

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

к.т.н. Никаноров А.В.

Содержание лекции

1. Типы ПП
2. Способы получения рисунка ПП
3. Методы изготовления ПП
4. Технология изготовления многослойных ПП

Печатные платы

Печатная плата - элемент конструкции, которая состоит из плоских проводников в виде участков металлизированного покрытия, размещенных на диэлектрическом основании и обеспечивающих соединение элементов электрической цепи.

Печатная плата (ПП) предназначена для электрического соединения элементов схемы.

ПП - изоляционное основание, на котором имеется совокупность печатных проводников, контактных площадок и металлизированных отверстий или переходов.

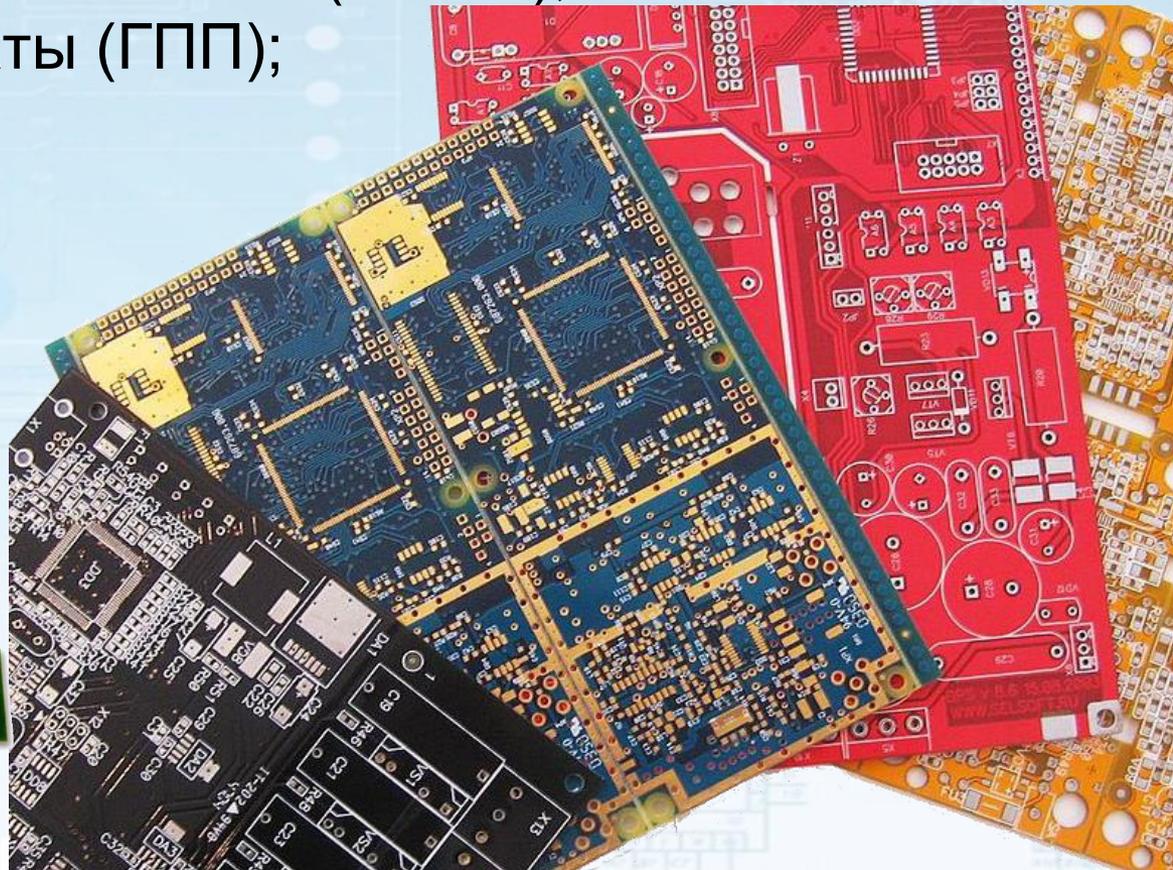
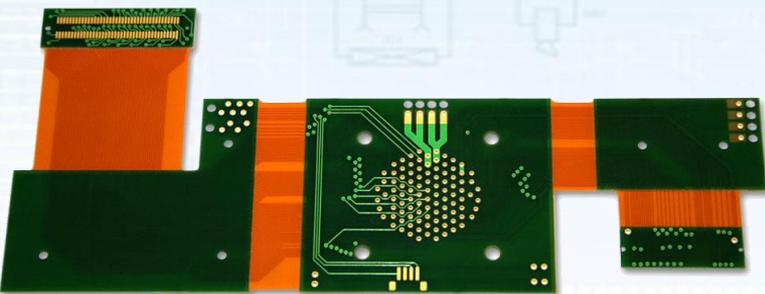
«Печатная» - способность для восприятия технологии печати (фотолитография, трафарет, офсет, гравирование).

«Плата» - плоское основание (может быть и гибким).

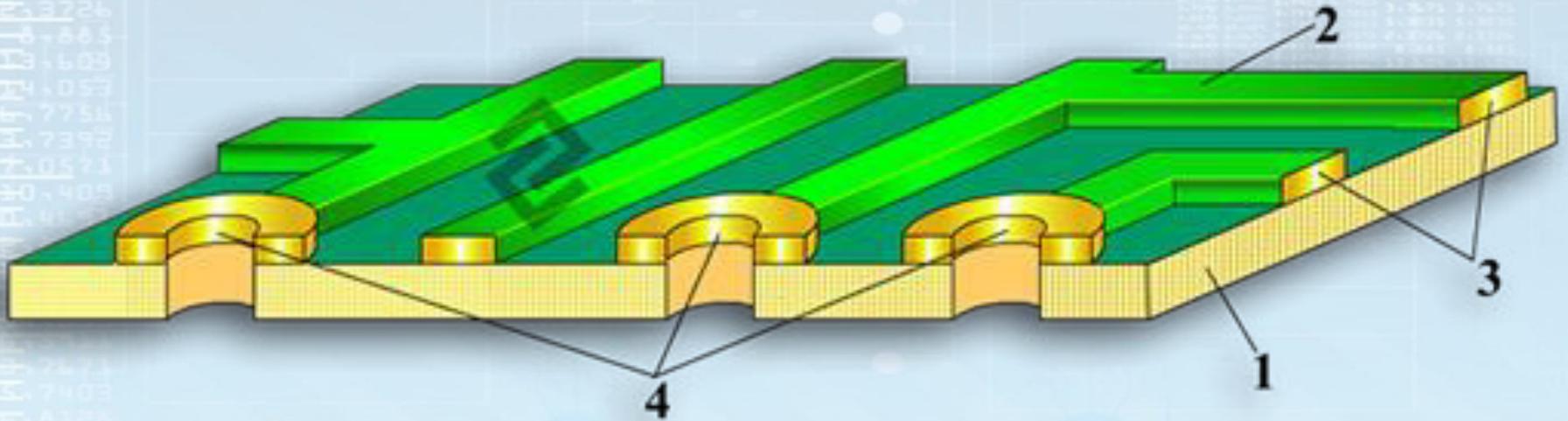
Типы печатных плат

По конструктивному исполнению различают:

- Односторонние печатные платы (ОПП);
- Двусторонние печатные платы (ДПП);
- Многослойные печатные платы (МПП);
- Гибко-жесткие печатные платы (ЖГПП);
- Гибкие печатные платы (ГПП);
- ВЧ и СВЧ платы.

