

Лекции по курсу

Технология производства  
радиоэлектронных средств

# ВВЕДЕНИЕ

**Технология** – прикладная наука, изучающая основные операции и закономерности, действующие в процессе производства, необходимые для:

- получения изделий требуемого качества;
- заданного количества;
- номенклатуры, при минимальных материальных, энергетических и трудовых затратах

Организация производства РЭА определяется технологией производства

# Л.1 Организация производства радиоэлектронной аппаратуры

*Современное предприятие* – это система управления производством, основанная на использовании:

- экономико-математических методов,
- теории информации,
- системно - комплексного подхода,
- организационной и электронно-вычислительной техники.

С производственно-хозяйственной точки зрения предприятие -

относительно **обособленное образование.**

Предприятие имеет:

- социальное,
- производственно-техническое,
- организационно-административное единство,
- финансово-экономическая самостоятельность.

**Социальное единство** предполагает формирование коллектива работников, состоящего из различных групп всех специальностей, необходимых для производства определенной продукции

***Производственно-техническое единство***

предусматривает соответствие основных фондов предприятия (оборудования и площадей) характеру определенной деятельности.

***Организационно-административное единство***

предполагает наличие единого управленческого аппарата и наличия единой для предприятия системы документооборота.

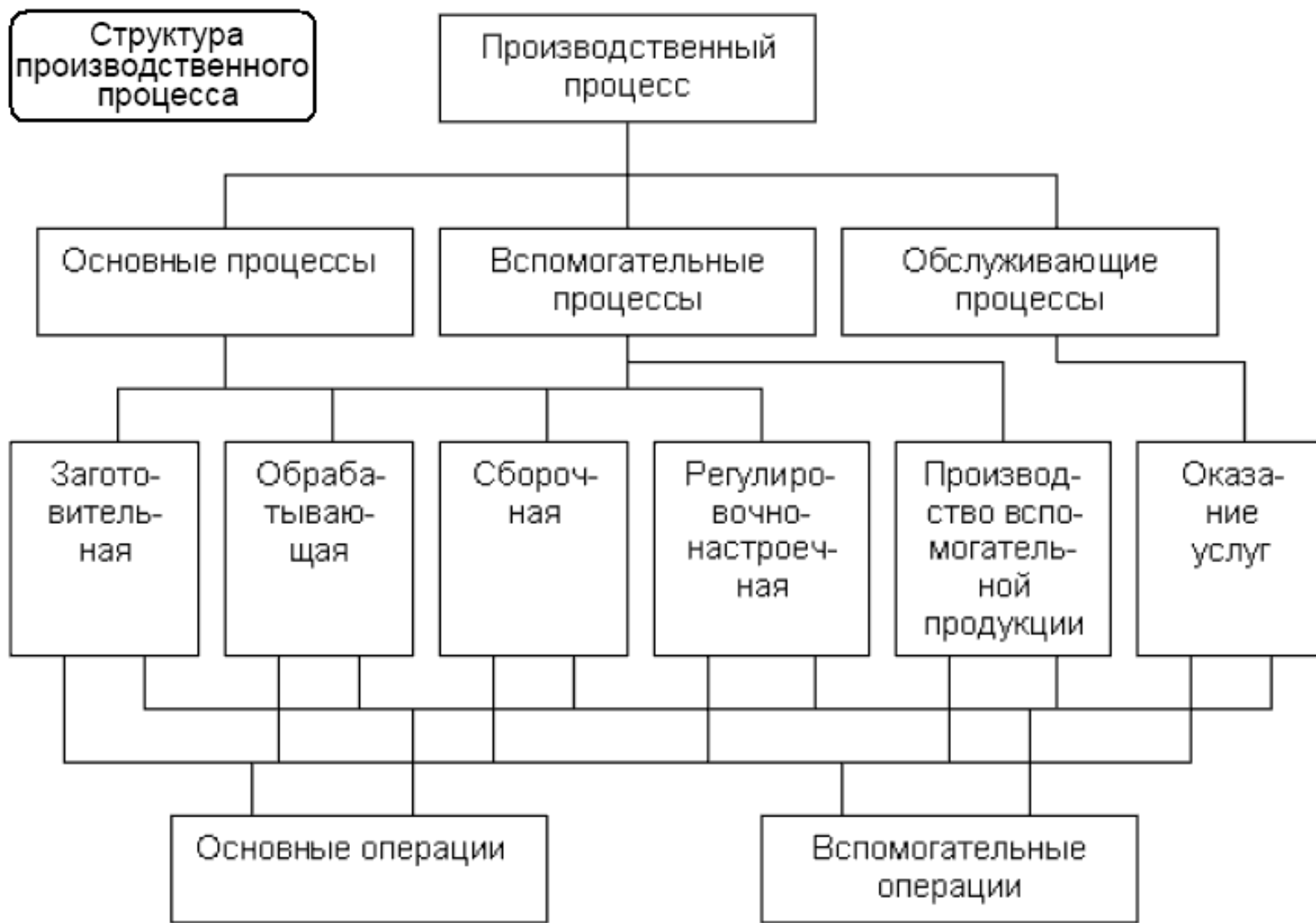
***Финансово-экономическая самостоятельность*** означает единство материальной базы предприятия в виде имущества и финансов и рентабельность работы.

# Лекция 1            ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС

- ПП - совокупность взаимосвязанных основных, вспомогательных и обслуживающих процессов в целях создания определенной продукции
- Структура ПП представлена на рис 1

ПП включает:

- **Основные производственные процессы** – в ходе которых происходит непосредственное изменение форм, размеров, свойств, внутренней структуры предметов труда и превращение их в готовую продукцию.
- **Вспомогательные производственные процессы** - результаты которых используются либо непосредственно в основных процессах, либо обеспечивают их бесперебойное и эффективное протекание (подготовка инструментов и оснастки, производство всех видов энергии, сжатого воздуха, и т. д.).



**Рис 1 Структура ПП**

# Лекция 1 продолжение

- **Обслуживающие производственные процессы** – это процессы труда по оказанию услуг, необходимых для осуществления основных и вспомогательных производственных процессов (складские и транспортные операции, контроль качества продукции и др.).

