

# **4 Особенности конструирования и технологии РЭС различного структурного уровня**

## **4.1 Основы конструирования и технологии изготовления радиоэлектронных модулей 1-го структурного уровня**

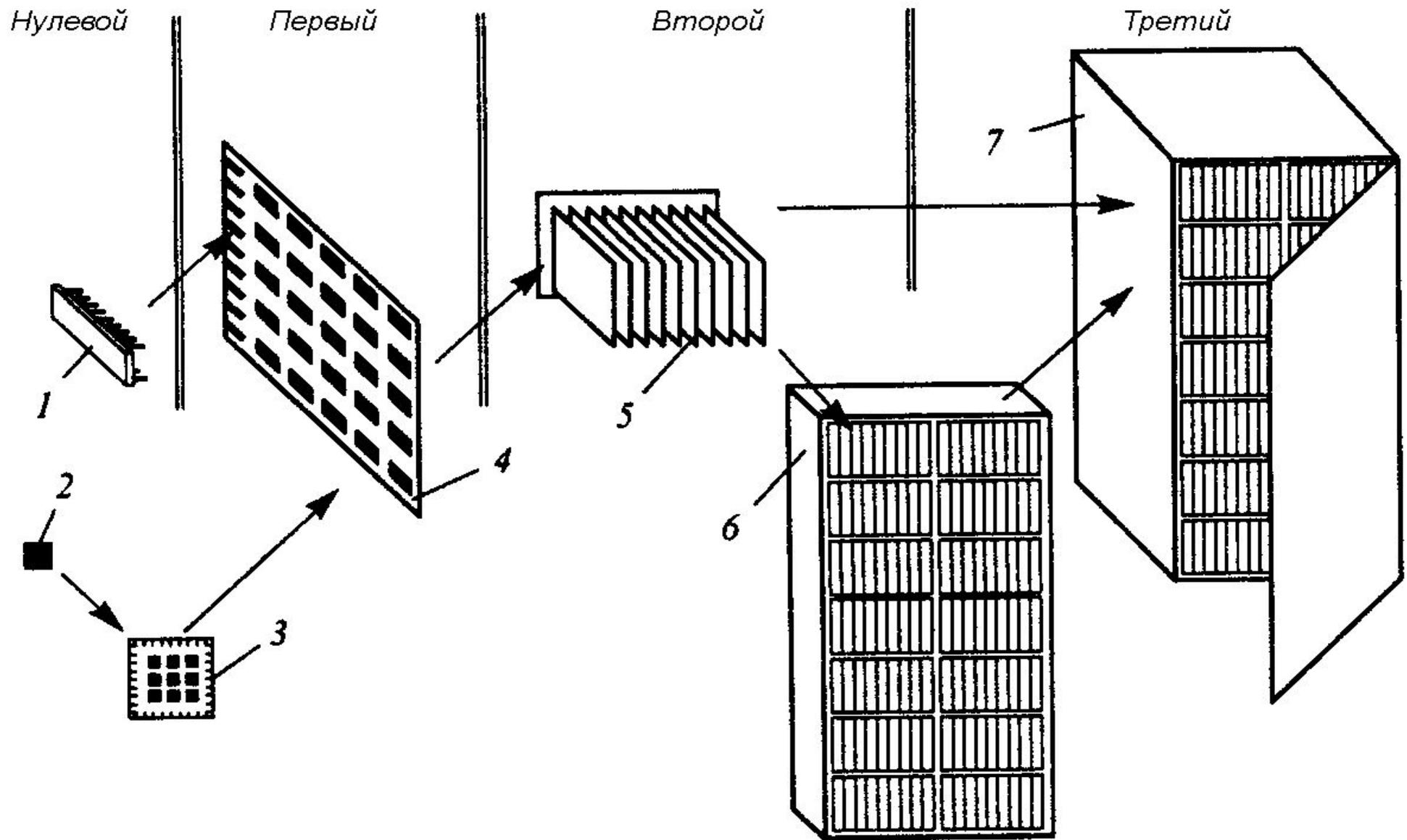
## **4.2 Конструкции РЭС 2-го структурного уровня**

## **4.3 Конструкции РЭС 3-го структурного уровня**

# Вопрос

- Что представляют собой РЭС 1 – 3 структурных уровней?

# Структурные уровни РЭС



1 – микросхема; 2 – бескорпусная микросхема; 3 – микросборка;  
4 – функциональный узел, ячейка; 5 – блок; 6 – рама; 7 – стойка

# **4.1 Основы конструирования и технологии радиоэлектронных модулей**

## **1-го структурного уровня**

**4.1.1 Конструкции и технология изготовления коммутационных оснований**

**4.1.2 Проектирование печатных плат**

**4.1.3 Технология поверхностного монтажа**

**4.1.4 Сопоставительный анализ вариантов конструкции радиоэлектронных узлов**

# Рекомендуемая литература

## (к п. 4.1.1)

1. Леухин В.Н. Основы конструирования и технологии производства РЭС: Учебное пособие. - Йошкар-Ола: МарГТУ, 2006. - 344 с.
2. Леухин В.Н. Радиоэлектронные узлы с монтажом на поверхность: конструирование и технология: Учебное пособие. – Йошкар- Ола: МарГТУ, 2006. – 248 с.
3. Разработка технологического процесса изготовления радиоэлектронного узла с монтажом на поверхность: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Основы конструирования и технологии производства РЭС» /Сост. В.Н.Леухин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004.- 56 с.
4. Медведев А.М. Печатные платы. Конструкции и материалы. – М.: Техносфера, 2005.- 304 с.
5. Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат: Учебник . – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. – 560 с.
6. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов .- М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана . – 2002. – 540 с. К.И.Билибин, А.И.Власов, Л.В. Журавлева и др. Под общ. ред. В.А.Шахнова
7. Баканов Г.Ф., Соколов С.С., Суходольский В.Ю. Основы конструирования и технологии радиоэлектронных средств: Учебное пособие. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 368 с.
8. Грачев А.А., Мельник А.А., Панов Л.И. Конструирование электронной аппаратуры на основе поверхностного монтажа компонентов. М.: НТ Пресс, 2006. – 384 с.
9. Рекомендации по конструированию печатных узлов. – М.: ЗАО Предприятие ОСТЕК, 2008. – 276 с.
10. Журнал «Печатный монтаж»
11. Печатные платы: справочник /Под ред. К.Ф. Кумбза. В 2-х книгах. – М.: Техносфера, 2011. – 2032 с.

# Классификация печатных плат

Печатные платы

Односторонние

На слоистом  
прессованном  
основании

Двусторонние

На  
диэлектрическом  
основании

На  
рельефном  
литом  
основании

На металлическом  
основании

С  
межслойными  
соединениями  
объемными  
детальями

Многослойные

С межслойными  
соединениями  
химико-  
гальванической  
металлизацией

Гибкие

Гибкие  
платы

Керами-  
ческие

Гибкие  
кабели,  
шлейфы

Проводные

С печатным  
рисунком

Без  
печатного  
рисунка

# Из истории технологий печатных плат

Прототип всех современных печатных плат впервые разработал немецкий инженер Альберт Паркер Хансон (Albert Parker Hanson) в 1902 году (дата подачи заявки в патентное ведомство Германии). Метод Хансона предполагал формирование рисунка на медной или бронзовой фольге путем вырезания или штамповки. Далее сформированные элементы проводящего слоя приклеивались к диэлектрику – пропарафиненной бумаге или чему-либо подобному.

Известно, что аналогичные идеи независимо высказывал и Томас Эдисон. Великий изобретатель изложил несколько возможных подходов.

Первый из них – формировать рисунок посредством адгезивного полимерного материала и, пока он не застыл, посыпать его графитовым или бронзовым мелкодисперсным порошком.

Второй подход – нанесение рисунка на диэлектрик нитратом серебра (хорошо известным и широко распространенным ляписом) с последующим восстановлением серебра из соли.

Третий метод Эдисона предполагал использовать для формирования проводящего рисунка золотую фольгу. Хотя Эдисон напрямую и не упоминал о печатном процессе, изложенные им идеи широко используются в современных технологиях. Так, первая из них – это основа современных полимерных тонкопленочных технологий, вторая фактически описывает принцип современных методов нанесения покрытий путем химического восстановления.

Легко заметить, что все первые методы производства печатных плат были аддитивными.

# Из истории технологий печатных плат

**Субтрактивные технологии** изготовления печатных плат первым запатентовал Артур Берри (Arthur Berry) в 1913 году. Он предлагал покрывать металлическую поверхность резистным слоем, формирующим рисунок, а затем вытравливать незащищенные фрагменты поверхности.

**Технология фотолитографического изготовления печатных форм** впервые детально описана в патенте жившего в США венгра Эллиса Бассиста (Ellis Bassist) в 1922 году.

В 1926 году французский разработчик Цезарь Паролини (Cesar Parolini) развил аддитивный метод формирования проводящего слоя, предложенный Эдисоном и Дукасом, – формирование рисунка клеящим материалом на поверхности диэлектрика и, пока он не полимеризовался, нанесение на него медной пудры. Излишние частицы меди стряхивались, полимеризация проводилась при нагревании. Паролини также предложил использовать столь обычный позднее элемент печатных плат, как проволочные перемычки. Они должны были устанавливаться до затвердевания полимера.

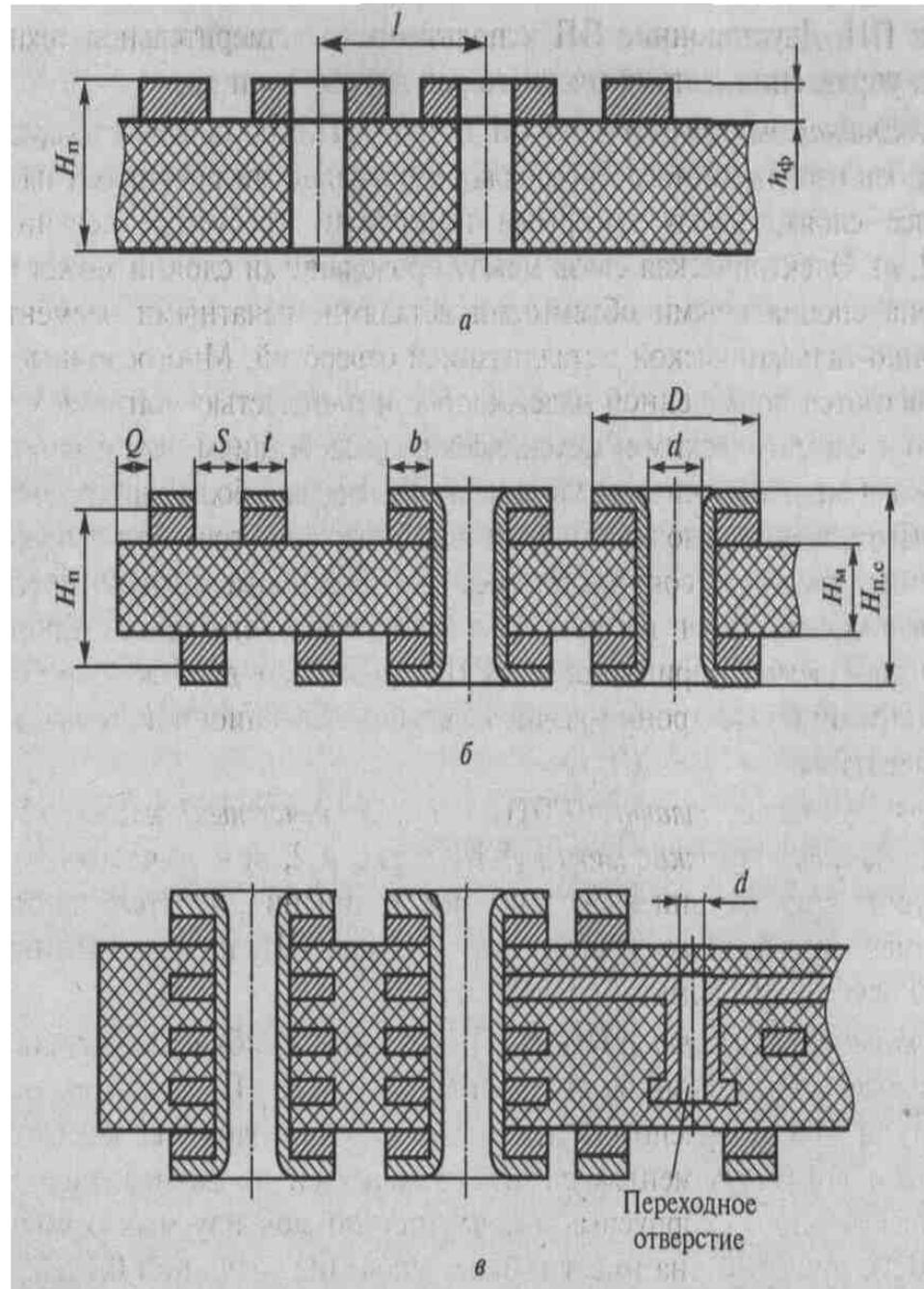
**Однако подлинным "отцом печатных плат" считается Пауль Эйслер (Paul Eisler) – австрийский инженер, эмигрировавший в 30-х годах в Великобританию. Он занимался проблемой минимизации радиоаппаратуры и пришел к выводу, что полиграфические технологии применимы и для производства печатных плат.**

В 1948 году он основал фирму Technograph Printed Circuits – предприятие по производству печатных плат – и начал процесс патентования своей технологии в Великобритании и США (первые его патентные заявки были поданы в 1943–1944 годах). Всего было получено около 50 британских и североамериканских патентов.