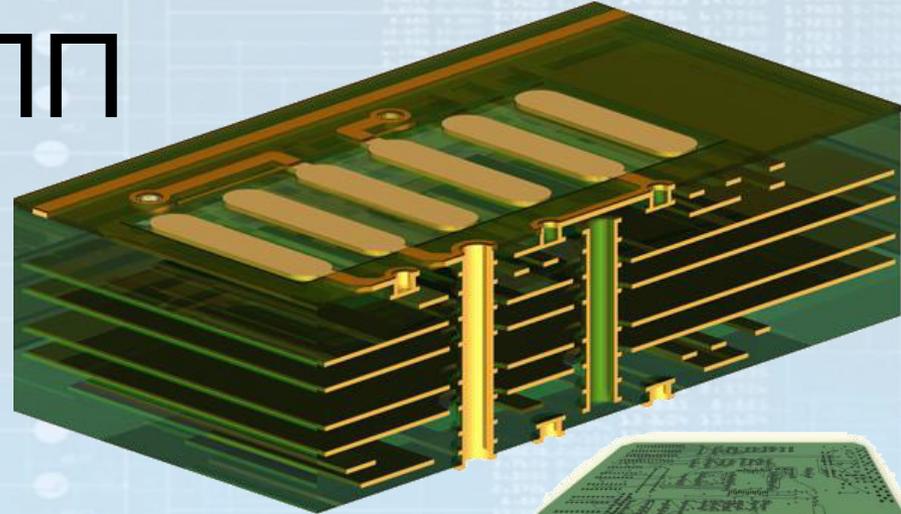
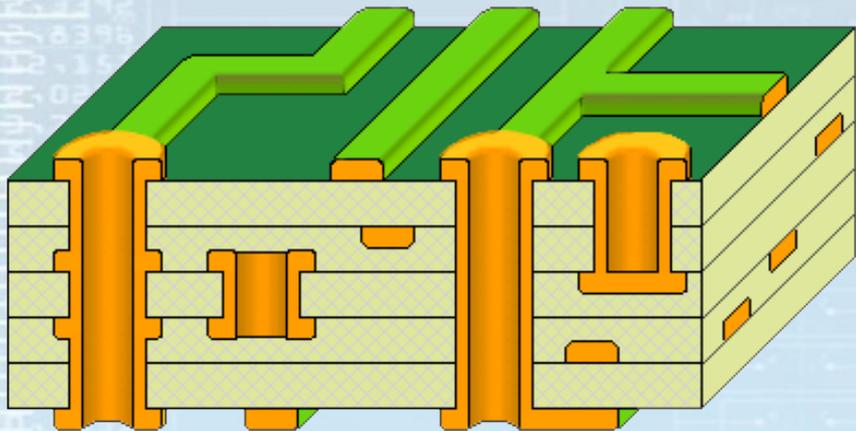


Однослойная ПП



1. Диэлектрик;
2. Защитный слой (маска);
3. Токопроводящая дорожка;
4. Контактное отверстие;

МПП



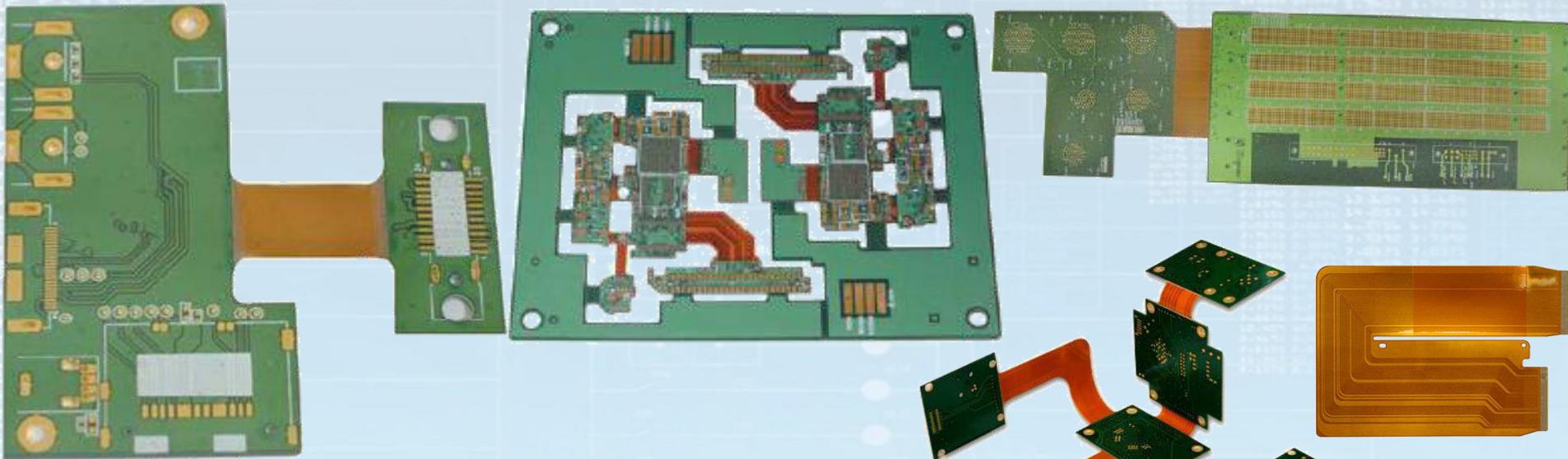
ГОСТ рекомендует использовать ПП

- ✓ прямоугольной формы,
- ✓ размеры каждой стороны ПП кратны: 2,5; 5 и 10 мм
- ✓ при длине соответственно до 100; до 350 и свыше 350 мм.

На свободном месте ПП наносится условный шифр или обозначение платы.

МПП целесообразно применять при высоких требованиях к плотности электрического монтажа, а также при необходимости улучшения электрических параметров.

Гибко-жесткая печатная плата



| | | | |
|---------|---|-------------------|---|
| 1. TOP | Маска 0,025 мм Медь 35 мкм + металлизация Ядро FR4 0,4 мм Препрег 1080 0,063 мм Препрег 1080 0,063 мм | Силиконовый валик | Маска 0,025 мм Медь 35 мкм + металлизация Ядро FR4 0,4 мм Препрег 1080 0,063 мм Препрег 1080 0,063 мм |
| | | | Полиимидное покрытие 12,5 мкм Адгезив 12,5 мкм |
| 2. INT1 | Медь 17,5 мкм Адгезив 12,5 мкм Полиимид 12,5 мкм Адгезив 12,5 мкм | | Медь 17,5 мкм Адгезив 12,5 мкм Полиимид 12,5 мкм Адгезив 12,5 мкм |
| 3. INT2 | Медь 17,5 мкм Адгезив 12,5 мкм | | Медь 17,5 мкм Адгезив 12,5 мкм |
| | | | Полиимидное покрытие 12,5 мкм |
| | Препрег 1080 0,063 мм Препрег 1080 0,063 мм Ядро FR4 0,4 мм | Силиконовый валик | Препрег 1080 0,063 мм Препрег 1080 0,063 мм Ядро FR4 0,4 мм |
| 4. BOT | Медь 35 мкм + металлизация Маска 0,025 мм | | Медь 35 мкм + металлизация Маска 0,025 мм |

| Толщина: | |
|----------|----|
| 0,025 | мм |
| 0,05 | мм |
| 0,4 | мм |
| 0,063 | мм |
| 0,0125 | мм |
| 0,063 | мм |
| 0,063 | мм |
| 0,4 | мм |
| 0,05 | мм |
| 0,025 | мм |

Итого:

1,3245 мм



Ширину печатных проводников выбирают в зависимости:

- ✓ от допустимой токовой нагрузки,
- ✓ свойств токопроводящего материала,
- ✓ температуры окружающей среды при эксплуатации.

Расстояние между элементами проводящего рисунка зависит:

- ✓ от допустимого рабочего напряжения,
- ✓ свойств диэлектрика,
- ✓ условий эксплуатации,

и связано с помехоустойчивостью, искажением сигналов и короткими замыканиями.