Производственные процессы (ПП) протекают в разных стадиях (фазах).

**Стадия** – это обособленная часть ПП, когда предмет труда переходит в другое качественное состояние (материал в заготовку, заготовка – в деталь и т. д.).

**Основные производственные процессы протекают:**

- в заготовительной,
- обрабатывающей,
- сборочной, (сборочно-монтажная) - Результат сборочные единицы - узлы, блоки)
- регулировочно-настроечной стадиях...

Различают две организационные формы сборки:  
стационарную и подвижную:

- **При стационарной сборке** изделие изготавливается на одном рабочем месте.
- **При подвижной сборке** изделие создается в процессе его перемещения от одного рабочего места к другому.
- **Заключительная регулировочно-настроечная** цель получение необходимых технических параметров готового изделия.
- В качестве орудий труда - контрольно-измерительная аппаратура и специальные стенды для испытаний на заключительной стадии.
- Составными элементами стадий основного и вспомогательного процессов являются ***технологические операции (ТО)***.



**Технологические операции (ТО)**- составные элементы стадий основного и вспомогательного процессов

**Операция** – часть ПП, которая выполняется на одном рабочем месте без переналадки оборудования одним или несколькими работниками.

Технологические операции состоят из :

- **установов** (часть **ТО** при неизменном закреплении детали или узла)
- **переходов.**

**Технологический переход** – законченная часть **ТО**, с постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

**Вспомогательный переход** не сопровождается изменением формы или состояния заготовки, но необходим для выполнения технологического перехода (установка заготовки, ее закрепление и т.д.).

**Рабочий ход** – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки и сопровождающееся изменением свойств или формы заготовки.

**Вспомогательный ход** (холостой ход) – законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента, относительно заготовки, не сопровождается изменением свойств или формы заготовки.

В зависимости от степени технического оснащения производственного процесса различают:

- **ручные операции,**
- **автоматизированные**
- **автоматические.**

**Организация производства** -обеспечивает движение предметов труда в ПП таким образом, что результат труда одного рабочего места становится исходным предметом для другого.

Рациональная связь между основными, вспомогательными и обслуживающими процессами, между рабочими местами в целом по предприятию во многом определяет:

- результаты его производственно-хозяйственной деятельности,
- экономические показатели его работы,
- себестоимость продукции,
- рентабельность производства

При всем многообразии ПП их организация подчиняется некоторым общим принципам.

## **Принципы организации производственных процессов:**

- принцип дифференциации
- концентрации,
- интеграции,
- принцип пропорциональности,
- принцип прямоочности,
- принцип непрерывности,
- принцип автоматичности,
- принцип стандартизации

***Принцип дифференциации*** -т разделение ПП на отдельные технологические процессы (ТП), которые в свою очередь подразделяются на:

- операции,
- переходы,
- приемы.

- Достоинство **дифференциации** - выделение непродолжительных по времени выполнения операций упрощение организации и технологическое оснащения производства, увеличение производительности труда.
- Недостаток - чрезмерная дифференциация приводит к излишним затратам на перемещение предметов труда между рабочими местами, установку, закрепление и снятие их с рабочих мест после окончания операций.
- **Принцип концентрации** предполагает выполнение нескольких операций на одном рабочем месте (универсальное многоцелевое сборочное оборудование).
- **Принцип интеграции** заключается в объединении основных вспомогательных и обслуживающих процессов
- **Принцип пропорциональности** предполагает равную пропускную способность всех производственных подразделений.
- **Принцип прямоточности** организация ПП, с обеспечением кратчайших путей прохождения деталей и сборочных единиц по всем стадиям и операциям (поточная линия).

**Принцип автоматичности** - максимальное выполнение операций ПП автоматически, под наблюдением и контролем оператора.

Автоматизация процессов приводит:

- к увеличению объемов выпуска изделий,
- к повышению качества работ,
- к исключению ручного труда на работах с вредными условиями.

Особенно важна автоматизация обслуживающих процессов. Общий уровень автоматизации процессов производства определяется долей автоматизированных работ в основном, вспомогательном и обслуживающем производствах.

**Принцип стандартизации** - широкое использование при создании и освоении новой техники и новой технологии:

- стандартизации,
- унификации,
- типизации и нормализации,
- позволяет избежать многообразия в материалах, оборудовании, ТП,
- резко сокращает продолжительность цикла создания и освоения новой техники.

# Производственный цикл изготовления изделий.

**Производственный цикл** - совокупность процессов, обеспечивающих изготовление изделия.

**Основные характеристики** - продолжительность и структура. Продолжительность производственного цикла изготовления продукции – это календарный период времени, в течение которого материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия превращаются в готовую продукцию.

Продолжительность производственного цикла выражается в календарных днях.

Знание продолжительности производственного цикла необходимо для:

- составления производственной программы предприятия и его подразделений,
- определения сроков начала производственного процесса (запуска) по данным сроков его окончания (выпуска),
- расчетов нормальной величины незавершенного производства

**Продолжительность производственного цикла** зависит от времени трудовых и естественных процессов, а также от времени перерывов в производственном процессе (рис .2).



Рис.2



В течение трудовых процессов выполняются **технологические и нетехнологические операции**.

**Технологические операции (ТО)** -, в результате которых изменяются внешний вид и внутреннее содержание предметов труда, а также подготовительно - заключительные работы.

Их продолжительность зависит от типа производства, его технической оснащенности, прогрессивности технологии, приемов и методов труда и других факторов.

Время выполнения ТО в производственном цикле составляет **технологический цикл (Тц)**.

**Операционный цикл (Топ)** - время выполнения одной операции, в течение которого изготавливается одна деталь, партия одинаковых деталей или несколько различных деталей, называется

**Нетехнологические операции:** транспортировка предметов труда и контроль качества продукции.

**Естественные процессы,** связаны:

- с охлаждением деталей после термообработки,
- с сушкой после окраски деталей или других видов покрытия и со старением металла.