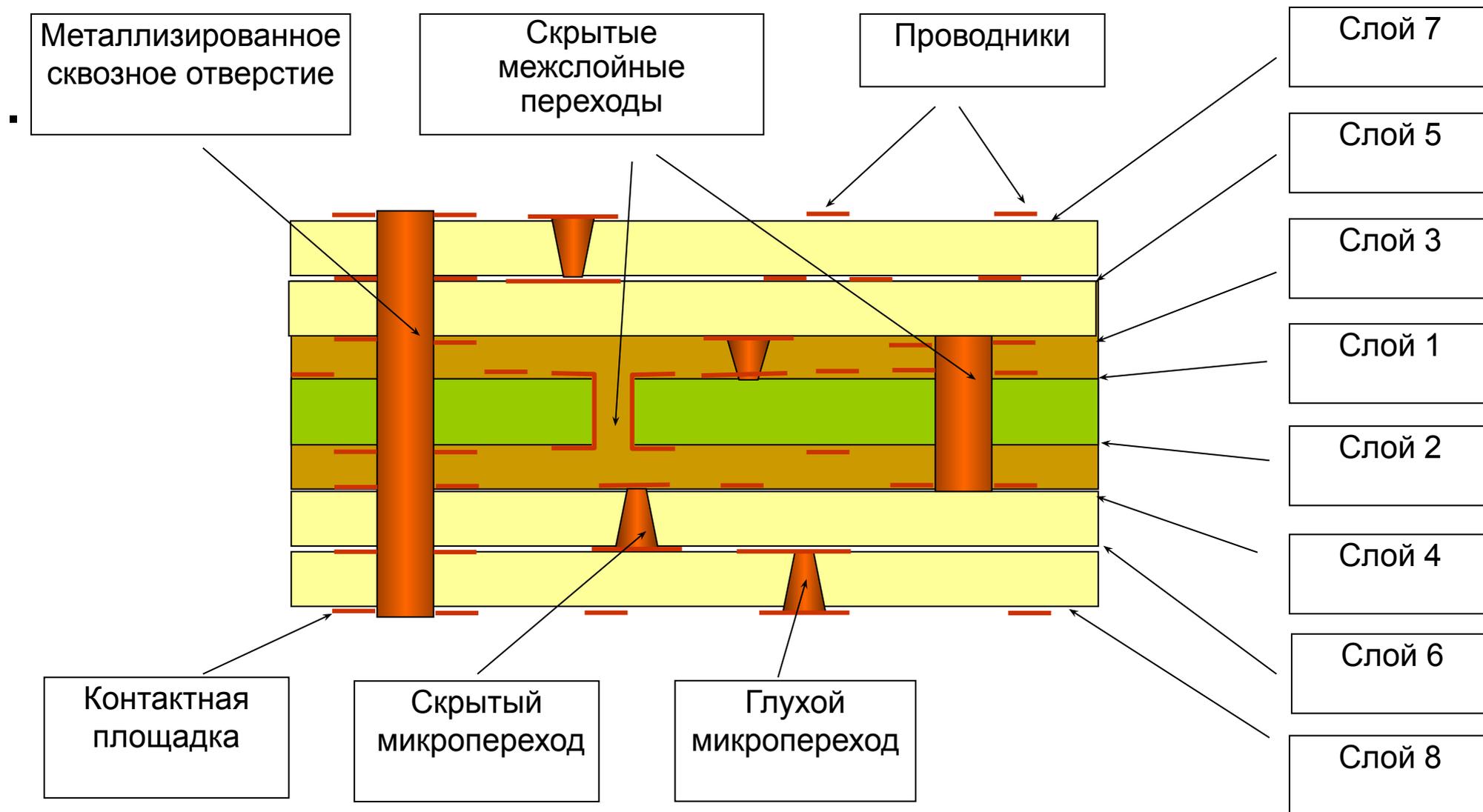
**В 1948 году в США были утверждены нормы, в соответствии с которыми все авиационное электрооборудование должно быть выполнено на печатных платах. С середины 50-х началось становление печатных плат как основы всех бытовых электрических приборов. Новая отрасль окончательно встала на ноги и с тех пор успешно развивается.**

# Конструкции печатных плат:

**а** — односторонняя ПП; **б** — двухсторонняя ПП; **в** — многослойная ПП



# Многоуровневые соединения в МПП со скрытыми межслойными переходами и глухими отверстиями

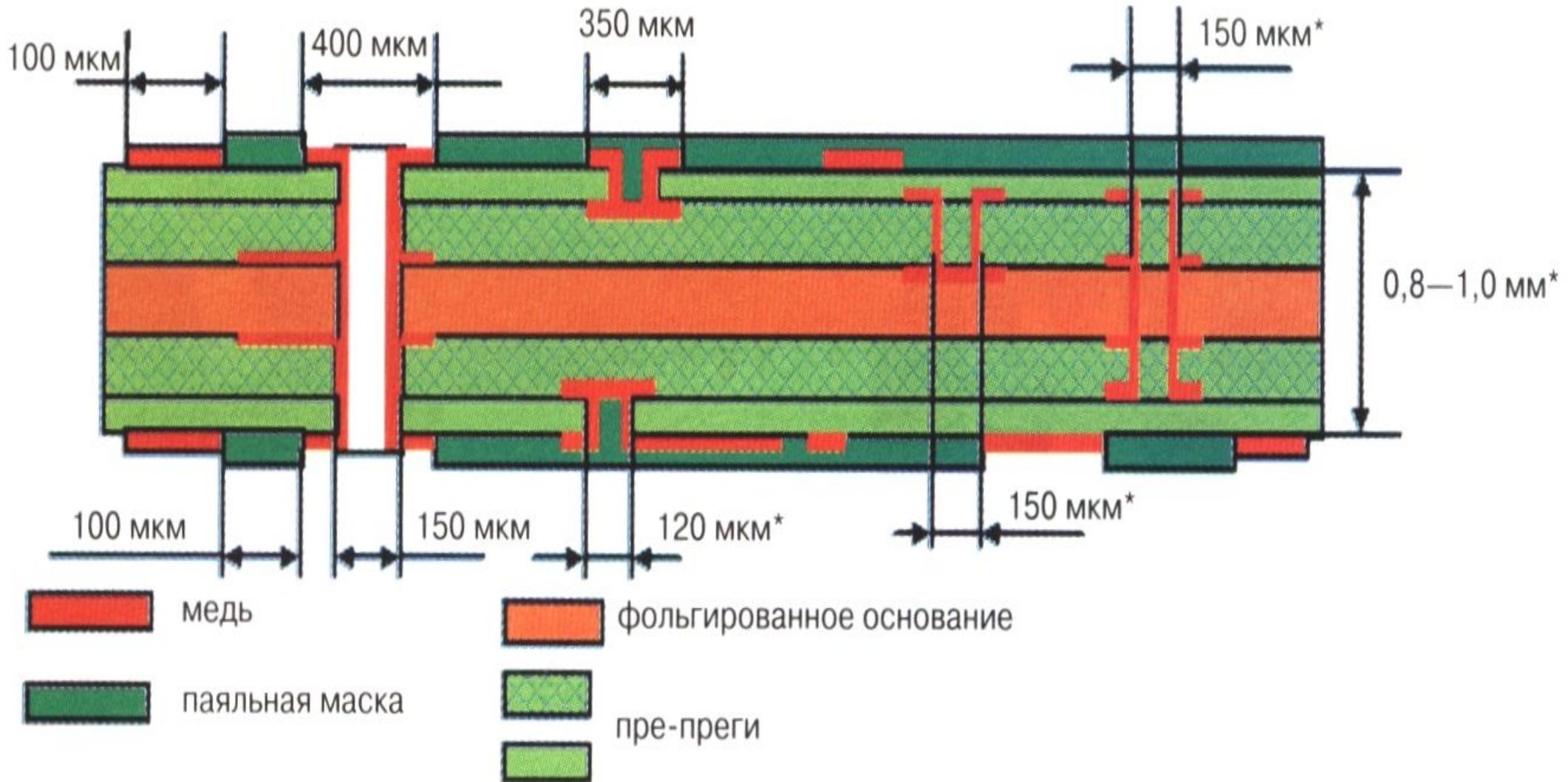


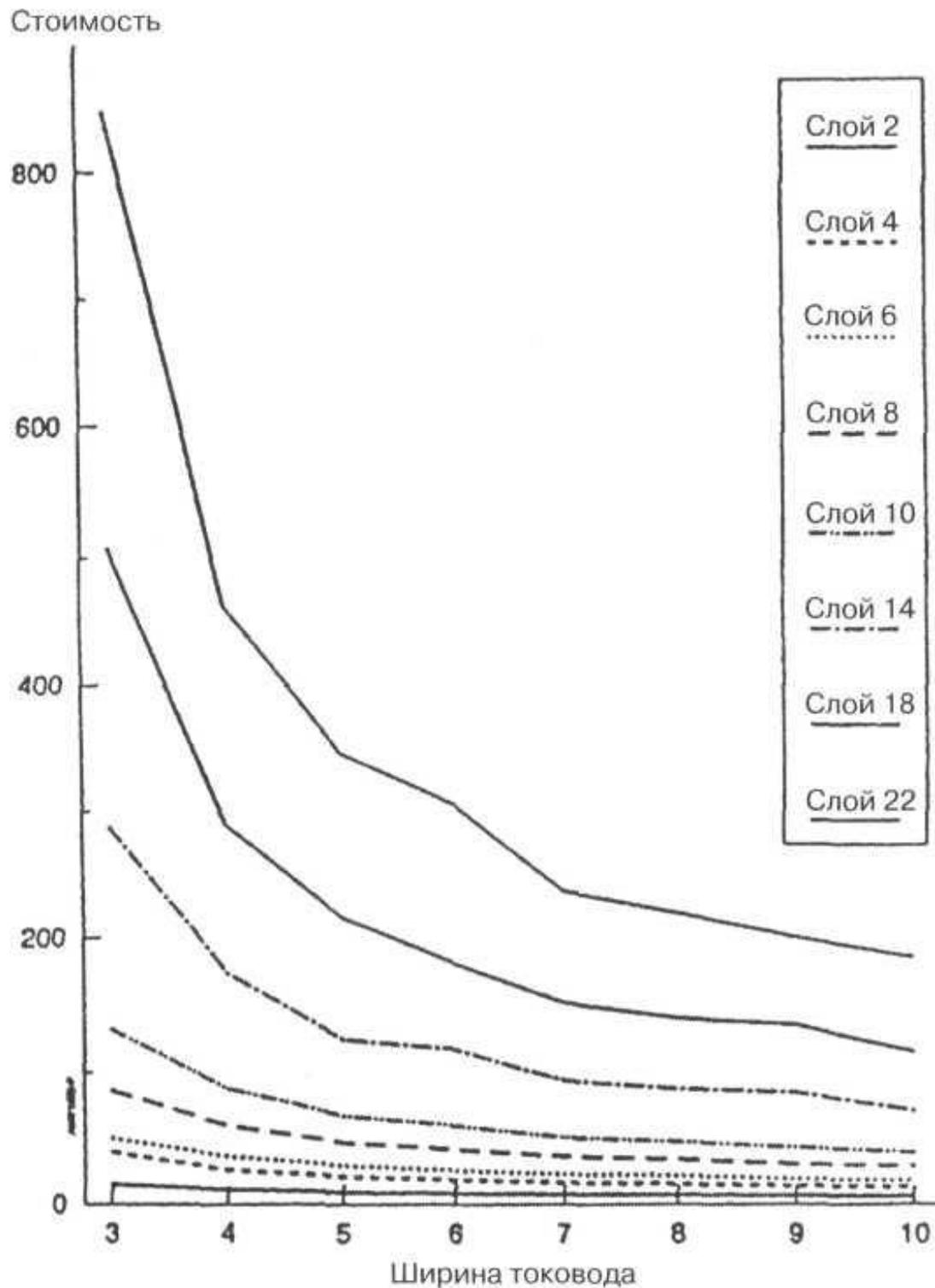
# Назначение слоев в МПП

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





## Зависимость стоимости МПП от числа слоев и ширины проводников

Ширина токовода выражена в тысячных долях дюйма

# Печатные платы на металлическом основании

Печатная плата на металлической основе представляет собой комбинацию из базового металлического слоя, слоя медных проводников и находящегося между ними теплопроводного диэлектрического эпоксидного (адгезивного) слоя.

## Области применения

- Печатные платы на металлической основе (ППМО) применяются для изделий, в которых необходимо рассеивать большую тепловую мощность. Самым популярным направлением являются платы с мощными SMD светодиодами. ППМО не только эффективно отводят тепло, но и делают электронные устройства механически прочными, а также могут являться элементом корпуса.
- Другие часто используемые применения - силовая электроника (источники питания, инверторы, DC/DC-преобразователи, усилители мощности, драйвера двигателей и т. д.), СВЧ-электроника, спецаппаратура.

## Преимущества:

- Важным преимуществом ППМО по сравнению со стандартными печатными платами на основе диэлектрика FR4 (фольгированного стеклотекстолита) является возможность отказаться от радиаторов. Это позволяет уменьшить массу и габариты устройств, упростить их конструкцию, сделать их надежнее и дешевле.
- Механическая прочность ППМО во много раз выше, чем у стеклотекстолита
- Возможность уменьшить размеры элементов топологии силовых цепей без использования медной фольги повышенной толщины. Она появляется благодаря эффективному отводу тепла от проводников в ППМО.
- При изготовлении ППМО из стали обеспечивается эффективное магнитное экранирование.

# Конструкции металлических печатных плат со сверхяркими светодиодами



Известно, что КПД мощных светодиодов на порядок выше, чем у ламп накаливания, однако большая часть энергии, потребляемой светодиодами (около 75%), все-таки уходит в рассеиваемое тепло. С ростом светового потока от светодиодных источников растет тепловыделение.

Поэтому обеспечение эффективного теплоотвода в светодиодной (LED) светотехнике - одна из наиболее актуальных задач, стоящих сегодня перед разработчиками и производителями данной продукции.

Один из возможных путей решения проблемы – использование металлических печатных плат и теплопроводящих паст и компаундов.

Рис.1 Сверхяркие светодиоды на платах с металлическим основанием

# Конструкции металлических печатных плат со сверхяркими светодиодами

В отличие от традиционных ламп накаливания и газоразрядных ламп современные светодиоды чувствительны к высоким температурам:

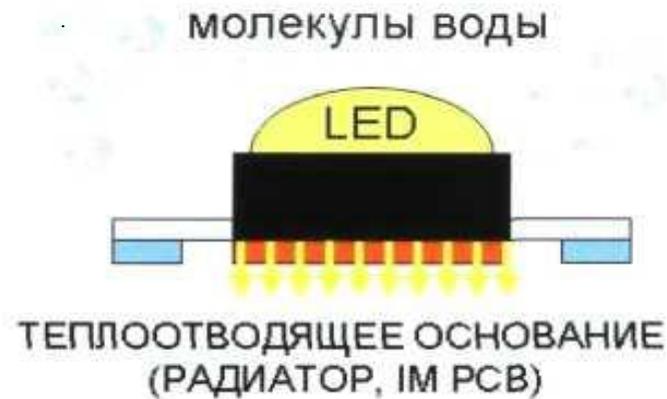
во-первых, при перегреве светодиода уменьшается его эффективность, падает световой поток, изменяется цветовая температура, а срок службы может сокращаться в разы;

во-вторых, при температуре  $80^{\circ}\text{C}$  интенсивность свечения падает примерно на 15% в сравнении с интенсивностью при комнатной температуре, а при температуре перехода в  $150^{\circ}\text{C}$ , интенсивность света светодиодов может упасть на 40%!