Материалы печатных плат

В качестве **основы ПП** используют

- ✓ фольгированные и нефольгированные диэлектрики (стеклотекстолит, гетинакс, текстолит, стеклоткань, лавсан, полиимид, фторопласт и др.),
- ✓ керамические материалы
- ✓ металлические пластины.

При **выборе материала** необходимо учитывать:

- класс точности и требуемые электрические параметры, определяемые главным образом скоростью переключения элементов (рабочие частоты);
- предполагаемые механические воздействия;
- предполагаемые тепловые воздействия;
- условия эксплуатации;
- стоимость.

Для изготовления ПП, обеспечивающих надёжную передачу наносекундных импульсов, необходимо применять материалы с улучшенными диэлектрическими свойствами (меньшими значениями диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь).

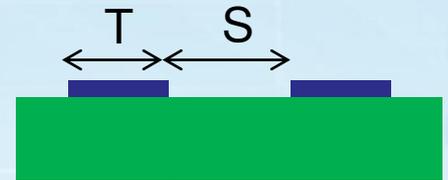
| Вид | Состав | Диэлектрическая проницаемость | Стоимость |
|------------------|--|-------------------------------|-------------|
| FR4 | Слоистый эпоксидный материал из стекловолокна | 4,7 | 1 (базовая) |
| FR4 High Tg, FR5 | Материал со сшитой сеткой, повышенная термостойкость | 4,6 | 1,2...1,4 |
| RCC | Эпоксидный материал без стеклянной тканой основы | 4,0 | 1,3...1,5 |
| PD | Полиимидная смола с арамидной основой | 3,5–4,6 | 5...6,5 |
| PTFE | Политетрафлуор-этилен со стеклом или керамикой (СВЧ) | 2,2–10,2 | 32...70 |

Классы точности печатного рисунка

По точности выполнения печатных элементов конструкции (проводников, контактных площадок и пр.) все ПП делят на 7 классов, отличающихся номинальными размерами элементов печатного рисунка (ГОСТ Р 53429-2009):

T - ширина печатного проводника

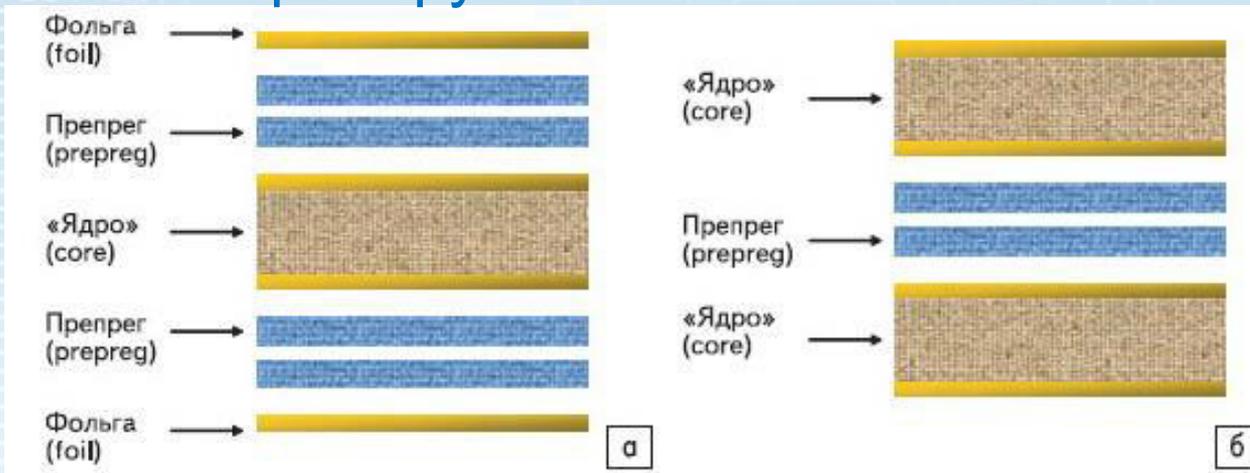
S - расстояние между краями соседних элементов проводящего рисунка



| Класс точности | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|------|------|------|------|-----|-------|------|
| Ширина проводника и зазор, мм | 0,75 | 0,45 | 0,25 | 0,15 | 0,1 | 0,075 | 0,05 |

Проектирование структуры МПП

- При разработке структуры МПП необходимо обеспечить заданное число сигнальных слоев, удовлетворить требования по помехозащищенности и электрическим параметрам линий связи.
- В МПП сигнальные слои чередуются с потенциальными, которые снижают волновое сопротивление сигнальных линий связи и экранируют смежные монтажные слои.



- а) Фольга снаружи
- б) Ядро снаружи

Достоинства МПП: высокая коммутационная способность и возможность передачи наносекундных сигналов без существенных искажений и потерь.

Недостатки МПП: Высокая стоимость проектирования и изготовления; жесткие требования к исходным материалам и точности изготовления.

ПЕРЕЧЕНЬ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА СТРУКТУРУ МПП

Факторы для расчета структуры МПП:

- ✓ необходимое число сигнальных слоев,
- ✓ электрические параметры линий связи (собственная емкость на единицу длины или волновое сопротивление),
- ✓ возможные значения геометрических параметров элементов печатного монтажа (ширина сигнальных проводников, толщина сигнальных и потенциальных слоев, диаметр металлизированных отверстий, толщина фольги и диэлектрика).

Расчет структуры МПП **заключается:**

- в определении вида звеньев,
- их числа,
- расположения относительно друг друга
- и расстояния между слоями.

Общий порядок изготовления ПП

1. Вырубка заготовки
- 2. Формирование топологии проводников на ПП**
 1. Для каждого слоя ПП
 2. Для пакета ПП
3. Мойка
4. Сушка
5. Нанесение паяльной маски
6. Облуживание
7. Электрическое тестирование

Основные отличия методов изготовления - в п.2

Химический метод изготовления

- Химически избирательно удаляется с фольгированного диэлектрика проводящий слой.
- Субтрактивный метод.
 1. Берется фольгированный диэлектрик.
 2. Переносится рисунок печатных проводников в виде стойкой к растворам травления пленки фоторезиста.
 3. Незащищенные места фольги стравливаются.
 4. Фоторезист удаляется.

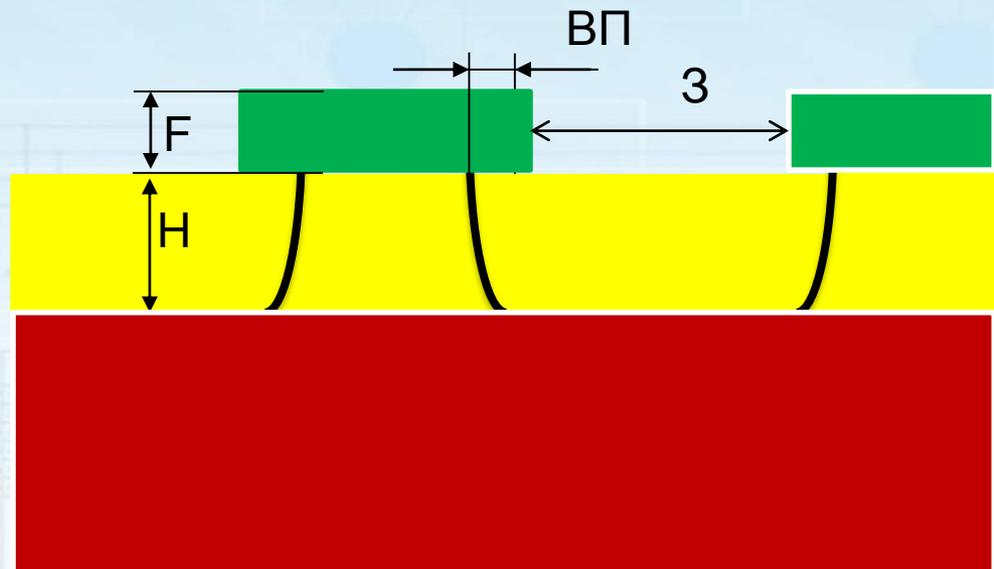
Основной недостаток метода – затраты на химическое удаление предварительно нанесенного слоя

Параметры травления

- Эффективность процесса определяется реакциями диффузии, окисления и восстановления на границе фаз металл-раствор и в самом растворе.
- Параметры:
 - Температура.
 - Состав травителя и металла.
 - Тип защитного покрытия.
 - Толщина металлизированного слоя.
 - Ширина проводника.