Перерывы подразделяются на :

- межоперационные (внутрицикловые),
- межцеховые,
- Междусменные

**Межоперационные перерывы** обусловлены временем партионности и ожидания и зависят от характера обработки партии деталей на операциях.

**Межцеховые перерывы** обусловлены тем, что сроки окончания производства составных частей деталей сборочных единиц в разных цехах различны и детали пролеживают в ожидании комплектности.

**Междусменные перерывы** обусловлены режимом работы предприятия и его подразделений. К ним относятся выходные и праздничные дни, перерывы между сменами и обеденные перерывы.

**Структура и продолжительность производственного цикла** зависят от типа производства и уровня организации производственного процесса.

Для изделий РЭА характерна высокая доля **ТО** в общей продолжительности производственного цикла.

## Производственная структура предприятия

**Структура ПП** на любом предприятии радиоэлектронного приборостроения включает основные, вспомогательные и побочные цехи и обслуживающие хозяйства.

**Цех** – подразделение предприятия, состоящее из производственных и вспомогательных участков.

**Цех** выполняет определенные производственные функции, является основной структурной единицей.

• Часть мелких и средних предприятий может быть построена по бесцеховой структуре, с делением на производственные участки.

К цехам основного производства относятся цехи, изготавливающие основную продукцию предприятия:

- заготовительные (литейные, кузнечно-прессовые и др.),
- обрабатывающие (механической обработки деталей, холодной штамповки, термические, гальванические, и др.),
- сборочные (узловой и генеральной сборки, монтажные, регулировочно-настроечные и др.).

**К вспомогательным** относятся цехи обслуживания основных цехов: оснащают их инструментом и приспособлениями, обеспечивают запасными частями для ремонта оборудования и проводят плановые ремонты, обеспечивают энергетическими ресурсами.

Важнейшие вспомогательные:

- инструментальные,
- ремонтно-механические,
- ремонтно - строительные, и др.

**Формы специализации цехов** предприятий радиоэлектронного приборостроения зависят от стадий производства, а именно:

- заготовительной,
- обрабатывающей,
- сборочной.

Соответственно **специализация** принимает следующие формы: *технологическую, предметную или предметно-технологическую.*

**При технологической форме** в цехах выполняется определенная часть ТП из однотипных операций при широкой номенклатуре обрабатываемых деталей. Примером цехов технологической специализации являются:

- гальванические,
- механообрабатывающие,
- сборочные.

**Предметная форма** специализации цехов характерна для заводов узкой предметной специализации. В цехах полностью изготавливаются закрепленные за ними детали или изделия узкой номенклатуры, например одно изделие, несколько однородных изделий или конструктивно - технологически однородных деталей.

• **Технологическая и предметная формы** специализации в чистом виде используются довольно редко. Чаще всего на предприятиях радиоэлектронного приборостроения применяют смешанную (предметно-технологическую) специализацию, при которой заготовительные цехи строятся по технологической форме, а обрабатывающие и сборочные цехи объединяются в предметно-замкнутые цехи или участки.

## **Основные понятия технологии производства аппаратуры]** ***Технологические особенности радиоэлектронной аппаратуры.***

- РЭА представляет собой совокупность элементов, объединённых в сборочные единицы и устройства.
- Предназначены для преобразования и обработки электромагнитных сигналов в диапазоне от инфранизких до сверхвысоких (СВЧ) частот.
- В настоящее время основными направлениями развития РЭА, позволяющими решать задачи уменьшения габаритов и массы аппаратуры, повышения её надёжности и технологичности, являются:
  - микроминиатюризация аппаратуры,
  - повышение степени интеграции,
  - комплексный подход к разработке, конструированию и технологии производства РЭА.

**Повышение степени интеграции**, определяемой числом элементов, приходящихся на единицу площади подложки ИС или размещённых в одном кристалле, изменяет состав и структуру конструктивных уровней компоновки РЭА:

- увеличивается сложность элементной базы (модулей первого уровня),
- уменьшается число уровней,
- снижается сложность конструкции
- снижаются габаритные размеры устройств.

Относительная трудоёмкость производства сборочных единиц РЭА может быть представлена в таком соотношении (%):

механическая обработка - 8...15,  
сборка - 15...20,  
электрический монтаж - 40...60,  
наладка - 20...25% .

**Основными технологическими задачами производства РЭА** являются:

- разработка ИС на уровне ячеек и сборочных единиц РЭА с высокой степенью интеграции и совершенствование технологии их изготовления;

**Основными технологическими задачами** производства РЭА являются:

- разработка ИС на уровне ячеек и сборочных единиц РЭА с высокой степенью интеграции и совершенствование технологии их изготовления;
- повышение плотности компоновки навесных элементов на печатных платах (ПП) и плотности печатного монтажа;
- совершенствование методов электрического соединения модулей первого, второго, и третьего уровней;
- механизация и автоматизация сборки и электрического монтажа модулей второго, третьего и четвёртого уровней;
- развитие автоматизированных и автоматических методов, а также средств наладки и регулировки аппаратуры сложных изделий;
- автоматизация операций контроля функциональных параметров;
- создание гибких комплексно-автоматизированных производств, функционирующих совместно с системами автоматизированного проектирования.



## Л.2 Основные понятия

Применительно к РЭА под изделием понимается как сама РЭА, так составляющие ее элементы и детали.

**Деталь** - изделие, изготовленное из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций, например ось, клемма, рама и т. д.

**Сборочная единица** представляет изделие, составные части которого подлежат соединению на предприятии изготовителе, сборочными операциями (свинчивание, сварка, пайка, склеивание), например:

- ячейка, ТЭЗ,
- разъем,
- блок и т. д.

**Комплекс** - два или более изделия, несоединенных на предприятии-изготовителе сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций. Каждое изделие в комплексе имеет свое назначение, например:

- измерительный комплекс,
- вычислительный комплекс, и т. д.

**Комплект** - два или более изделия, несоединенные на предприятии-изготовителе сборочными операциями и представляющие набор изделий, имеющих общее эксплуатационное назначение вспомогательного характера, например:

- ремонтный комплект,
- комплект запасных частей и т. д.