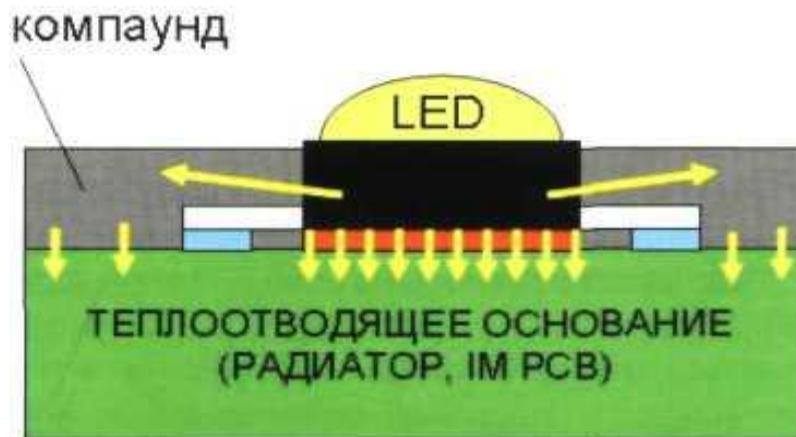
в-третьих, у светодиодов присутствует отрицательный температурный коэффициент прямого напряжения, т.е. при повышении температуры происходит уменьшение прямого напряжения светодиодов.

Обычно этот коэффициент составляет от  $-3$  до  $-6$  мВ/К, поэтому прямое напряжение типичного светодиода может составлять 3,3 В при  $+25^{\circ}\text{C}$  и не более 3 В при  $+75^{\circ}\text{C}$ . Если источник питания не позволяет снижать ток на светодиодах, то это может привести к ещё большему перегреву и выходу светодиодов из строя.

Кроме того, многие источники питания для светодиодных светильников рассчитаны на температуру эксплуатации до  $+70^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, для эффективной работы многих светодиодных устройств важно обеспечить температуру не более  $80^{\circ}\text{C}$  как в области p-n-перехода светодиодов, так и в области источника питания



Традиционное решение со стеклом



Заливка силиконовым теплопроводящим компаундом

# Печатные платы на металлическом основании

## Типичные конструкции

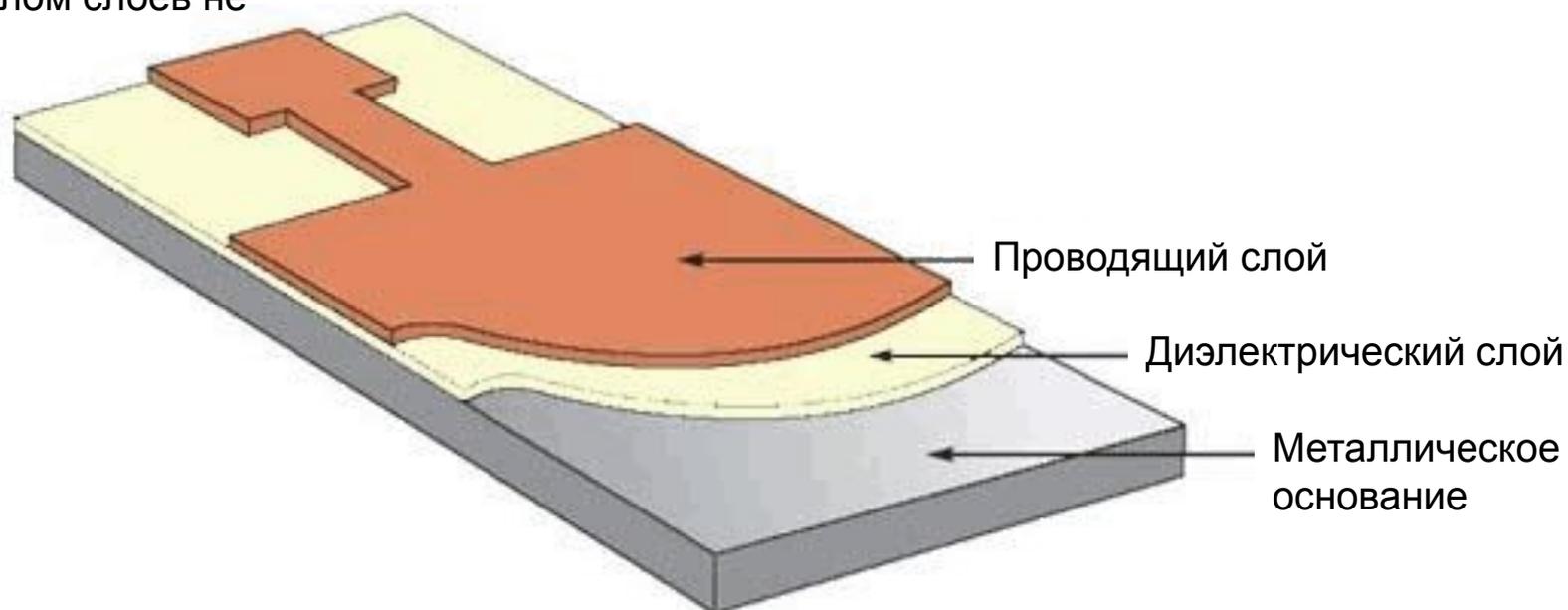
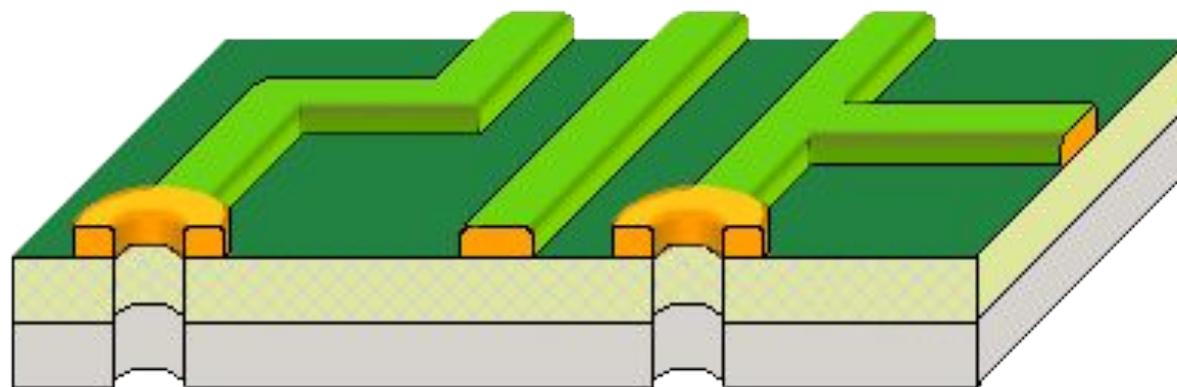
Платы могут быть односторонними и многослойными.

### Односторонние:

состоят из металлической пластины, слоя диэлектрика и медной фольги. Односторонние платы рассчитаны на установку компонентов в SMD-корпусах.

### Многослойные (от 2-х и выше):

Конструктивно представляют собой «сэндвич» из металлической пластины, теплопроводящего препрега и обычной печатной платы. В настоящее время возможности позволяют делать ПП на металлической основе с числом слоев не более 4-х.



# Тепловые характеристики различных материалов ПП

Площадь, необходимая для рассеивания 1 Вт тепла при максимальной температуре ПП 115° С и температуре воздуха 25° С

Материал	Требуемая площадь, см <sup>2</sup>
Стеклотекстолит	26
Керамическая плата	13
Алюминиевая плата	6

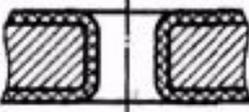
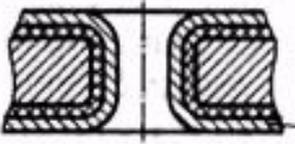
# Печатные платы на металлическом основании

## Материалы

При изготовлении теплонагруженных ПП для отвода теплоты в качестве основания применяют металлические листы из алюминия, меди, стали или титана толщиной 0,1...3,0 мм, покрытые изоляционным слоем. При этом наиболее ответственным моментом является процесс нанесения изоляционного слоя с требуемыми параметрами изоляции. Чаще всего применяют эпоксидное покрытие толщиной 40...150 мкм, которое наносят в виде нескольких слоев эпоксидной пасты или порошка с оплавлением каждого слоя при температуре  $(180 + 5)^\circ\text{C}$ .

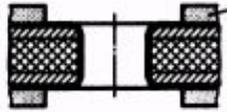
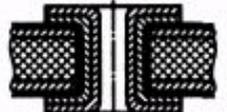
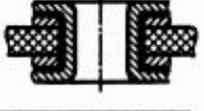
Металл/сплав	Удельная теплопроводность (Вт/м-К)	Коэффициент теплового расширения (ppm/К)
Медь	400	17
Алюминий	150	25
Нержавеющая сталь (304)	16	16.3
Холоднокатаная сталь	50	12.5
Железо	80	11.8
Медь – инвар- медь (СІС)	20	5.2
Медь-молибден-медь (СМС)	200	6.5
Алюминий-карбид кремния (20%) ALSIC	175	15

# Основные этапы ТП изготовления ДПП на металлическом основании

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа изготовления ДПП
1	Входной контроль металла		
2	Получение заготовки	Резка	 Металл
3	Рихтовка		
4	Получение фиксирующих отверстий	Сверление	
5	Получение монтажных отверстий	Сверление	
6	Нанесение изоляционного покрытия с заполнением отверстий	1. Электростатический метод нанесения эпоксидной композиции. 2. Нанесение лака методом электрофореза	
7	Повторная обработка монтажных отверстий	Сверление и шлифование	
8	Подготовка поверхности	1. Физические методы. 2. Химические методы	
9	Предварительная металлизация заготовок	1. Химическое меднение 3...5 мкм. 2. Химико-гальваническое меднение 5...10 мкм	 Медь
10	Подготовка поверхности	1. Суспензия пемзового абразива. 2. Подтравливание покрытия	

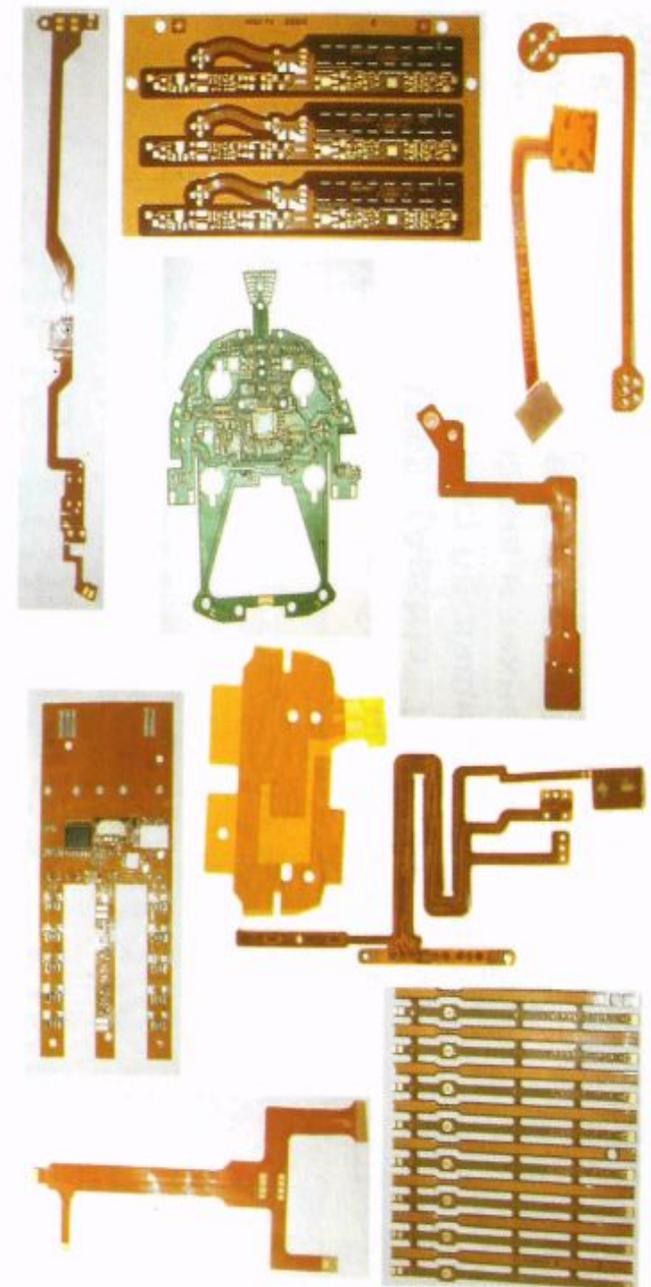
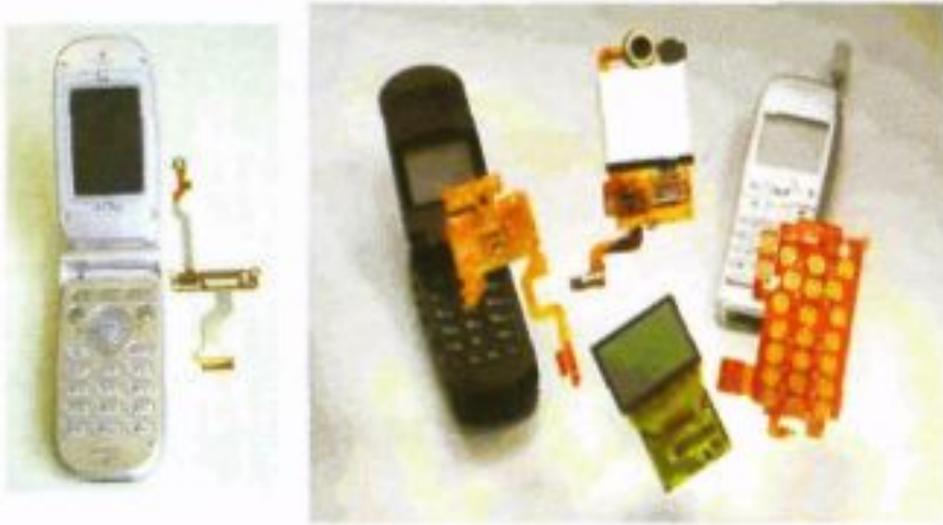
Далее — по табл. 4.7, п. 7.