Оценка точности воспроизведения рисунка проводника и зазора

- Разрешение фоторезиста $R_{\phi} = 4/3 * F$,
– где F - толщина фоторезиста
- Величина подтравливания рисунка сравнима с глубиной травления (H) $ВП = 2/3 * H$
- Оценка воспроизведения ширины зазора:
 $З = 4/3 * (F + H)$



Общая оценка методов

- Субтрактивные методы:
 - Присутствует процесс травления металла.
 - Есть погрешность воспроизведения рисунка проводника.
- Аддитивные методы:
 - Исходный материал - диэлектрик без металлизации.
 - В основном, отсутствует процесс травления металла.
 - Присутствуют химические методы отмычки.
- Полуаддитивные:
 - Исходный материал – диэлектрик с супертонким слоем металлизации (или процессе используется толстохимическая металлизация)
 - Выращивание проводников – гальваническими методами

Тентинг-метод

- Тентинг-метод — самый **дешевый и быстрый** процесс изготовления печатных плат, при котором помимо металлизации отверстий происходит металлизация всей поверхности.
- Для тентинг-метода **необходимо использовать толсто пленочные фоторезисты (50 мкм)**, чтобы после проявления они смогли выдержать напор струй травящих растворов.
- При тентинг-методе **трудно ожидать воспроизводимость рисунка лучше, чем 0,14 мм**

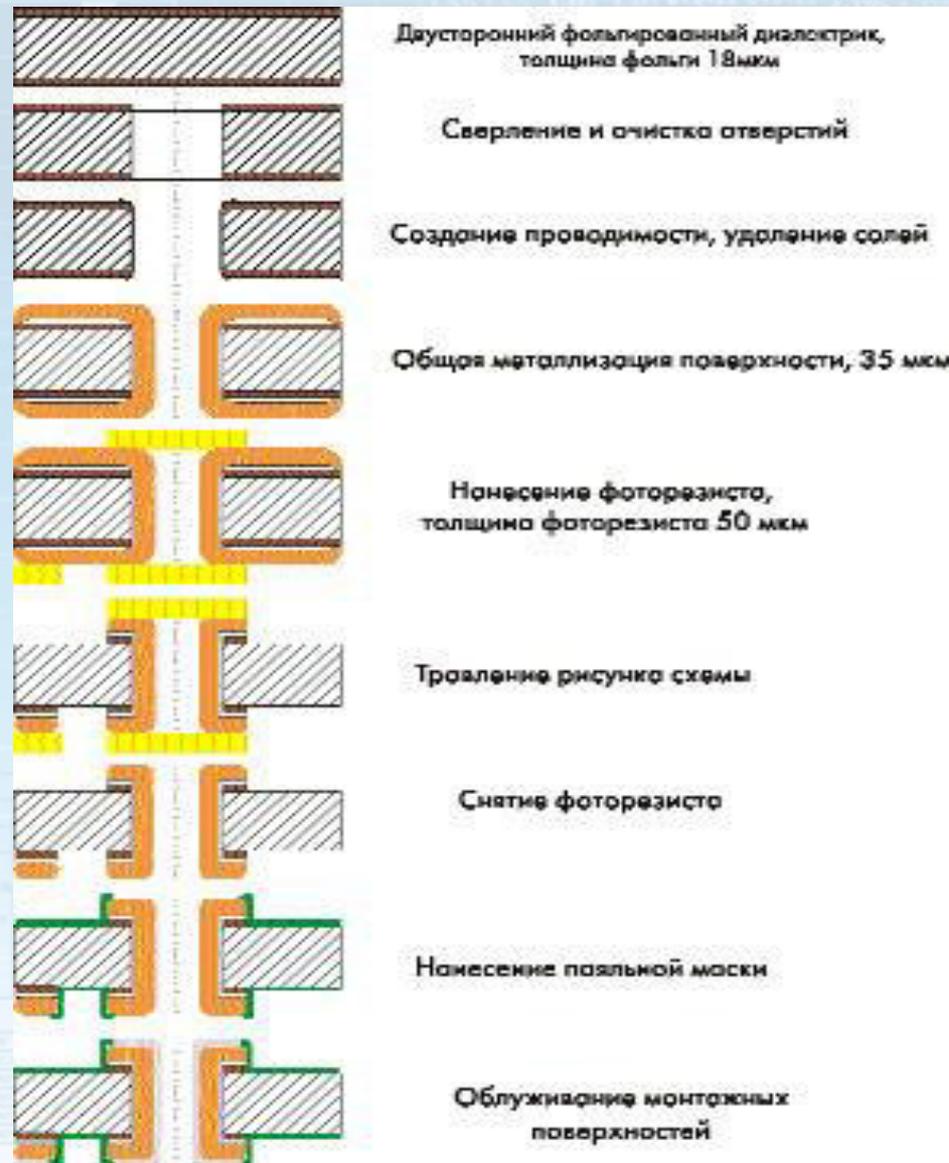


Рис. Схема тентинг-метода

Комбинированный позитивный метод

- Данный метод **позволяет воспроизводить более тонкие проводники** за счет меньшей толщины вытравливаемого металла.
- **Химическая** металлизация рисунка проводника
- Толщина используемых в этом методе фоторезистов определяется лишь тем, что толщина рельефа должна быть больше толщины наращиваемой в этом рельефе металлизации (проводников).
- Проводники/зазоры - 0,075мм