Изделие, имеющее две или более детали, соединенные разъемным или неразъемным соединением, называют узлом.

**Технологический процесс** (техпроцесс) - часть производственного процесса, непосредственно связанная с последовательным изменением состояния предмета труда с превращением его в готовую продукцию. Технологические процессы строят по отдельным методам их выполнения (процессы литья, механической и термической обработки, покрытий, сборки, монтажа и контроля РЭА) и разделяют на операции.

**Технологическая операция (ТО)** является основной единицей производственного планирования и учёта.

На основе операций оценивается трудоёмкость изготовления изделий, устанавливаются нормы времени и расценки, определяется требуемое количество рабочих, оборудования, ведётся планирование производства и контроль качества работ. Технологические операции, в свою очередь, делят на установки, позиции, переходы, приёмы.

**Установ** или установка - часть технологической операции, выполняемая при неизменном закреплении обрабатываемой заготовки (заготовок) или собираемой сборочной единицы.

**Технологический переход** (переход) - законченная часть технологической операции, характеризуемая постоянством применяемого инструмента и поверхностей, образуемых обработкой или соединяемых при сборке.

**Вспомогательный переход** - законченная часть технологической операции, которая не сопровождается изменением формы или состояния заготовки, но необходима для выполнения технологического перехода. Например, установка заготовки, ее закрепление и т. д.

**Проход** - часть перехода, заключающаяся в снятии одного слоя материала с обрабатываемой поверхности.

**Рабочий ход** - законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки

**Вспомогательный ход** - законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки без изменения формы, размеров, шероховатости или свойств заготовки.

**Холостой ход** - то же, что и вспомогательный ход для станков-автоматов.

**Позиция** - каждое новое положение заготовки относительно инструментов при неизменном ее закреплении в приспособлении. Например, поворотное многопозиционное приспособление.

**Прием** - это законченная совокупность действий человека в процессе выполнения работы или подготовки к ней, объединённых одним целевым назначением (пуск станка, выключение и т. п.).

**Рабочее место** - часть производственной площади, оснащенной основным технологическим и вспомогательным оборудованием и средствами, закрепленными для выполнения операции.

**Такт выпуска** - интервал времени, через который производится выпуск изделий. Например, 1 компьютер через 10 мин.

**Ритм выпуска** (производительность) - обратная величина такта - количество изделий в единицу времени.

### **Типы производства**

**Единичное производство** характеризуется широтой номенклатуры и единичным или малым объёмом выпуска изделий.

**Серийное производство** характеризуется ограниченной номенклатурой изделий, изготавливаемых периодически повторяющимися партиями

Различают мелко-, средне- и крупносерийное производство. Выпуск партий еженедельный, ежемесячный или ежеквартальный.

Объём выпуска изделий серийного типа колеблется от десятков и сотен до тысяч единиц.

**Массовое производство** характеризуется узкой номенклатурой и большим объёмом выпуска изделий, непрерывно изготавливаемых в течение длительного периода времени.

**Коэффициент закрепления** операций массового производства равен 1, т.е. на каждом рабочем месте закрепляется выполнение одной постоянно повторяющейся операции, требующей использования рабочих невысокой квалификации. При этом используется специальное высокопроизводительное оборудование,

### **Технологические процессы в производстве РЭА**

- Производство печатных плат (ПП) основано на химическом, аддитивном, электрохимическом и комбинированном методах изготовления.
- Производство сборочных единиц и модулей РЭА основано на сборке и электрическом монтаже.
- Создание гибридных тонкоплёночных ИС основанное на ТП термического и вакуумного напыления и распыления материалов с помощью ионной бомбардировки.
- Производство толстоплёночных ИС основанное на нанесении элементов способом сеткографической печати.

## Виды технологических процессов.

ТП в зависимости от их разработки, типизации, наличия оборудования и объема выпуска изделий классифицируют на следующие виды:

- проектный (начальная стадия, много вариантов);
- рабочий (конкретный, для работы);
- единичный (ТП только на данное изделие, как правило, массовое производство);
- типовой (на конструктивно подобные изделия, например, на изготовление печатных плат);
- групповой (на технологически подобные изделия для мелкосерийного, многономенклатурного производства);
- стандартный (обязательный к применению в отрасли, государстве. Например, стандартные методики испытания электронно-вычислительной аппаратуры);
- перспективный (для вновь разрабатываемых производств или модернизации старых предприятий);
- маршрутный;
- операционный;
- маршрутно-операционный.

## ЛЕКЦИИ-3

# ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

- Технологические операции изготовления подразделяются на:
- механические;
- формирование токопроводящих элементов печатных плат
- **Механические операции включают:**
- Механическую обработку печатных плат;
- Подготовительные операции.
- **Формирование токопроводящих элементов печатных плат включают:**
- Технологию металлизации;
- Активацию поверхностей диэлектриков.
- Гальваническую металлизацию;
- Формирование рисунка печатных плат;
- Травление меди с пробельных мест;
- Особенности изготовления многослойных печатных плат;
- Покрытия и маски для наружных слоев печатных плат;
- Контроль и испытания плат



# Продолжение

## **Характеристика технологий изготовления печатных плат включает:**

- Методы изготовления печатных плат;
- Технологическую оснастку изготовления печатных плат

### **Методы изготовления печатных плат подразделяются на**

- Субтрактивные методы.
- Аддитивные методы.
- Отличаются:
- Методами нанесения рисунка ПП.
- Пленочными технологиями изготовления ПП
- Конструкционными материалами печатных плат

### **Технологическая оснастка изготовления печатных плат включает:**

- Изготовление фотошаблонов.
- Сетчатые трафареты.
- Печатные формы.

## Продолжение

- **Компоненты для установки на печатных платах подразделяются на:**
- Пассивные компоненты для поверхностного монтажа.
- Интегральные компоненты.
- Нестандартные и выводные компоненты.
- **Сборка модулей на печатных платах включает:**
- Установку компонентов на ПП.
- Полуавтоматическую сборку.
- Автоматическая сборка.
- Способы позиционирования.
- Системы подачи компонентов.
- Производительность автоматов-укладчиков.