# Основные этапы ТП изготовления ДПП на металлическом основании

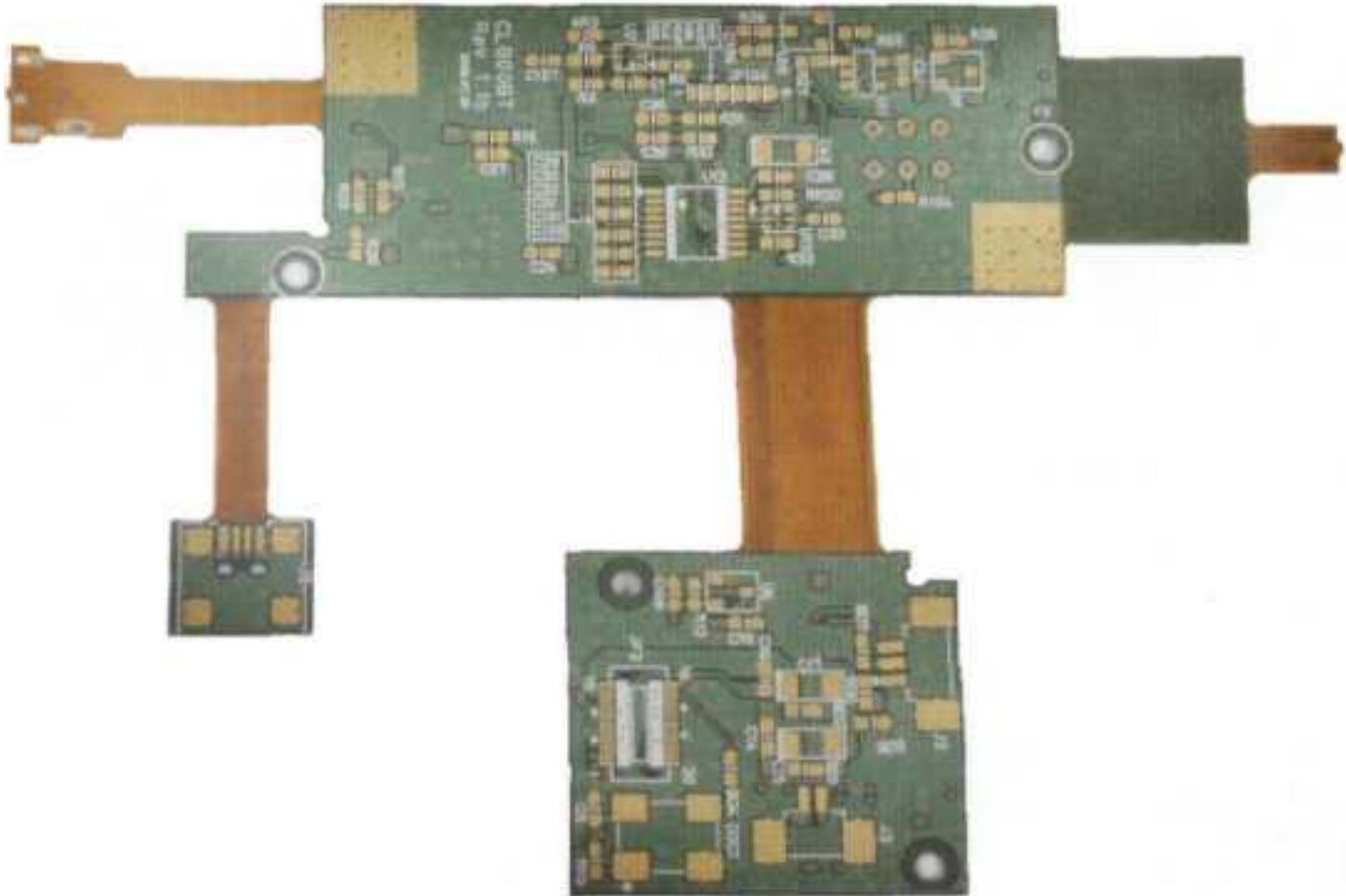
7	Получение защитного рельефа	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сеткография.</li> <li>2. Фотохимический с органичнопроявляемым СПФ.</li> <li>3. Фотохимический с щелочнопроявляемым СПФ.</li> <li>4. С сухим пленочным фоторезистом лазерного экспонирования (для прецизионных ПП)</li> </ol>	 <p>Защитный рельеф</p>
8	Электрохимическая металлизация	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Гальваническое меднение и нанесение металлогезиста (олово—свинец или олово).</li> <li>2. Гальваническое меднение и нанесение полимерного травильного резиста</li> </ol>	 <p>Гальваническая медь Металлогезист или полимерный травильный резист</p>
9	Удаление защитного рельефа	—	
10	Травление меди с пробельных мест с удалением травильного резиста	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Травление с удалением металлогезиста.</li> <li>2. Травление с удалением полимерного резиста</li> </ol>	

№ п/п	Основной этап ТП	Возможный способ получения	Эскиз этапа изготовления ДПП
11	Нанесение паяльной маски	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Фотохимический (СПФ-защита).</li> <li>2. Сеткография</li> </ol>	 <p>Паяльная маска</p>
12	Нанесение покрытия на участки проводящего рисунка, свободные от маски	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Горячее лужение (сплав Розе).</li> <li>2. Химический никель—иммерсионное золото.</li> <li>3. Органическое защитное покрытие</li> </ol>	 <p>Сплав Розе</p>
13	Отмывка флюса		
14	Получение крепежных отверстий и обработка по контуру	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Лазерная обработка.</li> <li>2. Сверление отверстий и фрезерование по контуру</li> </ol>	См. табл. 4.2, п. 16
15	Промывка	Ультразвуковая	
16	Контроль электрических параметров		

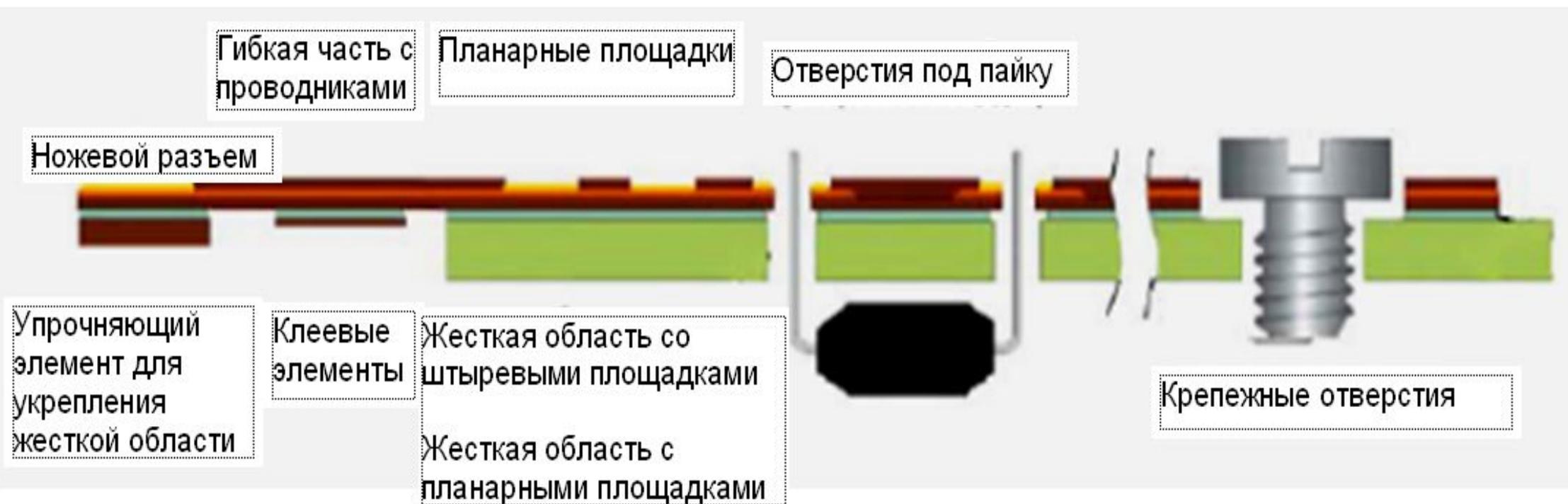
# Гибкие печатные платы



# Пример конструкции гибко-жесткой печатной платы из нескольких частей



# Элементы конструкций гибкой платы



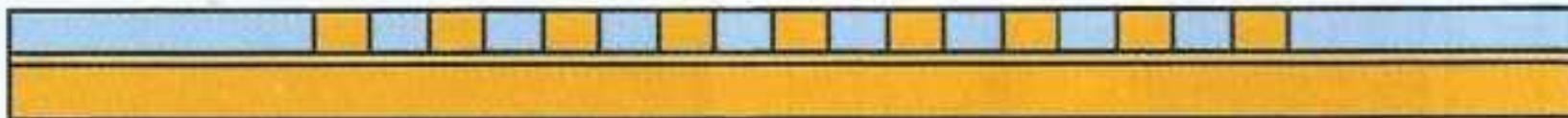
# Полуаддитивный метод создания проводящего рисунка на гибкой печатной плате



Пленка с ультратонкой металлизацией



Рельефный рисунок из фоторезиста



Наращивание рисунка гальванической медью



Удаление фоторезиста



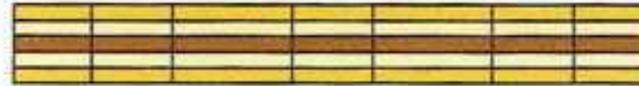
Дифференциальное травление рисунка

# Последовательность изготовления гибких печатных плат с металлизацией отверстий

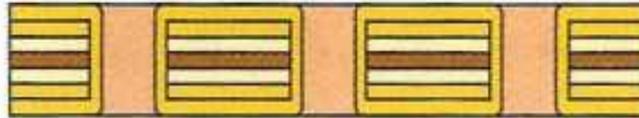
1. Двусторонняя фольгированная полиимидная пленка



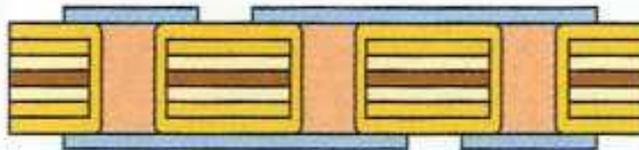
2. Сверление или высечка отверстий



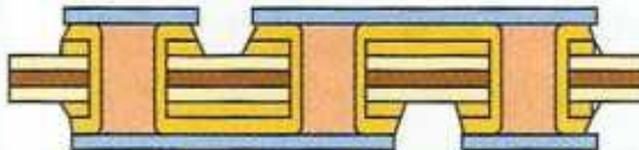
3. Металлизация отверстий



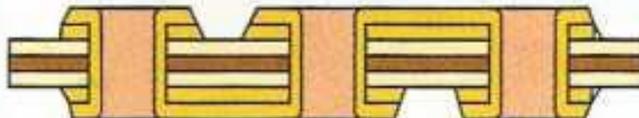
4. Рельеф рисунка фоторезиста



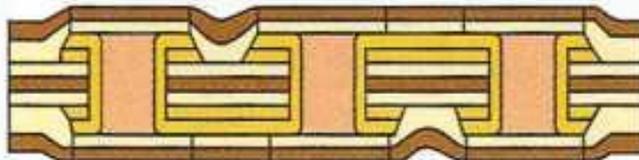
5. Травление открытой меди



6. Удаление фоторезиста



7. Нанесение покровной пленки



Пленка основания 

Адгезив 

Медь фольги 

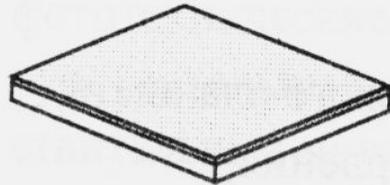
Гальваническая медь 

Пленочный фоторезист 

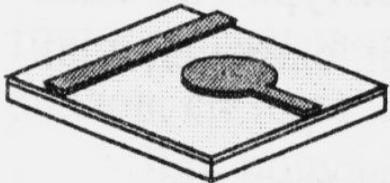
# Технология изготовления печатных плат

## Методы изготовления проводящих слоев печатных плат

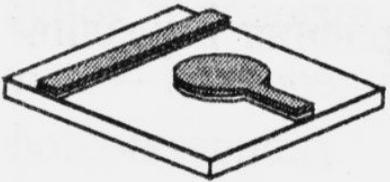
### Субтрактивный



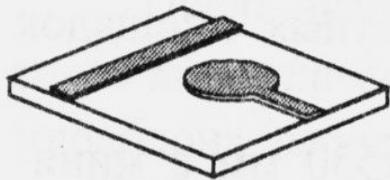
Получение заготовки из одностороннего фольгированного диэлектрика



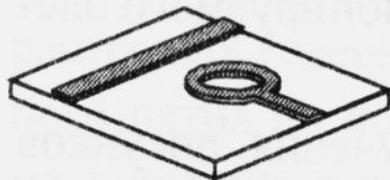
Нанесение защитного рельефа схемы (маски)



Травление меди с пробельных мест

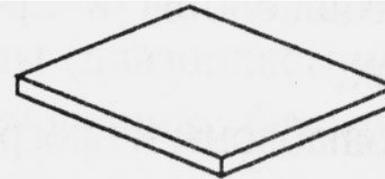


Удаление маски

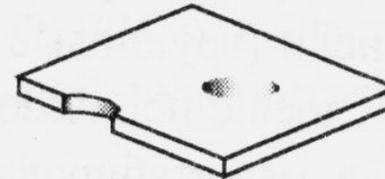


Пробивка отверстий

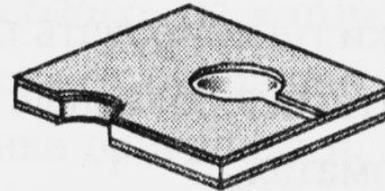
### Аддитивный



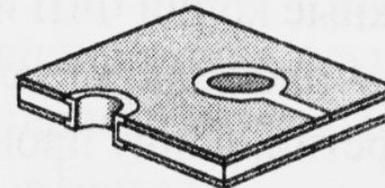
Получение заготовки из нефольгированного материала



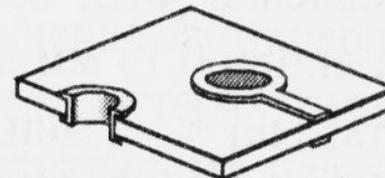
Сверление отверстий



Нанесение защитного рельефа схемы (маски)