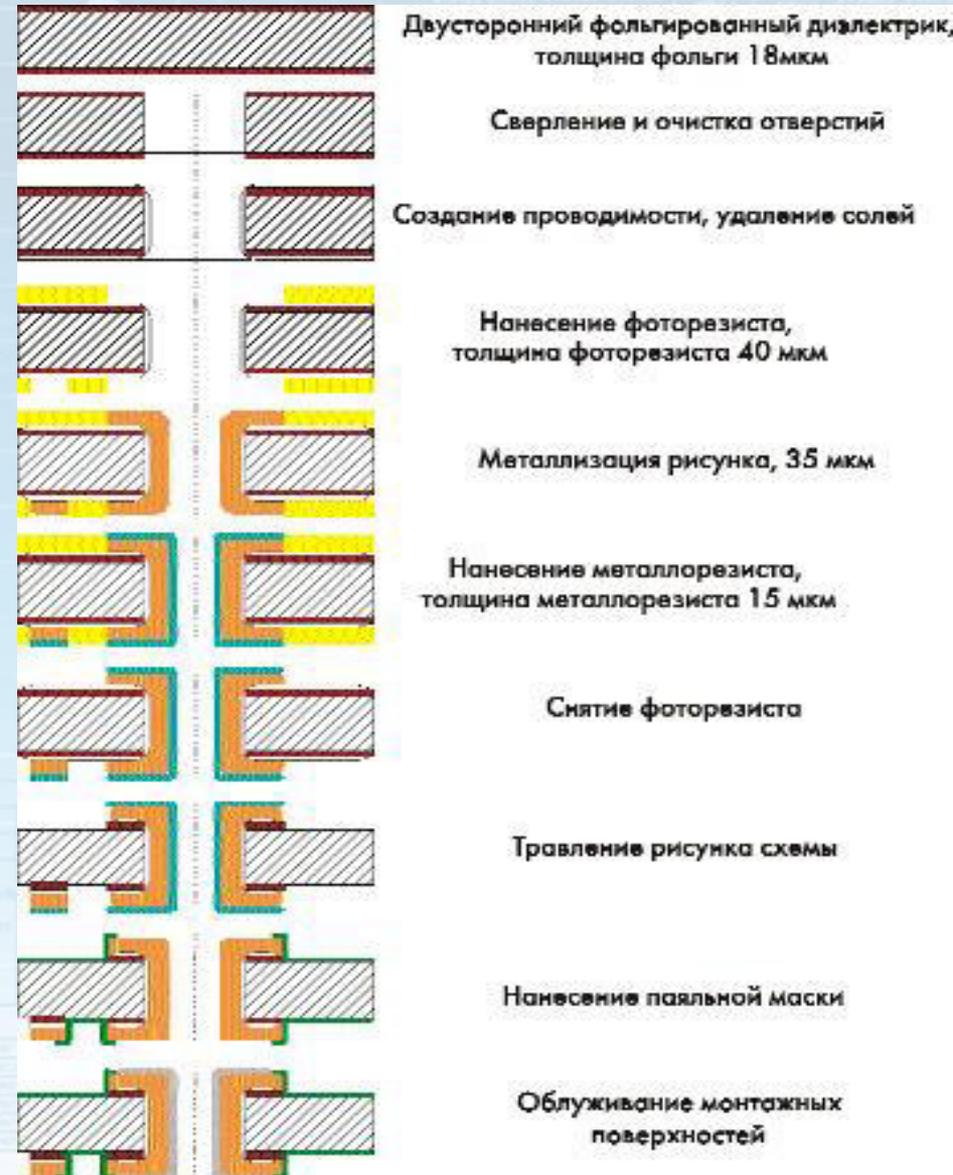


Рис. Схема Комбинированного позитивного метода

Полуаддитивный метод с дифференциальным травлением

- Данный метод **позволяет воспроизводить более тонкие проводники, чем вышеуказанные методы.**
- На нефольгированный диэлектрик осаждают минимальный слой меди, чтобы обеспечить возможность дальнейшей металлизации проводников и отверстий.
- **Гальваническая** металлизация рисунка проводников.
- Вытравливается только этот минимальный слой (около 3 мкм), что **позволяет воспроизводить проводники малой ширины - 0,04мм.**