## Продолжение **ВИДЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И СХЕМЫ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПРОИЗВОДСТВА**

- В соответствии с ГОСТом различают следующие типы ПП: односторонние, двусторонние, многослойные и гибкие ПП.

### **Основными достоинствами печатных плат являются:**

- Увеличение плотности монтажа и возможность микроминиатюризации изделий.
- Гарантированная стабильность электрических характеристик.
- Повышенная стойкость к климатическим и механическим воздействиям.
- Унификация и стандартизация конструктивных изделий.
- Возможность комплексной автоматизации монтажно-сборочных работ.

Продолжение

## МАТЕРИАЛЫ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

- В производстве ПП используются основания из композиционных материалов, состоящих из армирующих компонентов и связующего материала.
- Армирующие компоненты применяются для того, чтобы:
  - - придать основаниям жесткость и прочность;
  - - увеличить нагревостойкость и прочность при воздействии температуры пайки;
  - - выровнять температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) металлов и материала ПП
- При изготовлении листовых композиционных материалов армирующие ткани пропитываются смолой и полимеризуются в прессах.
- При отверждении композита полимеры (связующий материал) усаживаются (до 20%)
- Только **эпоксидная смола** обладает уникально низкой усадкой (до 3%) и отличной склеивающей способностью.

## Продолжение

- Компоненты крепятся из разнородных материалов.
- большая проблема - согласование температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) материала платы (диэлектрика) и компонентов.
- Чаще всего эта задача является неразрешимой

**Таблица 1 ТКЛР материалов, применяемых в РЭА**

<b>Материал</b>	<b>ТКЛР, <math>10^{-6}</math> град<sup>-1</sup></b>
<b>FR-4</b>	<b>14-5-18</b>
<b>Полиимид</b>	<b>45</b>
<b>Полиамидное стекловолокно</b>	<b>16</b>
<b>Керамика</b>	<b>6</b>

Параметры ТП сборки узлов должны учитывать эту проблему, чтобы максимально уменьшить количество дефектов после различных операций.

## Продолжение

# Типы печатных плат

- Многообразии сфер применения электроники обусловлено совместное существование различных типов печатных плат:
- Односторонние ПП
- Двухсторонние ПП
- Многослойные ПП
- Гибкие ПП
- Рельефные(РПП)
- Высокоплотные односторонние ПП
- Существует несколько конструктивных разновидностей ПП.

### Односторонние ПП

- Обладают невысокой надежностью и механической прочностью крепления навесных компонентов, которые практически висят на пайках.
- В местах присоединения компонентов велика возможность отслоения проводников при перепайках или при механическом воздействии на их выводы.
- При невозможности стопроцентной разводки печатных проводников применяются навесные перемычки.
- Платы этой разновидности применяются почти исключительно в бытовой РЭА.

# Продолжение

## **Двухсторонние ПП**

- Обеспечивают высокую плотность установки компонентов и трассировки.
- Переходы проводников из слоя в слой осуществляются через металлизированные переходные отверстия.
- Допускают как монтаж компонентов на поверхности, в том числе и с двух сторон, так и монтаж компонентов с осевыми и штыревыми выводами в металлизированные монтажные отверстия.
- Самая распространенная разновидность ПП в производстве модулей РЭА.

## **Многослойные ПП (МПП)**

- Обеспечивают очень высокую плотность монтажа компонентов и прокладки трасс печатного монтажа.
- Допускают монтаж всех видов компонентов.

# Продолжение

- **Маршрут изготовления односторонних плат включает:**

- сверление,
- фотолитографию,
- травление медной фольги,
- защиту поверхности и подготовку к пайке,
- разделение заготовок.

**Стоимость односторонних плат составляет 0,1 - 0,2 от стоимости двухсторонних плат, это делает их вполне конкурентными, особенно в сфере бытовой электроники.**

- для современных электронных устройств, даже бытового назначения, односторонние платы часто требуют:
- контурного фрезерования,
- нанесения защитных маскирующих покрытий,
- сборка ведется с посадкой кристаллов непосредственно на плату или поверхностным монтажом.



## продолжение

- Пример такой платы в сборе, используемой в цифровом спидометре - альтиметре горного велосипеда, показан на рис 3.1



**Рис.3.1**

Типовые параметры плат:

- Макс. размеры заготовки - 400 мм x 330 мм
- Минимальный диаметр отверстия - 0,6 мм
- Минимальная ширина проводника - 0,15 мм
- Минимальный зазор - 0,15 мм
- Толщина фольги - 36 мкм

## продолжение

- **Доля двухсторонних плат** в российском производстве в 65 - 75%.

### **Достоинства:**

- относительно малая стоимость
- достаточно высокие возможности
- ТП изготовления двухсторонних плат, как и односторонних, часть более общего процесса изготовления многослойных ПП.
- не требуется применять прессования слоев,
- значительно проще выполняется очистка отверстий после сверления.
- Нередко на проводники двухсторонних плат наносится золотое покрытие (Рис 3.2 слева), а для металлизации отверстий используется серебро (Рис3.2 справа).

### **Типовые параметры двухсторонних плат:**

- Максимальные размеры заготовки - 300x250...500x500 мм
- Минимальный диаметр отверстия - 0.4...0,6 мм
- Минимальная ширина проводника - 0,15 мм
- Минимальный зазор - 0,15 мм
- Толщина фольги - 18..36 мкм
- Толщина платы - 0,4 - 2,0 мм

## продолжение

- Многослойные печатные платы (МПП) составляют две трети мирового производства печатных плат в ценовом исчислении.
- По своей структуре МПП значительно сложнее двухсторонних плат. Они включают дополнительные экранные слои (земля и питание), а также несколько сигнальных слоев. (Рис.3.2)