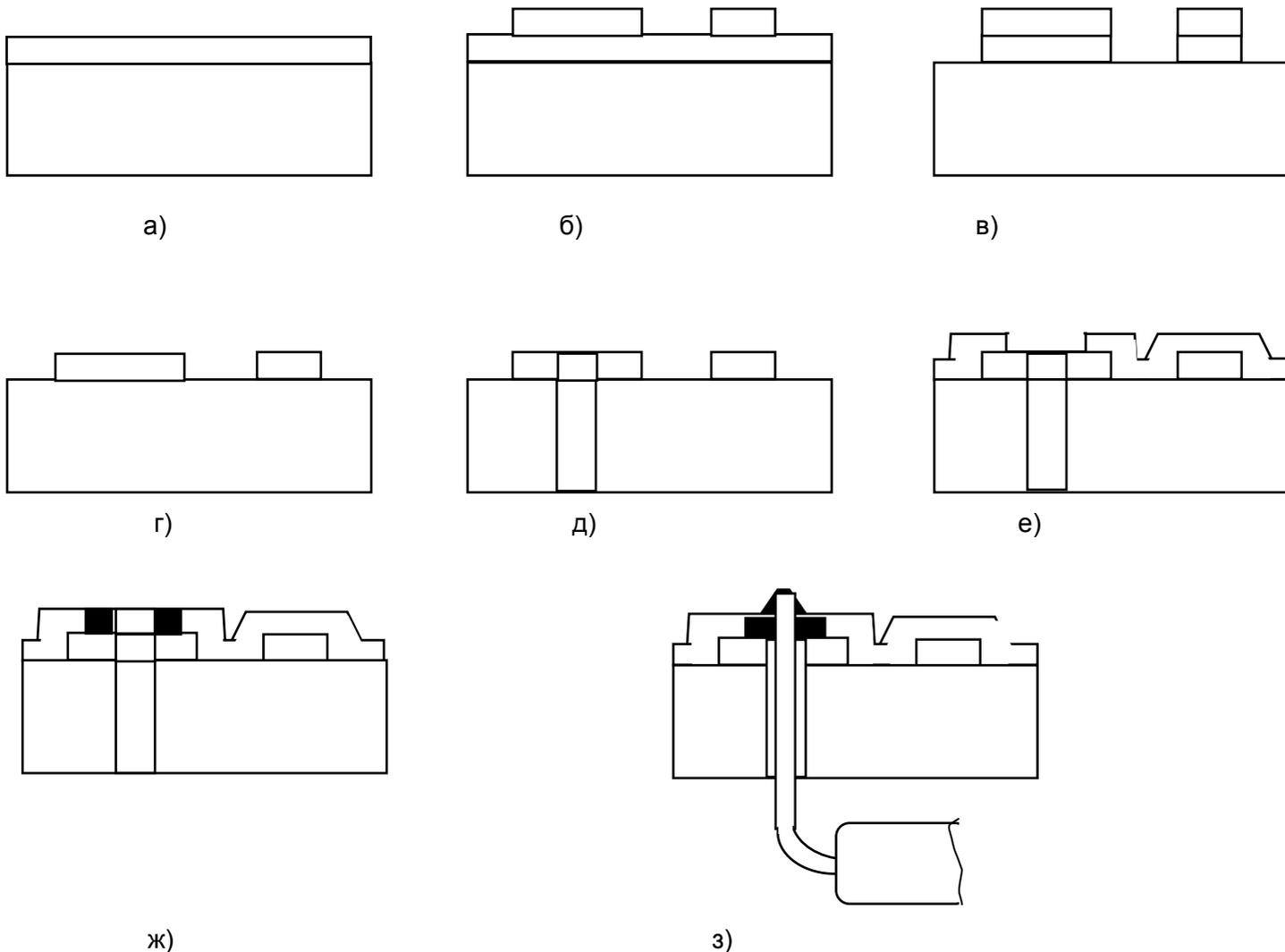
Толстослойное химическое меднение



Удаление маски

# Технология изготовления печатных плат

## Последовательность основных операций изготовления печатных плат химическим негативным методом

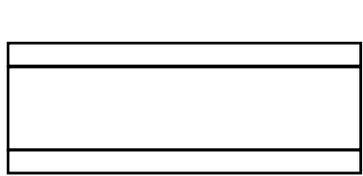


а – заготовка из фольгированного диэлектрика;  
б – нанесение фоторезистивного печатного рисунка;  
в – травление фольги;  
г – удаление фоторезиста;  
д – сверление отверстий;  
е – нанесение лаковой (эпоксидной) маски;  
ж – облуживание контактных площадок;  
з – распайка элементов.

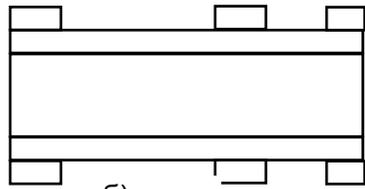
# Классификация методов изготовления ДПП на жестком нефольгированном основании



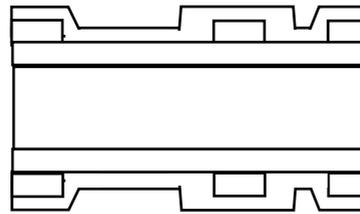
# Последовательность основных операций изготовления печатных плат комбинированным позитивным методом



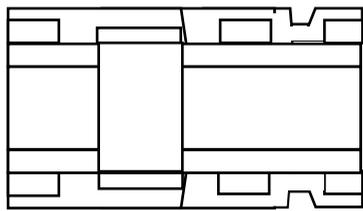
а)



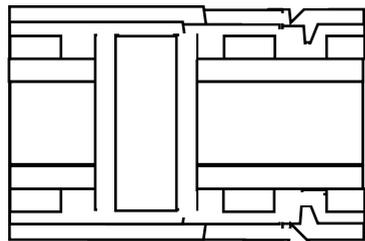
б)



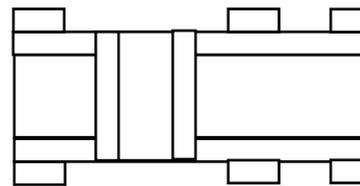
в)



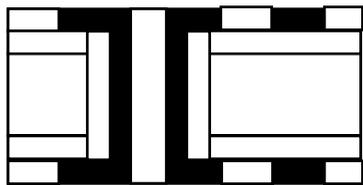
г)



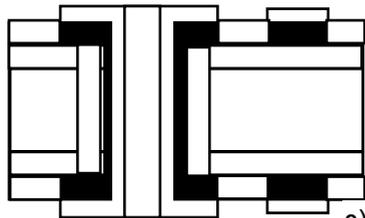
д)



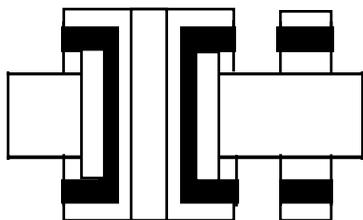
е)



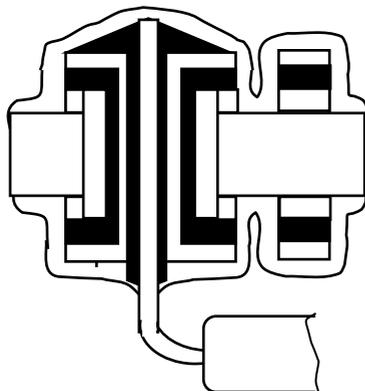
ж)



з)



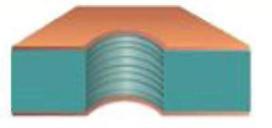
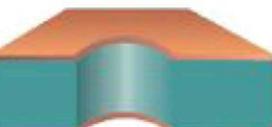
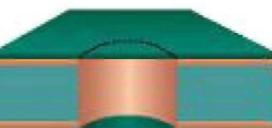
и)

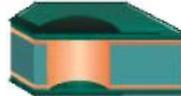
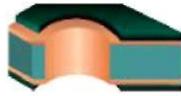
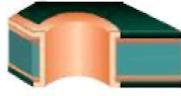
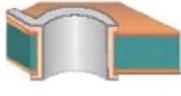
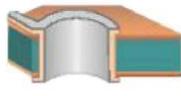


к)

а – заготовка из фольгированного диэлектрика;  
б – получение фоторезистивного защитного рисунка;  
в – нанесение лаковой рубашки;  
г – сверление отверстий;  
д – химическое меднение;  
е – удаление лаковой рубашки;  
ж – гальваническое меднение;  
з – нанесение защитного покрытия;  
и – удаление фоторезиста;  
к – травление печатного рисунка;  
л – пайка выводов ЭРЭ и лакировка платы

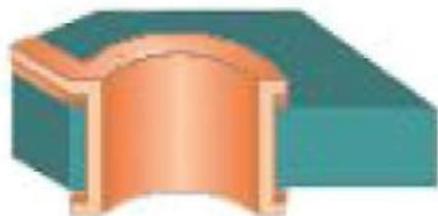
# Основные технологические операции изготовления ПП

<b>ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ</b>	
	Это заготовка двусторонней печатной платы, вырезанной из стекла фольгированного диэлектрика. Диэлектрическое основание стеклоэпоксидная композиция: стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой. Медная фольга может иметь толщину от 5ти до 100мкм.
<b>СВЕРЛЕНИЕ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ</b>	
	В плате высверливаются отверстия на специализированных станках с чпу.
<b>ОЧИСТКА ОТВЕРСТИЙ ОТ НАНОСА СМОЛЫ (DESMEAR) (для дпп этап необязательный, нежелательный)</b>	
	Отверстия платы очищаются от наноса смолы на медные торцы слоев. Варианты способов очистки: травление в серной кислоте, в растворе перманганата, плазмохимическая очистка, гидрообразивная обработка.
<b>ХИМИЧЕСКОЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКОГО СЛОЯ МЕДИ (альтернатива - прямая металлизация)</b>	
	Этот этап нужен для придания проводимости стенкам отверстий, необходимой для последующей гальванической металлизации. Рыхлый слой химически осажденной меди быстро разрушается, поэтому его усиливают тонким слоем гальванической меди. Для химической металлизации появилась альтернатива прямая металлизация, при которой стенки отверстий покрываются очень тонким слоем палладия. Тогда химическая и предварительная гальваническая металлизация не требуются.
<b>НАНЕСЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА</b>	
	Нанесение фоточувствительного материала (фоторезиста) на заготовку. Как правило, это пленочный фоторезист, наслаиваемый на заготовку специальным валковым устройством ламинатором. Поверхность заготовки очищается для обеспечения адгезии фоторезиста. Этот этап проходит в чистой комнате с неактивным (желтым) освещением, фоторезист светочувствителен к ультрафиолетовому спектру.

<b>СОВМЕЩЕНИЕ ФОТОШАБЛОНА ПОЗИТИВА</b>	
	С заготовкой совмещается фотошаблон. Круг, часть которого изображена, контактная площадка. Изображение на фотошаблоне позитивное по отношению к будущей схеме.
<b>ЭКСПОНИРОВАНИЕ ФОТОРЕЗИСТА</b>	
	Участки поверхности, прозрачные на фотошаблоне, засвечиваются. Засвеченные участки фотополимеризуются и теряют способность к растворению, фотошаблон снимается.
<b>ПРОЯВЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА</b>	
	Изображение на фоторезисте проявляется: незасвеченные участки растворяются, засвеченные фотополимеризуются и остаются на плате, потеряв способность к растворению. В результате фоторезист остается в тех областях, где проводников на плате не будет. Таким образом, на плате остается негативное изображение топологии схемы. Назначение фоторезиста обеспечить избирательное гальваническое осаждение меди.
<b>ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ (ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ) ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ</b>	
	Медь наносится на поверхность стенок отверстий до толщины 25 мкм. При такой толщине металлизация обеспечивает необходимую прочность при термодинамических нагрузках, свойственных последующим пайкам. При металлизации отверстий неизбежно металлизуются поверхности проводников.
<b>УДАЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА</b>	
	Фоторезист удаляется, оставляя металлорезист на проводниках и в отверстиях, и обнажает медь в пробельных местах (зазорах). Медь, покрытая металлорезистом, останется не вытравленной и формирует топологию слоев платы.
<b>ТРАВЛЕНИЕ МЕДИ</b>	
	На этом этапе металлорезист защищает медь от травления. Незащищенная медь растворяется в травящем растворе, оставляя на плате рисунок будущей схемы.
<b>УДАЛЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЗИСТА ОЛОВО-СВИНЕЦ</b>	
	Металлорезист удаляется с поверхности меди в специальном растворе. Это начало процесса, называемого SMOBC (solder mask over bare copper - маска поверх необработанной меди). В других процессах, например, если нанесение защитной маски не осуществляется, оловянно-свинцовая

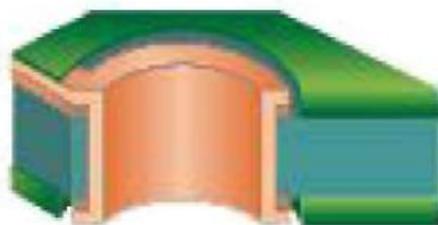
# Основные технологические операции изготовления ПП

## НАНЕСЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ МАСКИ



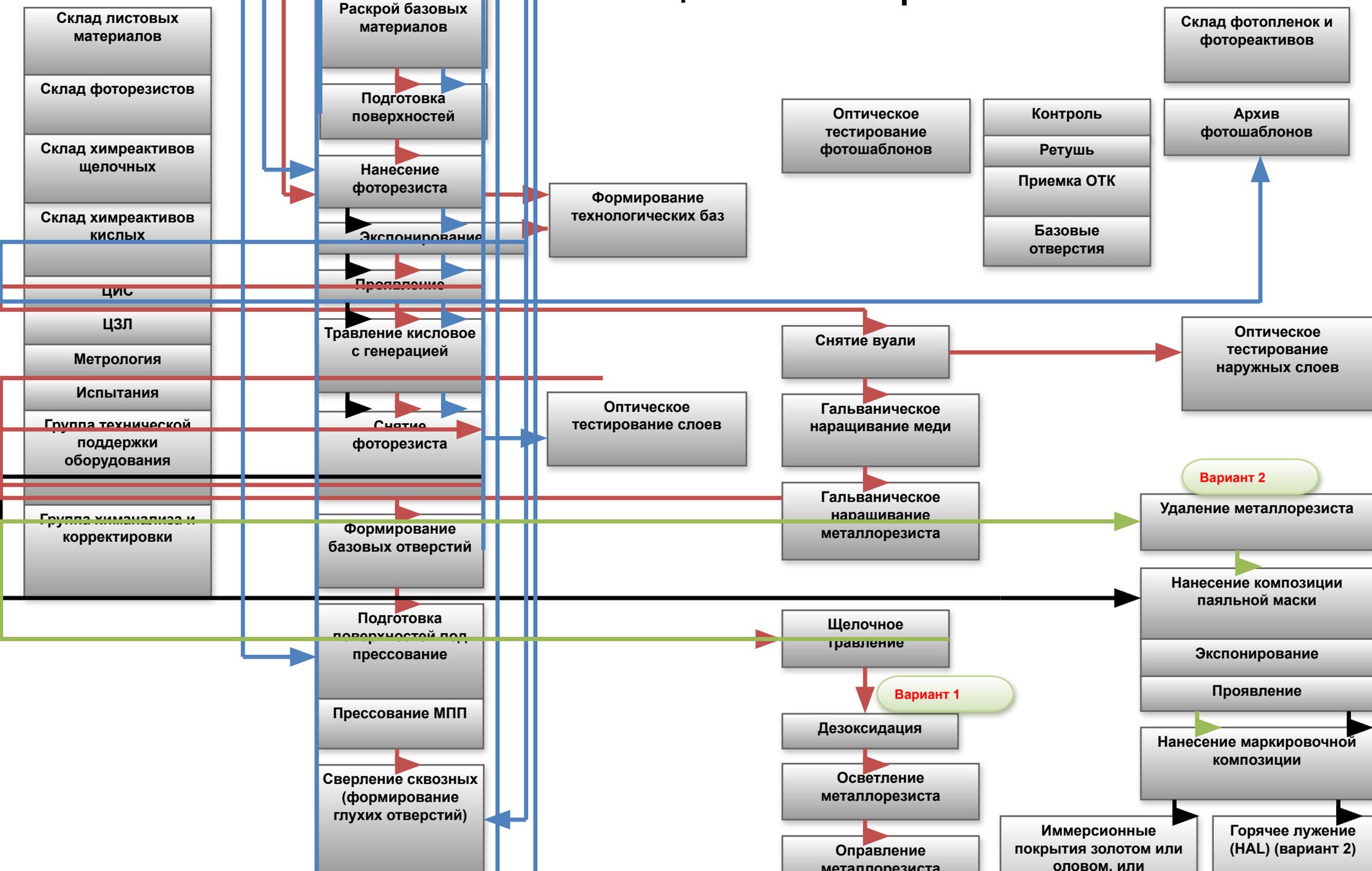
Для защиты поверхности платы наносится паяльная маска - электроизоляционное нагревостойкое покрытие. Существует несколько типов масок и методов ее нанесения, фоточувствительные композиции могут быть жидкими и пленочными. Тогда маска наносится и обрабатывается методами фотолитографии, т.е. теми же способами, что и фоторезист. Этот процесс обеспечивает высокую точность совмещения. Способ трафаретной печати не обладает такой точностью, но этот процесс более производителен в массовом производстве.