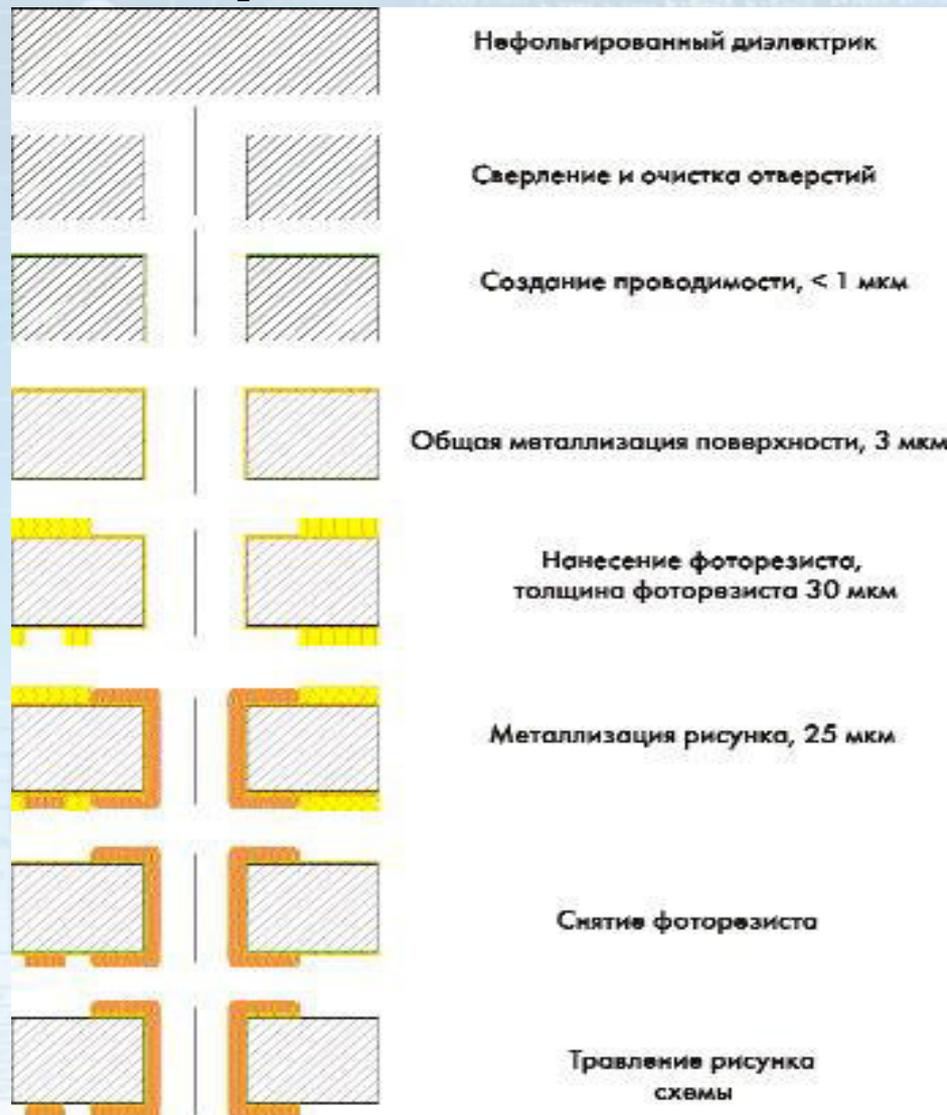


Рис. Схема полуаддитивного метода с дифференциальным травлением

Сравнение трех методов производства ПП

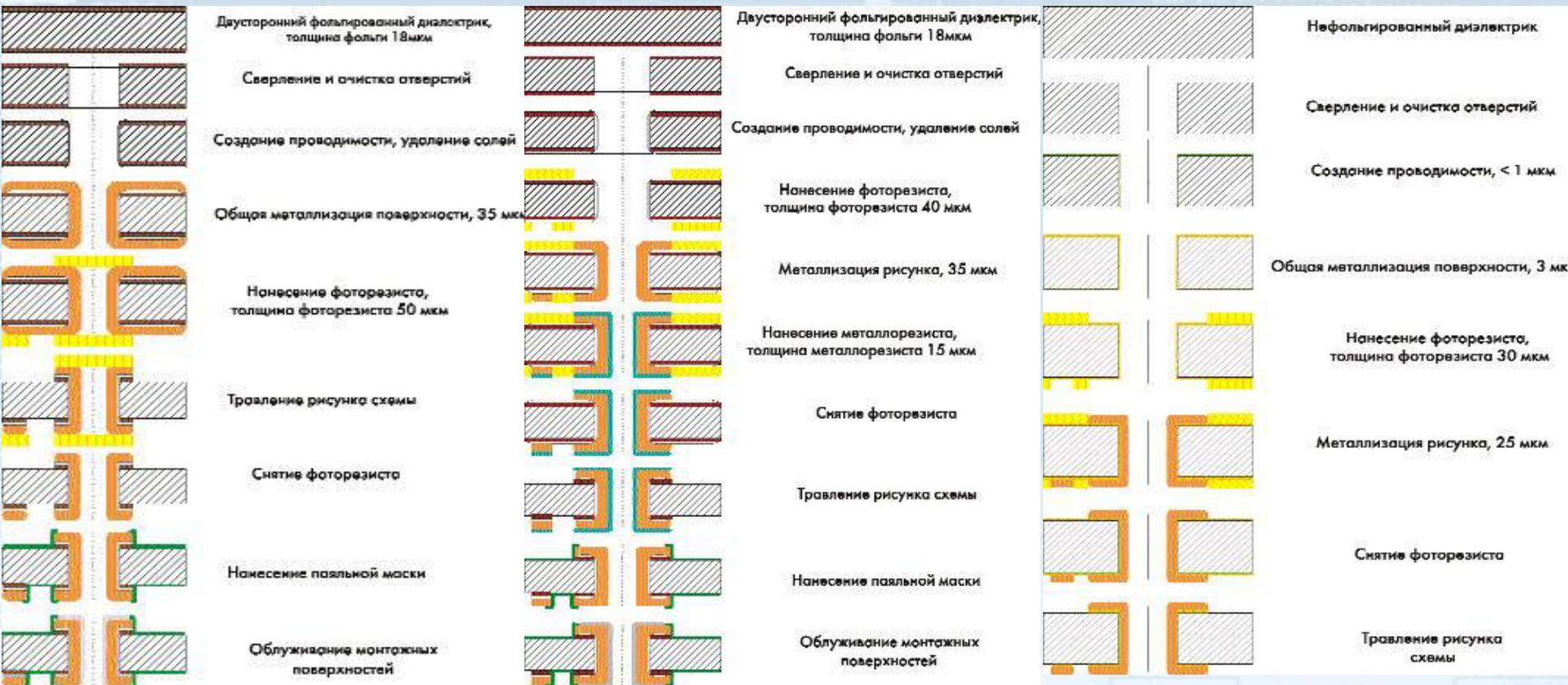


Схема Тентинг-метода

Схема Комбинированного
позитивного метода

Схема Полуаддитивного
метода с дифференциальным
травлением

Выводы

- 1) **Выбор метода изготовления** существенно сказывается на точности воспроизведения рисунка печатных плат.
- 2) **Тентинг-метод** при всех его преимуществах не может претендовать на воспроизведение рисунка выше 4 класса по ГОСТ23751. Современные системы изготавливаются 5 класса и выше ГОСТ Р 53429—2009
- 3) **Прецизионные печатные платы** с проводниками и зазорами около 50 мкм и менее могут быть изготовлены только **полуаддитивными методами в сочетании с дифференциальным травлением**. Обычно это 5/6/7 классы точности ГОСТ Р 53429—2009

Объединение отдельных слоев в стек МПП (Настройка StackUp проекта ПП)

Stackup Editor

File Edit View Help

Basic Dielectric Metal Z0 Planning Manufacturing Custom View

| | Visible | Color | Pour Draw Style | Layer Name | Type | Usage | Thickness mils | Er | Test Width mils | Z0 ohm | Thermal Conductivity Btu/hrftF |
|----|-------------------------------------|---------|-----------------|-------------------|------------|-------------|----------------|--------|-----------------|--------|--------------------------------|
| 1 | | | | | Dielectric | Solder Mask | 0.7 | 3.3 | | | 0.173 |
| 2 | <input checked="" type="checkbox"/> | Red | Hatched | TOP | Metal | Signal | 1.6 | <Auto> | 4 | 48.7 | 227.476 |
| 3 | | | | DIE_002(1080) | Dielectric | Substrate | 2.3 | 3.76 | | | 0.173 |
| 4 | <input checked="" type="checkbox"/> | Yellow | Hatched | GND1 | Metal | Plane | 1.2 | <Auto> | 6 | 73.9 | 227.476 |
| 5 | | | | DIE_004(CORE) | Dielectric | Substrate | 3 | 4 | | | 0.173 |
| 6 | <input checked="" type="checkbox"/> | Magenta | Hatched | IN1 | Metal | Signal | 1.2 | <Auto> | 4 | 48.6 | 227.476 |
| 7 | | | | DIE_006(7628HR_2) | Dielectric | Substrate | 16 | 4.14 | | | 0.173 |
| 8 | <input checked="" type="checkbox"/> | Blue | Hatched | VCC1 | Metal | Plane | 1.2 | <Auto> | 6 | 39.2 | 227.476 |
| 9 | | | | DIE_008(CORE) | Dielectric | Substrate | 3 | 4 | | | 0.173 |
| 10 | <input checked="" type="checkbox"/> | Orange | Hatched | VCC2 | Metal | Plane | 1.2 | <Auto> | 15 | 22.4 | 227.476 |
| 11 | | | | DIE_010(7628HR_2) | Dielectric | Substrate | 16 | 4.14 | | | 0.173 |
| 12 | <input checked="" type="checkbox"/> | Cyan | Hatched | GND2 | Metal | Plane | 1.2 | <Auto> | 6 | 64.2 | 227.476 |
| 13 | | | | DIE_012(CORE) | Dielectric | Substrate | 3 | 4 | | | 0.173 |
| 14 | <input checked="" type="checkbox"/> | Brown | Hatched | IN2 | Metal | Signal | 1.2 | <Auto> | 4 | 49.1 | 227.476 |
| 15 | | | | DIE_014(7628HR_2) | Dielectric | Substrate | 16 | 4.14 | | | 0.173 |
| 16 | <input checked="" type="checkbox"/> | Green | Hatched | IN3 | Metal | Signal | 1.2 | <Auto> | 4 | 48.2 | 227.476 |
| 17 | | | | DIE_016(CORE) | Dielectric | Substrate | 3 | 4 | | | 0.173 |
| 18 | <input checked="" type="checkbox"/> | Purple | Hatched | GND3 | Metal | Plane | 1.2 | <Auto> | 6 | 75.1 | 227.476 |
| 19 | | | | DIE_018(1080) | Dielectric | Substrate | 2.3 | 3.76 | | | 0.173 |
| 20 | <input checked="" type="checkbox"/> | Teal | Hatched | BOTTOM | Metal | Signal | 1.6 | <Auto> | 4 | 48.7 | 227.476 |
| 21 | | | | | Dielectric | Solder Mask | 0.7 | 3.3 | | | 0.173 |

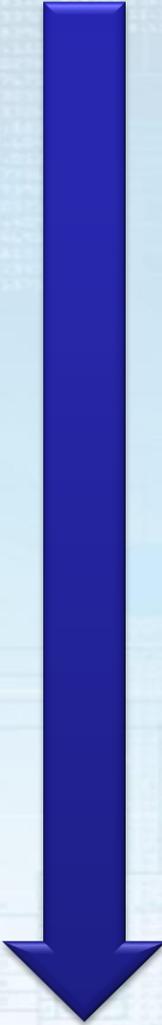
Draw proportionally Total thickness: 78.8 mils
 Use layer colors

No errors in stackup.

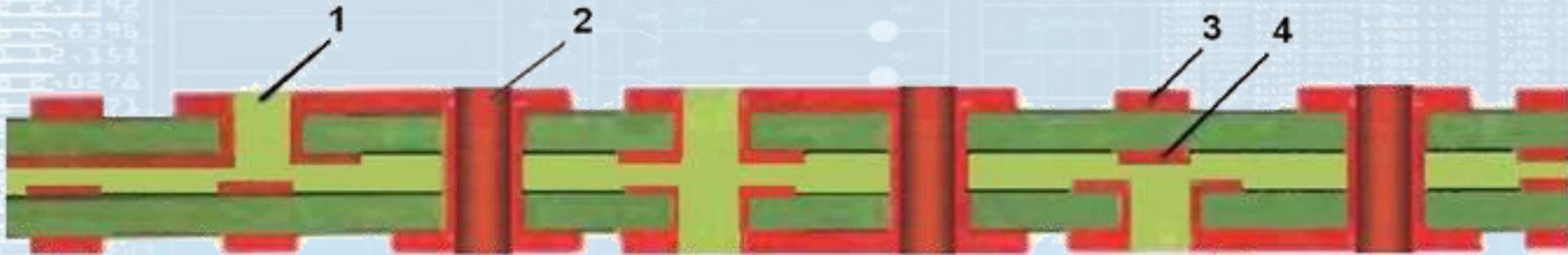
Measurement units: English

Основные методы изготовления ПП по возрастанию плотности печатного монтажа

1. Односторонние ПП
2. Двухсторонние ПП позитивным методом
3. Двухсторонние ПП полуаддитивным методом
4. МПП методом попарного прессования
5. МПП методом послойного наращивания
6. МПП комбинацией методов:
 - металлизации сквозных отверстий,
 - послойного наращивания