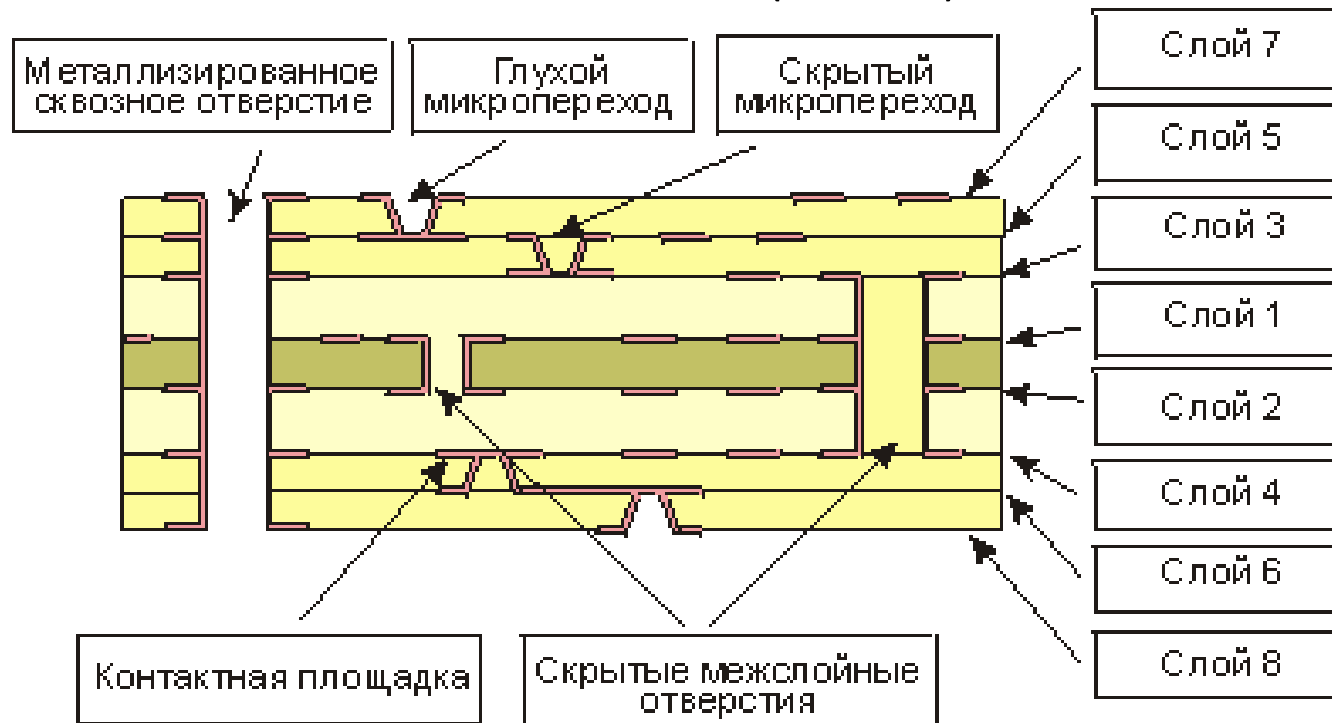
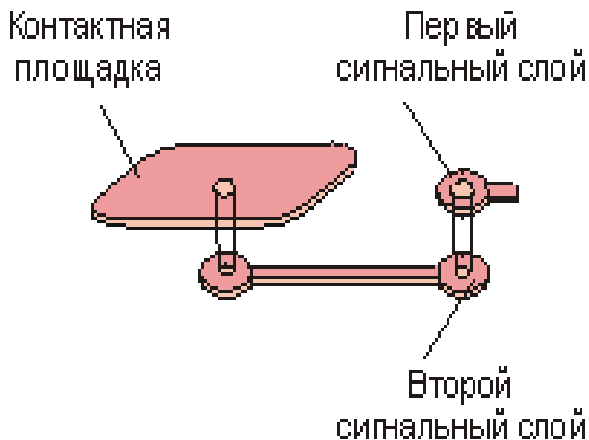


Рис.3.2

## продолжение

- Для обеспечения коммутации между слоями МПП применяются межслойные переходы (vias) и микро-переходы (microvias).
- Межслойные переходы могут выполняться в виде сквозных отверстий, соединяющих внешние слои между собой и с внутренними слоями, применяются также глухие и скрытые переходы
- Глухой переход - это соединительный металлизированный канал, видимый только с верхней или нижней стороны платы.



Микропереходы в контактных площадках

**Рис.3.3**

Скрытые же переходы используются для соединения между собой внутренних слоев платы. Их применение позволяет значительно упростить разводку плат, например, 12-слойную конструкцию МПП можно свести к эквивалентной 8-слойной коммутации. Для поверхностного монтажа специально разработаны микро-переходы, соединяющие между собой контактные площадки и сигнальные слои. Рис.3.3

## продолжение

- Для изготовления МПП производится соединение нескольких ламинированных фольгой диэлектриков между собой, для чего используются склеивающие прокладки - препреги. Поэтому толщина МПП растет непропорционально быстро с ростом числа сигнальных слоев. (Рис.3.4)