## ОБЛУЖИВАНИЕ МОНТАЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ HAL-ПРОЦЕСС (hot air leveling - выравнивание горячим воздухом)



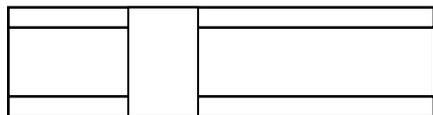
Открытые маской участки меди (монтажные отверстия, контактные площадки) облуживаются горячим припоем методом погружения. Чтобы не оставлять на плате натеков припоя и освободить отверстия от припоя, плата при изъятии из ванны облуживания обдувается горячими воздушными ножами. Кроме сдувания излишков воздушные ножи выравнивают припой на поверхностях контактных площадок и монтажных отверстий. Теперь плата готова для заключительных этапов: нанесения надписей (трафаретная печать или фотолитография), обрезки по контуру, тестированию и упаковке.

# Схема технологического процесса изготовления МПП с металлизацией отверстий

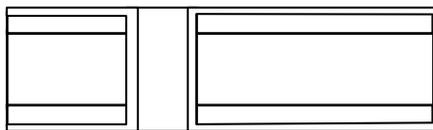


# Технология изготовления печатных плат

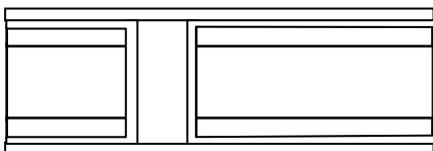
Технологическая схема изготовления печатной платы методом тентинг с использованием сухого пленочного фоторезиста (негативный метод).



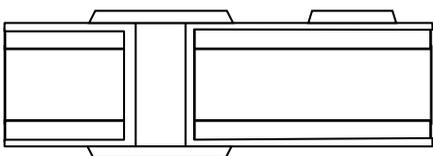
Заготовка фольгированного диэлектрика с просверленными отверстиями



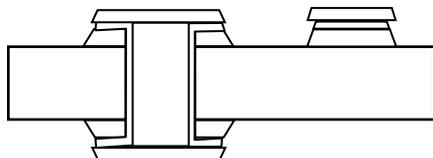
Электрохимическая металлизация всей поверхности и стенок отверстий



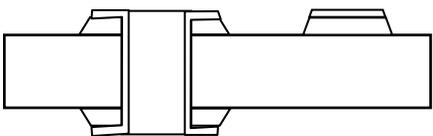
Наслаивание пленочного фоторезиста



Получение защитного рисунка (экспонирование и проявление СПФ)



Травление медной фольги в окнах СПФ



Удаление защитного рисунка СПФ

Применение тентинг – метода обеспечивает:

- упрощение технологического процесса изготовления двухсторонних слоев с металлизированными переходами и МПП;
- уменьшение количества необходимых химикатов;
- медную поверхность под нанесение паяльной маски («резиста-защиты»);
- возможность иммерсионного золочения и химического никелирования ПП с нанесенными слоями паяльной маски;
- однородную толщину проводников на всей поверхности платы независимо от плотности рисунка;
- высокое качество пластичности гальванически осаждаемой меди, так как металлизация осуществляется без органического фоторезиста на поверхности.

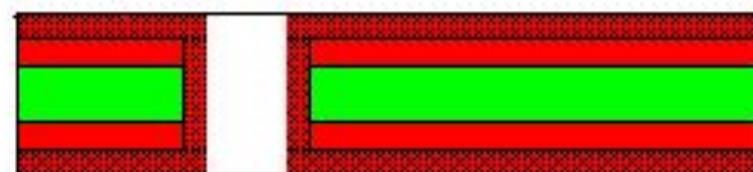
# ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СЛОЕВ МЕТОДОМ "ТЕНТИНГ" С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУХОГО ПЛЕНОЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА

А



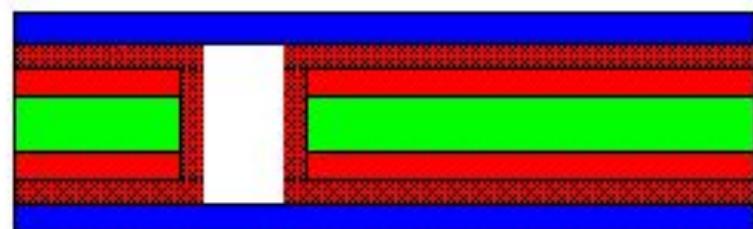
ЗАГОТОВКА ФОЛЬГИРОВАННОГО ДИЭЛЕКТРИКА  
С ПРОСВЕРЛЕННЫМИ ОТВЕРСТИЯМИ

Б



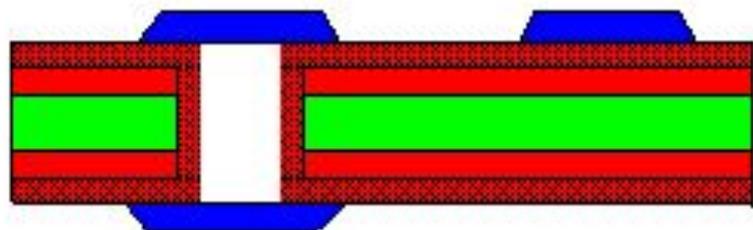
ХИМИКО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ  
МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ВСЕЙ ПОВЕРХНОСТИ  
И СТенок ОТВЕРСТИЙ

В



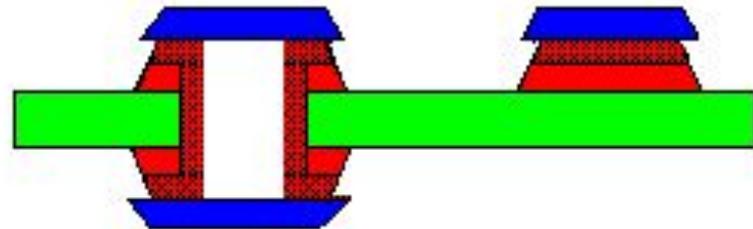
НАСЛАИВАНИЕ ПЛЕНОЧНОГО ФОТОРЕЗИСТА

Г



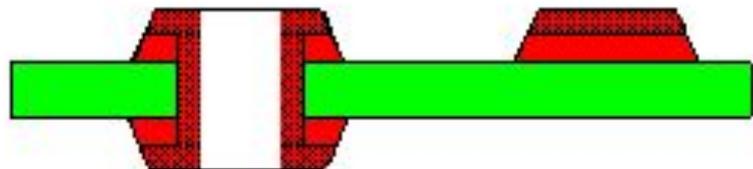
ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЩИТНОГО РИСУНКА В СПФ  
(ЭКСПОНИРОВАНИЕ, ПРОЯВЛЕНИЕ)

Д



ТРАВЛЕНИЕ МЕДНОЙ ФОЛЬГИ В ОКНАХ СПФ

Е



УДАЛЕНИЕ ЗАЩИТНОГО РИСУНКА СПФ –  
СЛОЙ ГОТОВ.

# Технология изготовления печатных плат

## Технологическая схема изготовления слоев методом ПАФОС

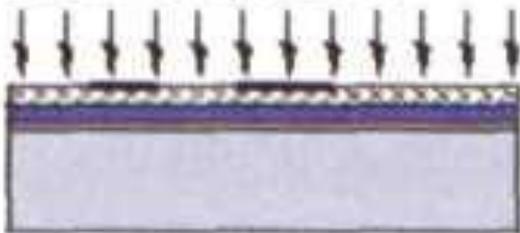
1. Осаждение меди на поверхность носителя



2. Нанесение фоторезиста



3. Экспонирование



4. Проявление



5. Осаждение никеля



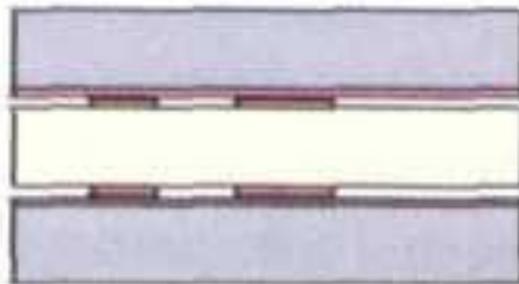
6. Осаждение меди в окна фоторезиста



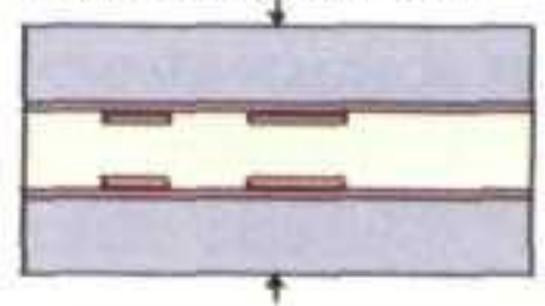
7. Снятие фоторезиста



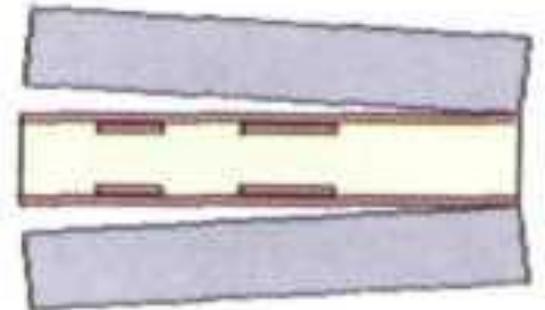
8. Набор пакета носителей



9. Прессование пакета



10. Отделение носителей от подложки



11. Травление тонкого медного слоя

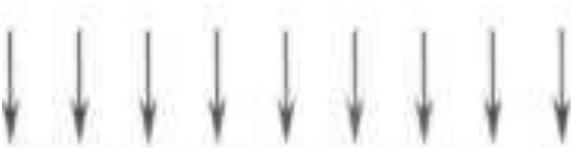


# Технология изготовления печатных плат

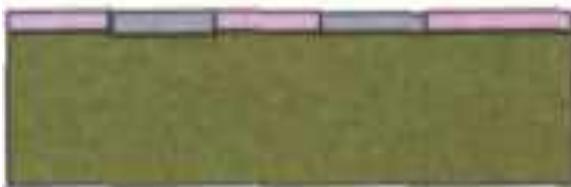
## Изготовление печатных плат фотоаддитивным процессом



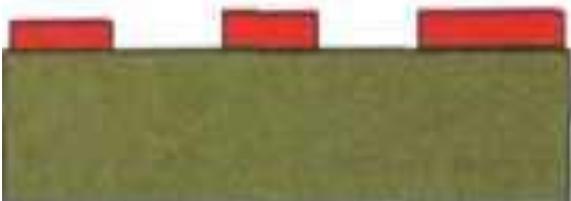
Нанесение и закрепление на поверхности подложки фотокатализатора



Экспонирование фотокатализатора через фотошаблон - негатив



Активация фотокатализатора на освещенных участках подложки - по местам будущих проводников



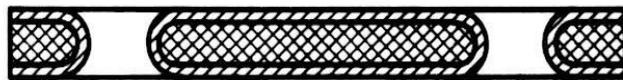
Толстохимическая металлизация проводников за счет работы активированного катализатора. Готовая плата.

# Технология изготовления печатных плат

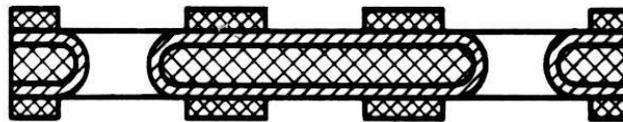
## Последовательность основных операций изготовления МПП на алюминиевом основании с использованием полиимидной пленки



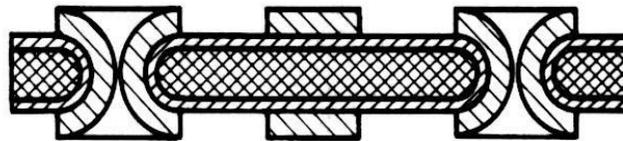
а)



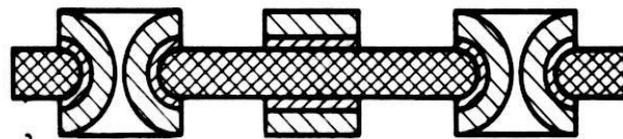
б)



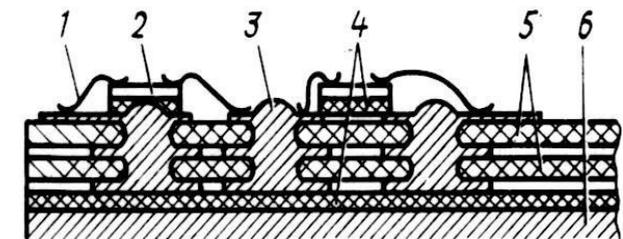
в)



г)