Метод попарного прессования



1 — переходное металлизированное отверстие между наружным и внутренним слоем;

2 — сквозное металлизированное отверстие;

3 — проводник наружного слоя;

4 — проводник внутреннего слоя

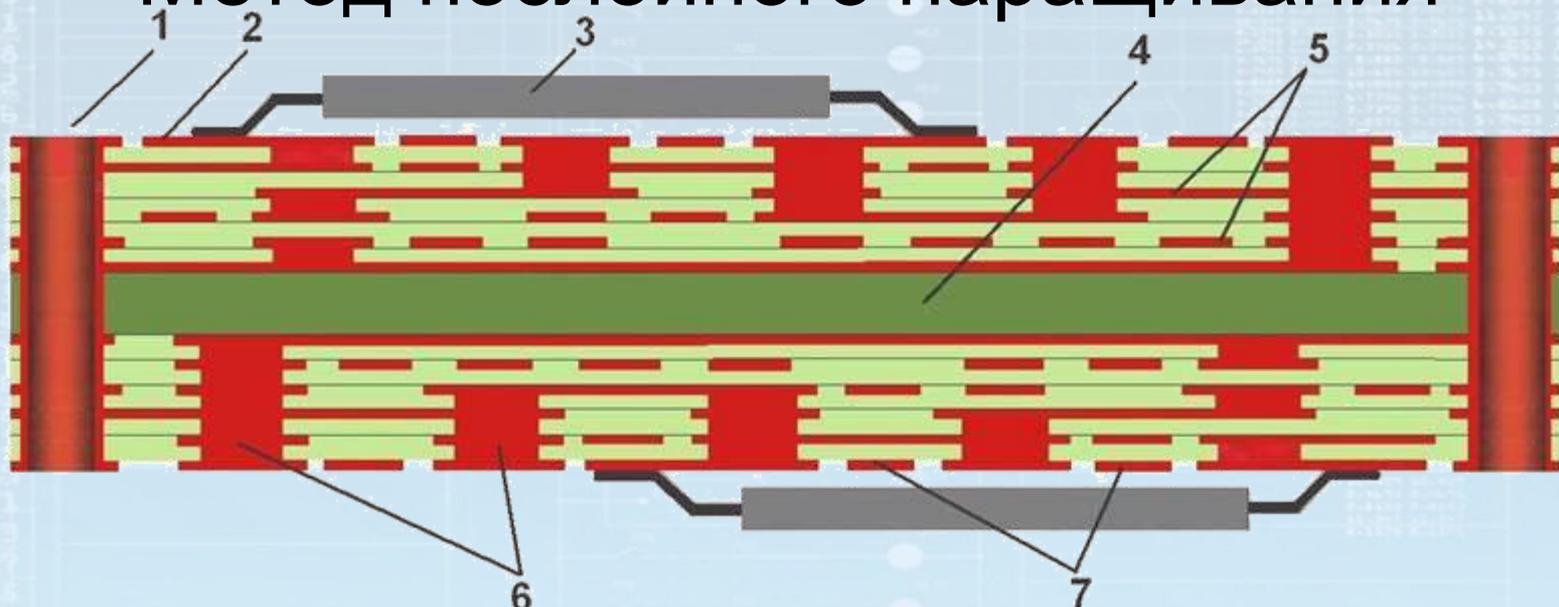
ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Простота реализации

НЕДОСТАТКИ:

- До 4х слоев

Метод послойного наращивания



- 1 — сквозное переходное металлизированное отверстие между наружными слоями;
2 — монтажная контактная площадка;
3 — компонент с планарными выводами;
4 — основа (ядро МПП);
5 — проводники внутренних слоев;
6 — межслойные переходы(металлизированные столбики);
7 — проводники внешних слоев

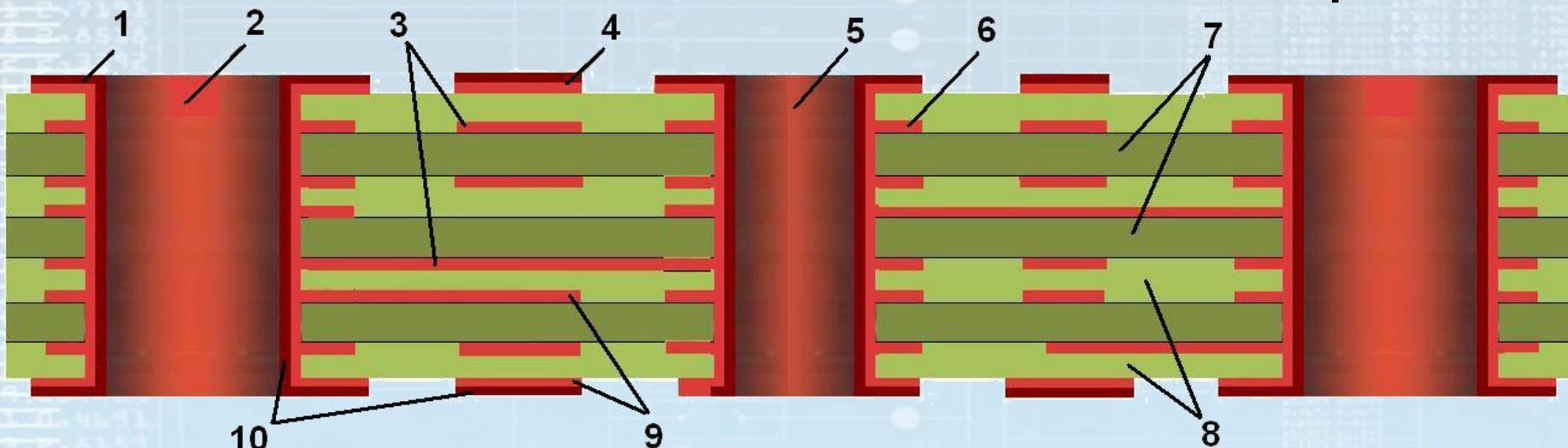
ПРЕИМУЩЕСТВА:

- Высокая плотность монтажа
- Для высоконадежной аппаратуры

НЕДОСТАТКИ:

- До 5и слоев
- Длительный технологич. цикл

Метод металлизации сквозных отверстий



Структура МПП, изготовленной методом металлизации сквозных отверстий:

1. контактная площадка внешнего слоя;
2. сквозное монтажное металлизированное отверстие;
3. проводник внутреннего слоя;
4. проводник внешнего слоя;
5. сквозное переходное металлизированное отверстие;
6. контактная площадка внутреннего слоя.