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

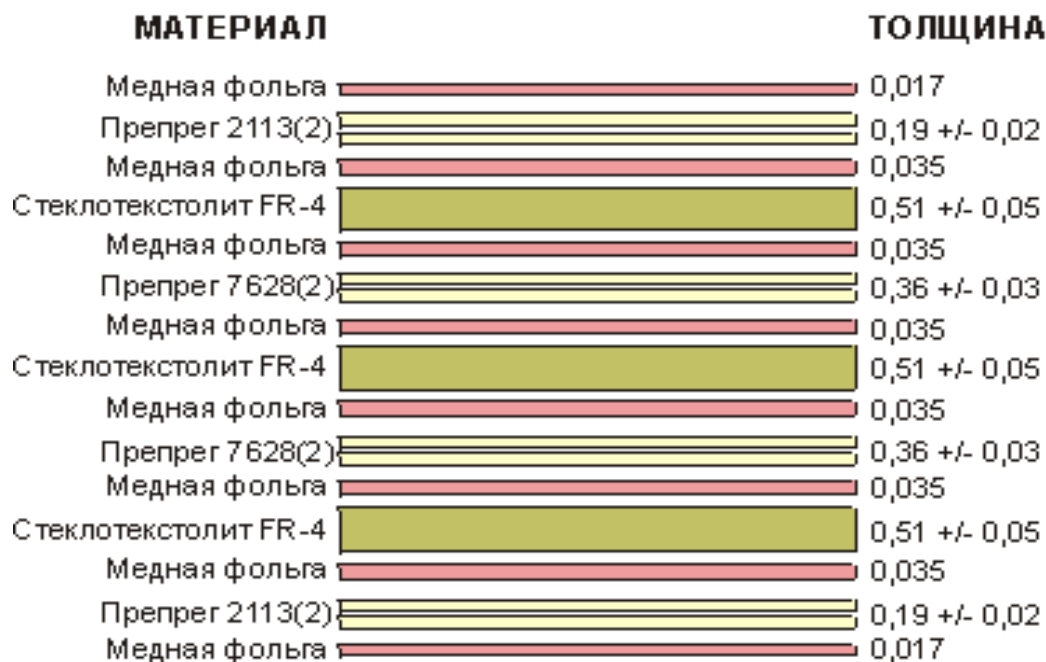


Рис.3.4

## продолжение

- Необходимо учитывать большое соотношение толщины платы к диаметру сквозных отверстий.
- Например, для МПП с диаметром отверстий 0,4 мм и толщиной 4 мм это соотношение равно 10:1. Это жесткий параметр для процесса сквозной металлизации отверстий.
- Учитывая трудности с металлизацией узких сквозных отверстий, изготовители МПП предпочитают достигать высокой плотности монтажа за счет большего числа относительно дешевых слоев, нежели меньшим числом высокоплотных но, соответственно, более дорогих слоев.
- В современных МПП широко применяется поверхностный монтаж всех видов современных интегральных схем, включая, бескорпусных схем, заливаемых компаундом после разварки выводов.
-

## продолжение

- Из множества предложенных в свое время вариантов конструкций в настоящее время практически используются два:
- четырехслойные платы попарного прессования;
- МПП с металлизацией сквозных монтажных и переходных отверстий.

### **Первая разновидность изготавливается по технологии двухсторонних ПП с металлизацией отверстий.**

- Две двухсторонние платы точно совмещаются и склеиваются под прессом через изоляционную прокладку.
- После этого в получившемся пакете сверлятся и металлизуются отверстия для перехода сигнальных цепей с платы на плату и монтажа компонентов со штыревыми выводами.

### **Вторая разновидность выполняется:**

- путем последовательного наращивания слоя на слой, с точным совмещением и склеиванием,
- после чего сверлятся и металлизуются сквозные отверстия для перехода сигнальных цепей со слоя на слой и монтажа штыревых выводов компонентов

# продолжение

## Гибкие печатные платы

- Использование гибких диэлектрических материалов для изготовления ПП дает как разработчику, так и пользователю электронных устройств ряд уникальных возможностей. Это прежде всего - уменьшение размеров и веса конструкции, повышение эффективности сборки, повышение электрических характеристик, теплоотдачи и в целом надежности.
- Если учесть основное свойство таких плат - динамическую гибкость - становится понятным все возрастающий объем применения таких плат в автомобилях, бытовой технике, медицине, в оборонной и аэрокосмической технике, компьютерах, в системах промышленного контроля и бортовых системах.
- Гибкие печатные платы (ГПП) изготавливаются на полиамидной или лавсановой пленке и поэтому могут легко деформироваться даже после формирования проводящего рисунка. Большая часть конструкций гибких ПП аналогична конструкциям печатных плат на жесткой основе.



## продолжение

- **Односторонние ГПП** наиболее распространены в этом классе плат, поскольку проявляют наилучшую динамическую гибкость.
- Контактные площадки таких плат расположены с одной стороны, в качестве материала проводящей фольги чаще всего используется медь (Рис 3.5 а)
- **Односторонние ГПП** с двухсторонним доступом имеют один проводящий слой, контактные площадки к которому выполнены с обеих сторон платы (Рис.3.5б).



Рис.3.5 а



Рис.3.5 б

**Двухсторонние ГПП** имеют два проводящих слоя, которые могут быть соединены сквозными металлизированными переходами

## продолжение

- На рис.3.5 в проводники нижнего слоя идут перпендикулярно проводникам верхнего слоя .
- Платы этого типа обеспечивают высокую плотность монтажа, часто применяются в электронных устройствах с контролируемым полным сопротивлением (импедансом) плат.
- **Многослойные ГПП** содержат не менее трех проводящих слоев, соединенных металлизированными отверстиями, которые обеспечивают межслойное соединение. В таких платах проще реализовывать высокую плотность монтажа, поскольку не требуется обеспечивать большие значения соотношений "высота/диаметр отверстия". Прогнозируется применение таких ГПП для сборки на них многокристальных интегральных схем. (рис.3.5 г)

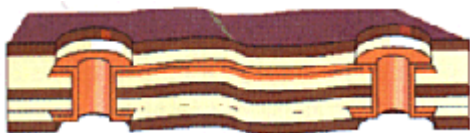


рис.3.5 в



рис.3.5 г

## продолжение

- **Жестко-гибкие ПП** являются гибридными конструкциями и содержат как жесткие, так и гибкие основания, скрепленные между собой в единую сборку и электрически соединенные металлизированными отверстиями. Наиболее распространены в изделиях оборонной техники, в промышленной электронике (Рис.3.6 а.)
- **ГПП с местным ужесточением (укреплением).** В таких платах возможно размещение внутри гибкой основы жестких металлических деталей. Получаются многоэтапным процессом фотолитографии и травления (Рис.3.6 б.)



Рис.3.6 а



Рис.3.6 б

## Продолжение

## КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПП

- Отечественным стандартом ГОСТ 23751-86 предусматривается пять классов точности (плотности рисунка) ПП (см. табл. 2).