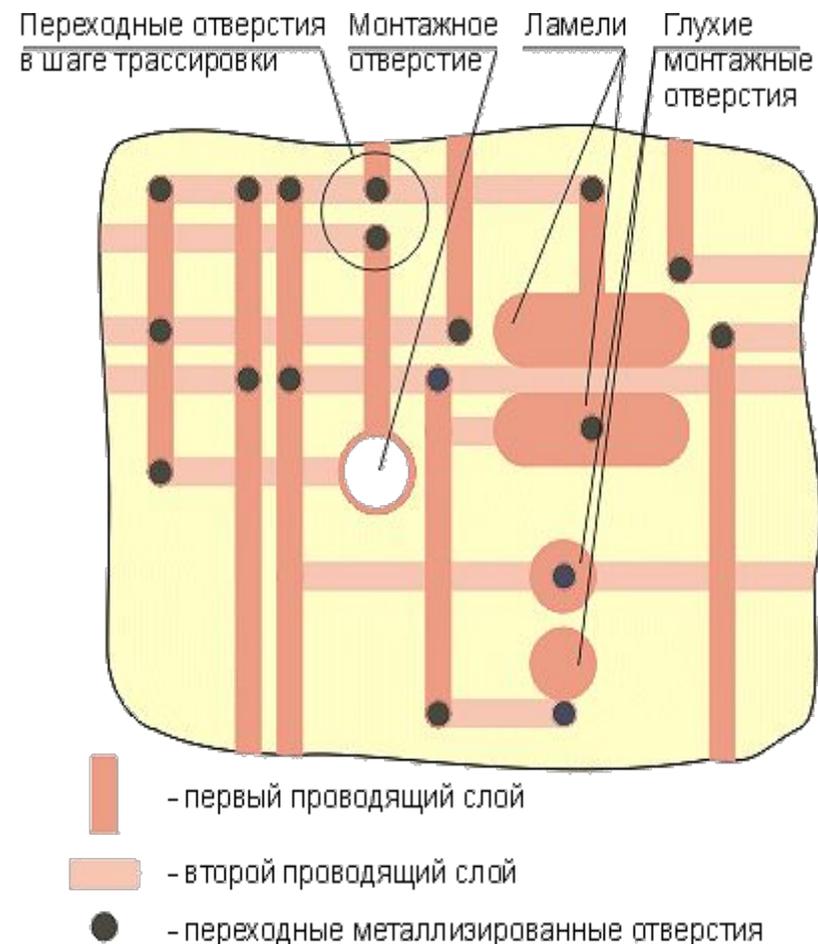
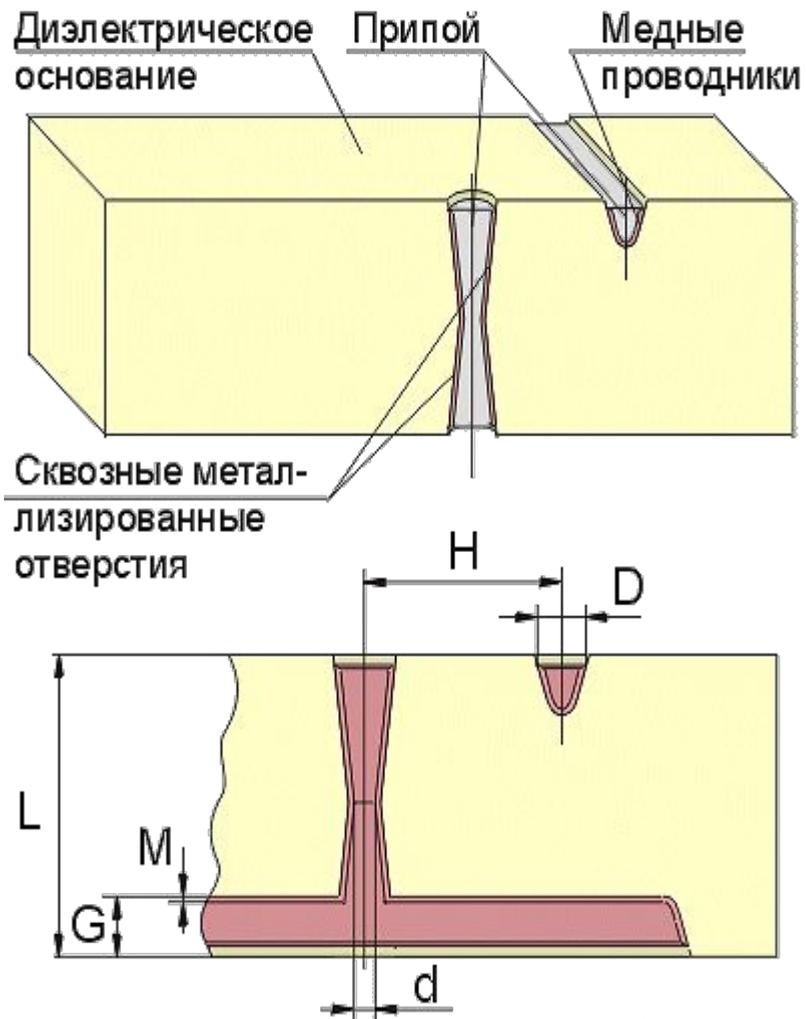
д)



е)

- а – пленка с протравленными отверстиями;
- б – пленка с нанесенным подслоем Cr-Cu-Cr ;
- в – нанесение защитного слоя фоторезиста;
- г – наращивание слоя меди толщиной 15 – 20 мкм и защитного слоя Sn-Bi;
- д – стравливание подслоя Cr-Cu-Cr;
- е – структура из спаянных слоев;
- 1 – внешние выводы бескорпусной ИС;
- 2 – кристалл бескорпусной ИС;
- 3 – вакуумный спай через металлизированные отверстия;
- 4 – клей;
- 5 – двусторонние полиимидные платы;
- 6 – алюминиевое основание

# Рельефные печатные платы



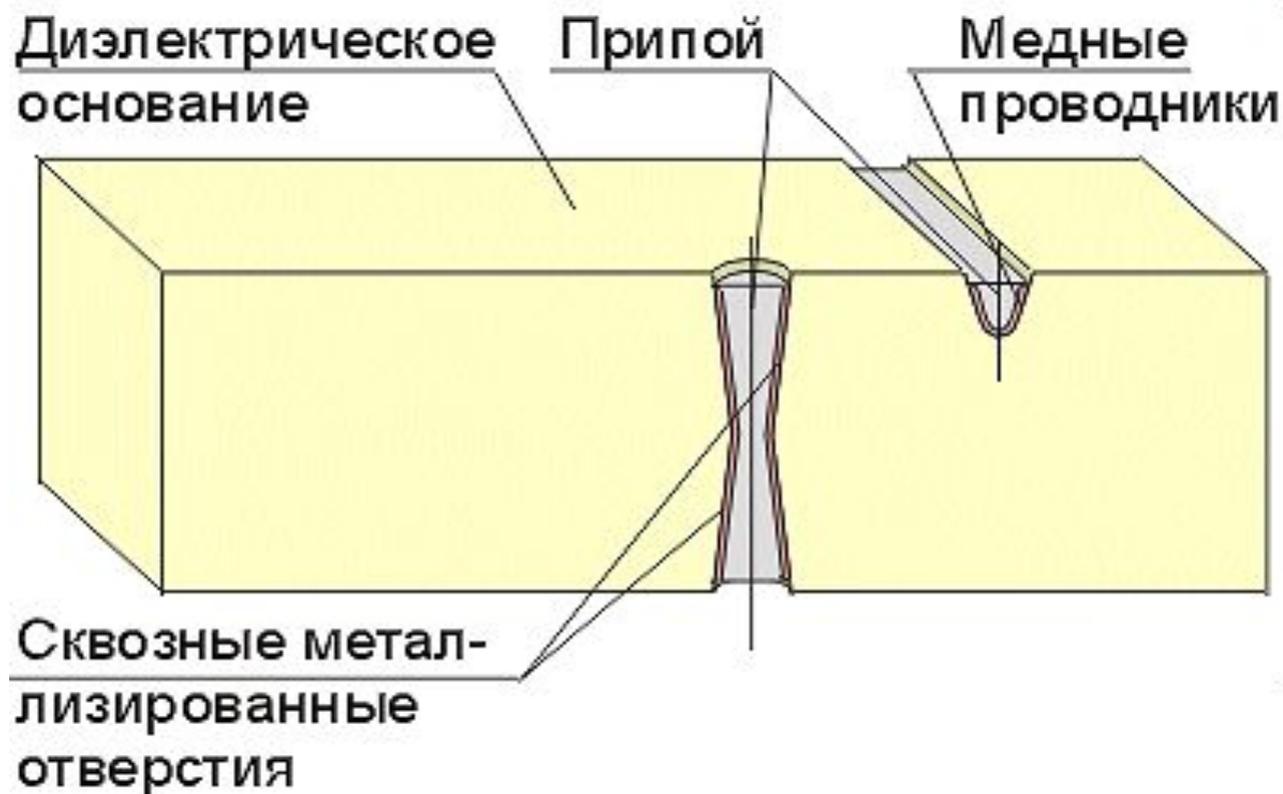
РПП представляет собой диэлектрическое основание, в которое углублены медные проводники, выполненные в виде металлизированных канавок, и сквозные металлизированные отверстия, имеющие форму двух сходящихся конусов. Такие канавки и отверстия заполняются припоем. Обычно РПП имеют два проводящих и один изоляционный слой.

Плотность размещения элементов на РПП эквивалентна 6-8 слоям МПП.

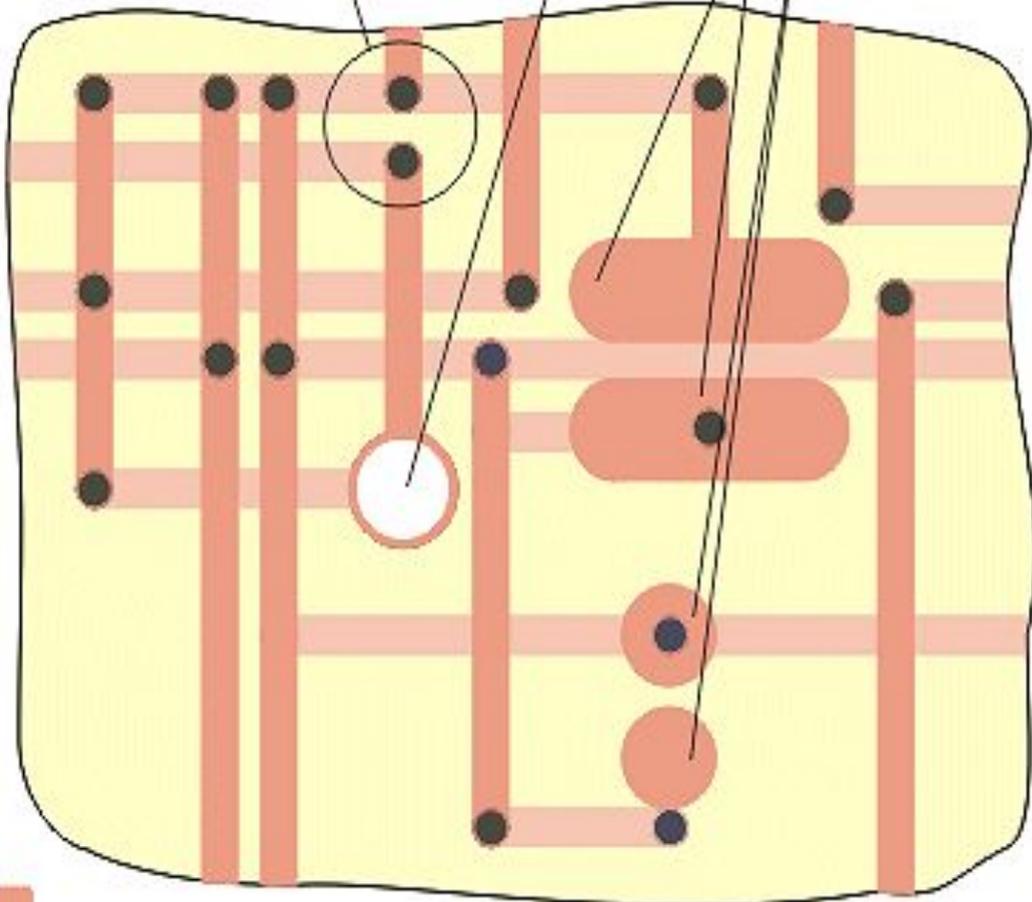
# Рельефные печатные платы (РПП)

Конструкция и технология изготовления РПП существенно отличаются от традиционных двухсторонних (ДПП) и многослойных (МПП) плат.

РПП представляет собой диэлектрическое основание, в которое углублены медные проводники, выполненные в виде металлизированных канавок, и сквозные металлизированные отверстия, имеющие форму двух сходящихся конусов. Такие канавки и отверстия заполняются припоем. Обычно РПП имеют два проводящих и один изоляционный слой.



Тереходные отверстия  
 з шаге трассировки      Монтажное  
 отверстие      Ламели      Глухие  
 монтажные  
 отверстия



-  - первый проводящий слой
-  - второй проводящий слой
-  - переходные металлизированные отверстия

Как видно из рисунка, элементы проводящего рисунка могут быть следующих видов:

- прямолинейные проводники на первом и втором слоях;
- переходные металлизированные отверстия (для электрического соединения элементов рисунка на проводящих слоях);
- сквозные монтажные металлизированные отверстия (для монтажа штыревых выводов электронных компонентов);
- металлизированные ламели (для монтажа планарных выводов электронных компонентов);
- глухие монтажные металлизированные отверстия (для монтажа планарных выводов электронных компонентов, формованных для пайки встык).

Проводники прямолинейны и параллельны осям X и Y, что связано с особенностью технологического оборудования изготовления канавок.

# Технология изготовления рельефных плат

## Технологии изготовления рельефной заготовки

- **Фрезерование**

Суть метода фрезерования заключается в изготовлении РП путем фрезерования канавок и ламелей и сверления переходных и монтажных отверстий. Форма двух сходящихся конусов у переходных и монтажных отверстий получается после сверления такими резцами в одной точке сначала с одной, а потом с другой стороны заготовки. Весьма существенным является обеспечение минимальных биений специальных резцов при фрезеровании и сверлении РЗ. Значительные биения приводят к искажению проводящего рисунка и быстрой поломке специальных резцов

- **Прессование**

Наиболее распространено на Западе, в России не приживается из-за отсутствия качественного материала. Эффективен для средних и крупных серий. В этом методе предварительно изготавливается пресс-форма с "обратным" рисунком рельефа. Затем проводится горячее прессование нескольких слоев стеклоткани, после которого образуется РЗ, на которой пропрессованы канавки и ламели. Затем такую заготовку устанавливают на станок с ЧПУ и сверлят переходные и монтажные отверстия аналогично подобной операции в методе фрезерования.

- **Лазерная гравировка**

Самый перспективный метод из всех перечисленных. Обеспечивает гораздо более лучшее качество изготовления и более мелкий шаг.