ПРЕИМУЩЕСТВА:

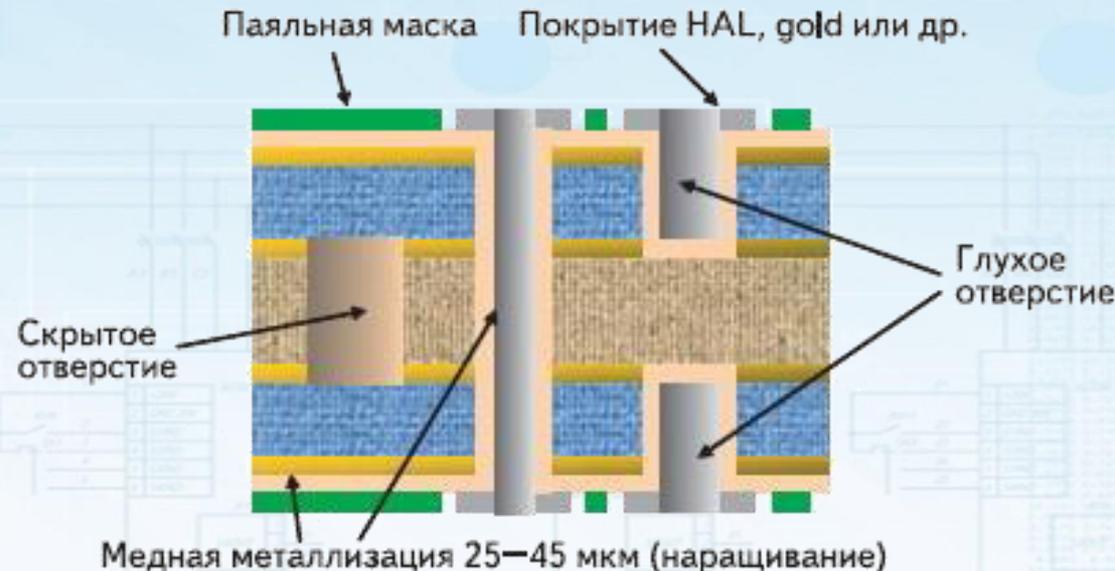
- Высокая технологичность
- Высокая плотность монтажа

НЕДОСТАТКИ:

- относительно механически слабая связь металлизации отверстий с торцами контактных площадок

Глухие и скрытые отверстия

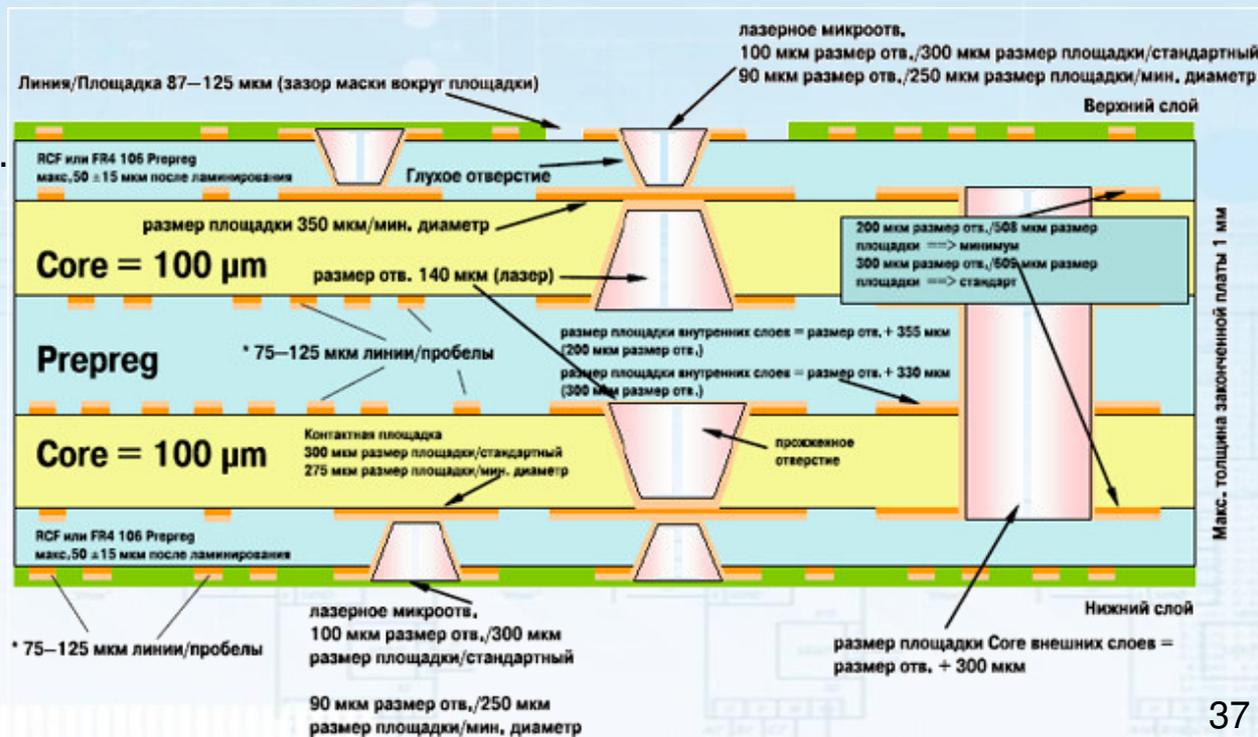
- «Глухое» (blind, «слепое») отверстие - переход, связывающий внешний слой с ближайшими внутренними слоями и не имеющий выхода на противоположный внешний слой.
- «Скрытое» (buried, «погребенное») отверстие – переход, выполненный во внутренних слоях и не имеющий выхода наружу.



High Density Interconnect (HDI)

Микропереходные отверстия (Micro via)

- В проектах всё чаще применяются микросхемы в BGA корпусах с шагом выводов от 0,8 мм и менее, что требует применения технологии повышенной плотности межсоединений (HDI) для вывода сигналов на внутренние слои от площадок BGA с помощью фэнаутов.
- Основной способ изготовления микропереходных отверстий (150 мкм)
 - Сверловка УФ лазером.
 - Сверловка лазером CO₂.
 - Плазменное травление.
- Отверстия:
 - Сквозное
 - Глухое
 - Скрытое

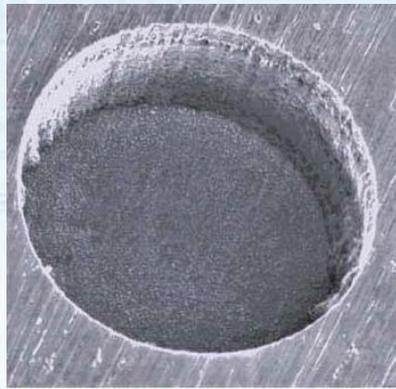


HDI

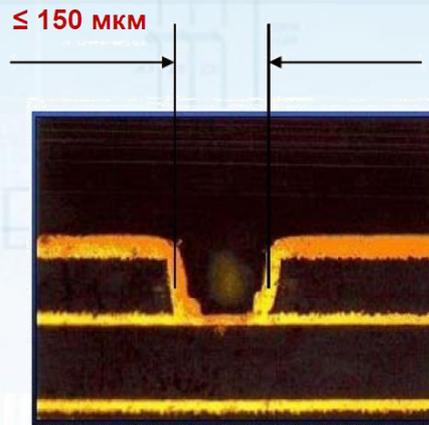
- Низкая стоимость (уменьшение слоев до 30%, размеров до 40%)
- Улучшение характеристик (ПП тоньше, меньше, растет плотность проводников)
- Возможность применения передовых корпусов
- Повышенная надежность
- Быстрая разработка



Лазер CO2



УФ ИАГ-лазер



Стандарты

- **ГОСТ23752-79, ГОСТ23751-86**
Отечественные стандарты по проектированию и контролю качества печатных плат.
- **IPC-A-600G**
Методика контроля качества печатных плат.
Типичные дефекты печатных плат и рекомендации, какие дефекты можно считать приемлемыми для каких классов продукции.
- **IPC-A-610E**
Методика контроля качества паяных соединений.
Типичные дефекты монтажа, и рекомендации о том, какие дефекты можно считать приемлемыми для каких классов продукции.
- **IPC-TM-650**
Методы контроля
- **IPC-9701A**
Методы испытаний для определения характеристик паяных соединений и требования к проведению испытаний
- **IPC-SM-785**
Руководящие указания по ускоренным методам испытаний на надежность паяных соединений технологии поверхностного монтажа