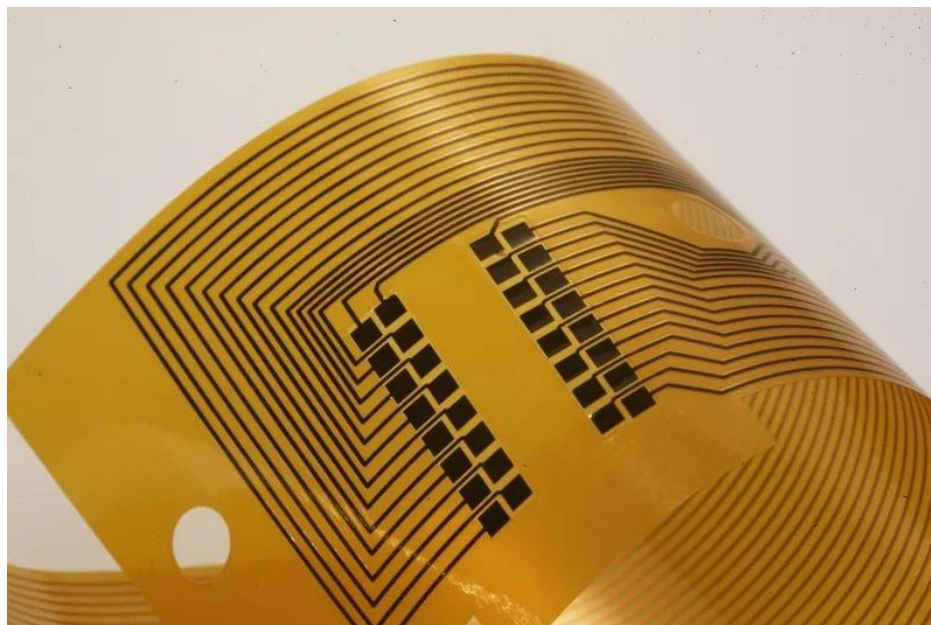
Для электронной аппаратуры общего назначения применяют диэлектрики на основе *полиэфирной (лавсановой) пленки*, которые обладают следующими достоинствами:

- хорошие электроизоляционные характеристики;
- высокая устойчивость к перегибам;
- высокая прочность при растяжении и устойчивость к разрыву;
- низкое водопоглощение;
- хорошая адгезия пленки к фольге;
- устойчивость к агрессивным технологическим средам;
- низкая стоимость;
- рабочий диапазон температур -60 до $+105$ °С;
- хорошая формуемость, поскольку они являются низкотемпературными термопластами.

В электрорадиоаппаратуре ответственного назначения для изготовления ГПК используют **фольгированный лавсан** марки ЭФЛ, который обладает следующими достоинствами:

- выдерживает длительное пребывание в растворах электрохимического никелирования и золочения;
- не подвержен подтравливанию адгезива и отслаиванию печатных проводников.

Фольгированный и нефольгированный полиимид применяется в ЭА ответственного назначения, работающей при высоких температурах, для изготовления ГПП, ГПК, ГЖП, а также МПП, лентоносителей интегральных схем (ИС) и больших гибридных интегральных схем (БГИС) с числом выводов до 1000.



Достоинствами полиимидов является:

- высокое удельное объемное и поверхностное сопротивление;
- низкое значение диэлектрической проницаемости;
- высокая теплостойкость;
- высокая механическая прочность при малой толщине и эластичность;
- линейная стабильность размеров;
- широкий диапазон рабочих температур (4...673 К);
- стабильность электрических и физико-химических свойств при изменении температуры в широком диапазоне;
- высокая прочность на разрыв;
- негорючесть до 773 К;

- химическая устойчивость по отношению к органическим растворителям и кислотам;
- высокая электрическая прочность ($28 \cdot 10^9$ В/мм);
- химическая стойкость;
- температурная устойчивость (не теряет гибкость при температуре жидкого азота $(-196 \text{ }^\circ\text{C})$);
- высокая радиационная устойчивость;
- высокое временное сопротивление на разрыв ($1,75 \cdot 10^8$ Па);
- способность к равномерному травлению в сильных щелочных среда
- минимальные газовыделения в вакууме при высоких температурах.

К их недостаткам можно отнести:

- повышенное влагопоглощение (около 3 %), которое может привести к деструкции пленки при пайке;
- высокая стоимость;
- низкая адгезия к полиимидной пленке металлов, клеев и мастик;
- относительно низкая стабильность линейных размеров;
- ограниченное использование в СВЧ технике из-за нестабильных диэлектрических параметров.