# Варианты установки электрорадиоэлементов на рельефные печатные платы

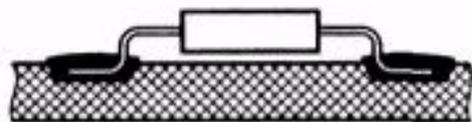


Рис. 4.11. Установка и пайка ЭРИ с плоскими планарными выводами и ПМК в металлизированную ламель

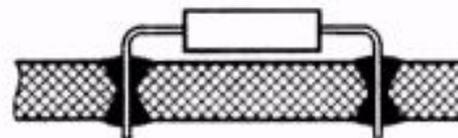


Рис. 4.12. Установка и пайка ЭРИ с плоскими планарными выводами, формованные для установки в сквозное круглое монтажное отверстие

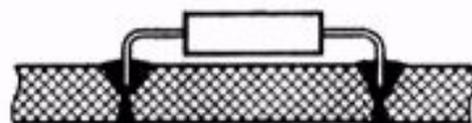


Рис. 4.13. Установка и пайка ЭРИ с плоскими планарными выводами, формованными для установки в глухое круглое монтажное отверстие и пайки встык

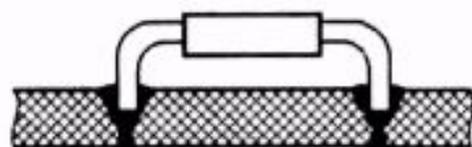


Рис. 4.15. Установка и пайка ЭРИ с плоскими планарными выводами в глухое O-образное монтажное отверстие

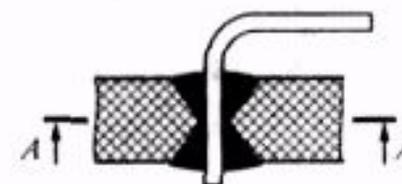


Рис. 4.14. Установка и пайка ЭРИ с плоскими планарными выводами, формованными для установки в сквозное O-образное монтажное отверстие РП

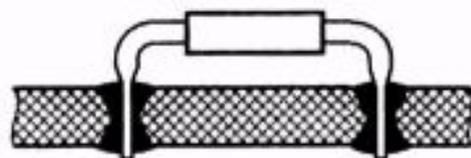


Рис. 4.16. Установка и пайка ЭРИ с плоскими штыревыми выводами в сквозное круглое монтажное отверстие

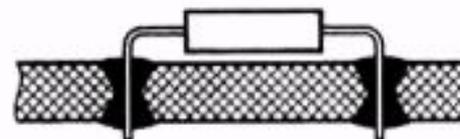
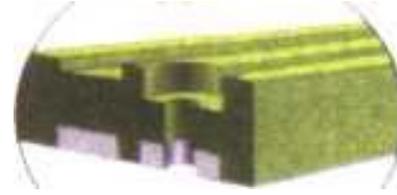


Рис. 4.17. Установка и пайка ЭРИ с круглыми штыревыми выводами в сквозное круглое монтажное отверстие

# Технология изготовления рельефных печатных плат



Гравирование рельефа проводников и контактных площадок в диэлектрической подложке. Используется сверлильный станок с ЧПУ с нормированным заглублением инструмента в обрабатываемую подложку.



Сверление сквозных отверстий на станке с ЧПУ.



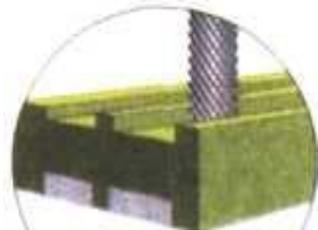
Заполнение углублений рельефа металлонаполненной пастой (контактолом).  
Используется станок трафаретной печати с нормированной скоростью перемещения ракеля.  
Черным обозначен ракель станка, красным - металло-содержащая паста (контактол).



Термообработка в печи с нейтральной средой. Связующее металлонаполненной пасты выгорает. Металлические частицы спекаются, образуя металлическую дорожку - проводник и контактную площадку.



Заполнение углублений рельефа металлонаполненной пастой (контактолом) на другой стороне платы с использованием того же станка трафаретной печати с нормированной скоростью перемещения ракеля.



Гравирование топологии рельефа другой стороны платы на станке с ЧПУ.  
Совмещение топологий двух сторон достигается за счет использования единых баз.

# Изготовление печатных плат методом

## ПРИМА

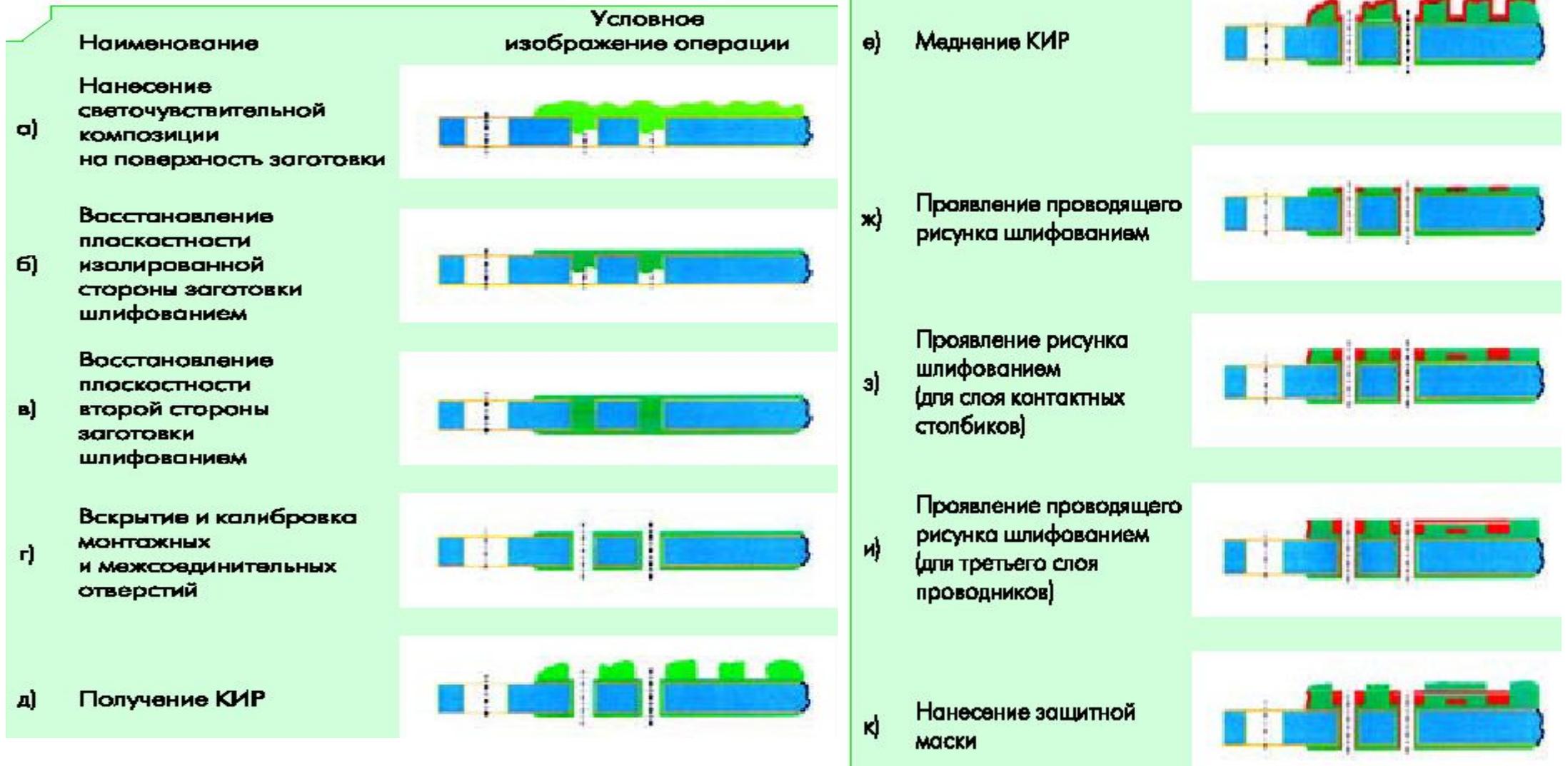


Суть данной технологии состоит в замене химической и гальванической металлизации поверхности вакуумным нанесением меди на копировально-изоляционный рельеф – как на участки проводящего рисунка, свободные от фоторезиста, так и на поверхность фоторезиста, образующего рисунок, после чего слой меди, расположенный выше уровня проводников (т.е. на фоторезисте) удаляется механическим способом. Удаление слоя меди – «проявление» проводящего рисунка осуществляется прецизионным плоским шлифованием выступающей части поверхности. В качестве основы таких ПП вместо дорогостоящих фольгированных стеклопластиков используется тонколистовой металл с нанесенным на него прочным изоляционным покрытием (компаундом). Это существенно снижает стоимость, одновременно обеспечивая высокое качество и надежность ПП, в том числе по условиям теплоотвода.

Новая конструкция ПП и технологический процесс их изготовления обладает следующими преимуществами:

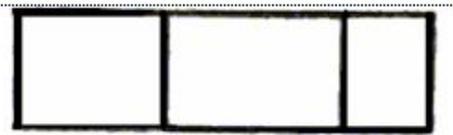
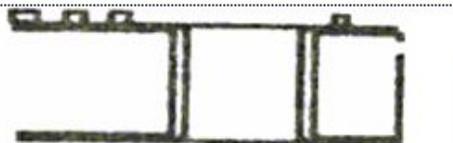
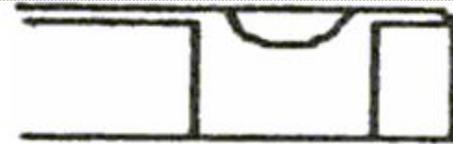
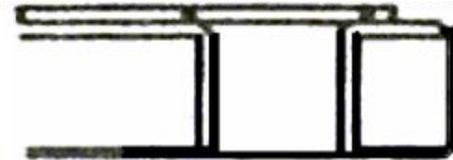
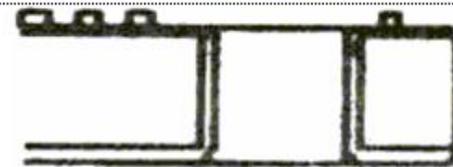
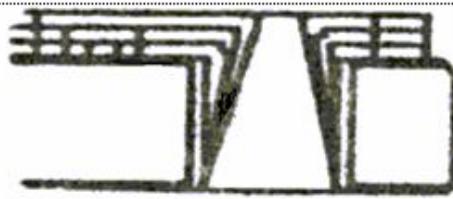
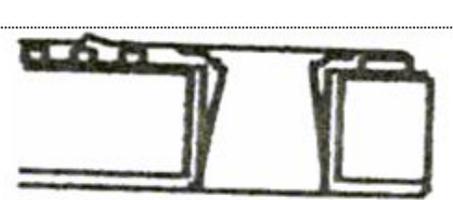
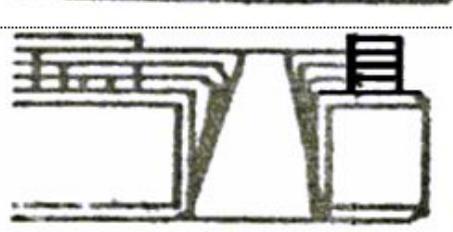
1. Исключается сброс сточных вод в объеме 94,6 л на 1 дм<sup>2</sup> ПП (0,8 кг в пересчёте на твёрдый осадок);
2. Номенклатура основных используемых материалов уменьшается с 82 наименований до 10;
3. Разрешающая способность рисунка повышается до 0,1 мм. В совокупности с отсутствием межслойных соединительных отверстий это позволило повысить плотность монтажа радиоэлектронных узлов на 30 – 40 %;
4. Повышается надёжность ПП из-за исключения из конструкции переходных металлизированных отверстий;
5. Обеспечивается возможность монтажа как элементов, устанавливаемых на поверхность, так и в отверстия;
6. Номенклатура основного оборудования уменьшается с 23 типов до 12;

# Технология изготовления ПП ПРИМА

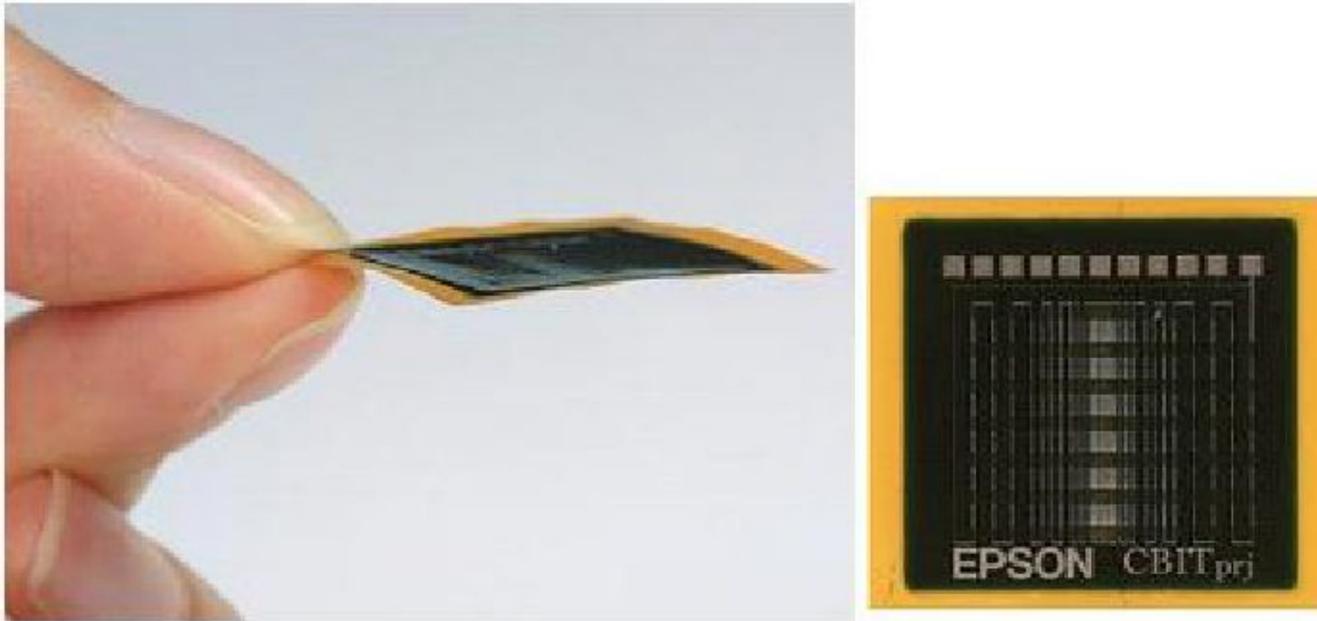


КИР – копировально-изоляционный рельеф

# Последовательность выполнения операций при изготовлении печатных плат по технологии «ПРИМА»

1 вырезка отверстий и контура		7 проявление шлифованием	
2 нанесение изоляции		8 нанесение слоя фоторезиста	
3 шлифование изоляции и калибровка отверстий		9 экспонирование, проявление и задубливание фоторезиста	
4 нанесение слоя фоторезиста		10 вакуумное нанесение меди	
5 экспонирование, проявление и задубливание фоторезиста		11 проявление шлифованием	
6 вакуумное нанесение меди		12 получение второго слоя проводников (повтор операций 4,5,6,7), нанесение защитной маски. Облуживание проводников	

# Изготовление печатных плат методом струйной печати



Одним из передовых подходов к изготовлению электронных устройств является разработка компании Seiko Epson. В ноябре 2004 года во время специально организованной пресс-конференции в Токио специалисты Seiko Epson представили первую в мире сверхтонкую многослойную микроэлектронную плату, которая изготовлена с применением метода струйной печати. Продемонстрированная Seiko Epson печатная (во всех смыслах этого слова) плата обладает размерами всего 20x20 мм, а толщина ее равняется лишь 200 мкм. При формировании топологии соединений на ней применялось два типа чернил - изолирующие и проводящие. В последних содержатся микрочастицы серебра, диаметр которых составляет от нескольких до десятков нанометров.

По сравнению с фотолитографией метод струйной печати требует гораздо меньшего объема материалов, а сам процесс является "сухим", т. е. не происходит загрязнение воздуха вредными жидкостями. Помимо этого, процедура изготовления плат с помощью струйной печати состоит из меньшего числа операций.