Наименование параметра	Условн. обозн.	Размеры элементов проводящего рисунка для классов, мм				
		1	2	3	4	5
Расстояние между проводниками, контактными площадками, металлизированными отверстиями	t	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки данного отверстия	S	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
Отношение минимального диаметра металлизированного отверстия к толщине платы	f	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

## продолжение

- Платы **первого и второго** классов точности не требуют для своего изготовления оборудования с высокими техническими показателями.
- Платы этих классов просты в изготовлении, дешевы, но не отличаются высокими показателями плотности компоновки и трассировки.
- Для изготовления плат высшего, **пятого класса** требуется спец. высокоточное оборудование, дорогие материалы, безупречная пленка для изготовления фотошаблонов, идеальная чистота в производственных помещениях.
- Технологические режимы фотохимических и гальвано-химических процессов также должны поддерживаться с высокой точностью. Большинство отечественных предприятий не располагает такими условиями производства.
- Для изготовления плат **четвертого класса** точности высокоточное оборудование тоже требуется, но требования к его характеристикам ниже, чем для плат пятого класса, поэтому целому ряду производителей удастся массовый выпуск плат этого класса.
- Массовый выпуск плат **третьего класса** освоен основной массой отечественных предприятий, для их изготовления требуется рядовое, хотя и спецоборудование, требования к материалам и технологии не слишком высоки.

## Продолжение      **РАЗМЕРЫ ПП**

- Отечественный стандарт ГОСТ 10317-79 устанавливает следующие требования к размерам ПП:
- предельный размер стороны не более 470 мм (ограничивается размерами гальванических ванн, листа фотопленки и аппаратуры для экспонирования фоторезиста);

### **размеры сторон должны быть кратны:**

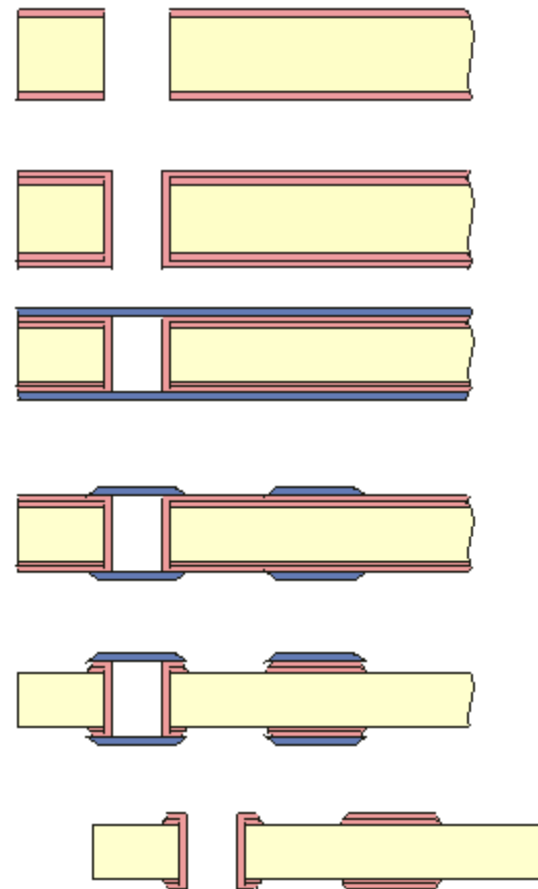
- 2,5 мм при длине стороны не более 100 мм;
- 5,0 мм при длине стороны не более 350 мм;
- 10,0 мм при длине стороны более 350мм;
- соотношение сторон не более 3:1;
- шаг координатной сетки должен составлять 0,5, 1,25 или 2,5мм.
- Последнее требование уже устарело, поскольку появились компоненты с шагом, меньшим 0,5 мм. Кроме того, применяются зарубежные компоненты с шагом в долях дюйма.

# Лекция 3

- Основные технологии изготовления печатных плат
- Субтрактивная технология
- Аддитивная технология
- Тентинг метод
- Комбинированный позитивный метод
- Технология формирования слоев методом ПАФОС
- Метод оконтуривания
- Рельефные платы
- **Субтрактивная технология** предусматривает травление медной фольги на поверхности диэлектрика по защитному изображению в фоторезисте или металлорезисте.
- Эта технология широко применяется при изготовлении односторонних и двусторонних слоев МПП.
- Вариант этого процесса применительно к платам с уже металлизированными отверстиями называется тентинг-процессом и показан на рисунке.

## Продолжение

- сверление отверстий в заготовке
- фольгированного диэлектрика
- металлизация всей поверхности и стенок заготовки
- нанесение пленочного фоторезиста
- получение защитного рисунка в пленочном фоторезисте (экспонирование, проявление)
- травление медной фольги в окнах фоторезиста
- удаление защитного рисунка фоторезиста
- Толщина фоторезиста должна быть не менее 45-50 мкм.
- Диаметр контактной площадки > в 1,4 раза диаметра отверстия





# Комбинированный субтрактивный метод изготовления МПП

- **Материал**

Это заготовка внутреннего слоя многослойной печатной платы. Диэлектрический материал, например текстолит, ламинированный медной фольгой.

Толщина меди обычно составляет от 0,018 мм до 0,07 мм.



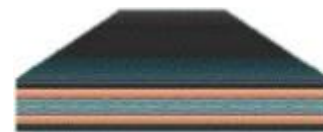
- **Ламинирование фоторезистом**

Следующий этап - нанесение пластичного фоточувствительного материала на заготовку.

Заготовка очищается и приготавливается к нанесению фоторезиста.

Этот этап проходит в чистой комнате с желтым освещением.

Резист светочувствителен (обычно к ультрафиолету) и при долгом не использовании разрушается.



- **Размещение фотошаблона**

На заготовке размещается фотошаблон.

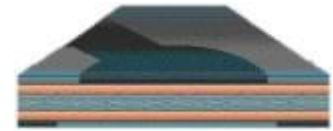
На рис. - только его малая часть. Круг, часть которого изображена, в последствии будет соединением с внутренним слоем



## Продолжение **Комбинированный субтрактивный метод изготовления МПП**

Изображение на фотошаблоне негативное по отношению к будущей схеме. Под темными участками фотошаблона медь не будет удалена.

- **Экспонирование фоторезиста**



Участки поверхности незащищенные фотошаблоном засвечиваются. Фотошаблон снимается. После этого засвеченные участки могут быть удалены химически

- **Обработка резиста**

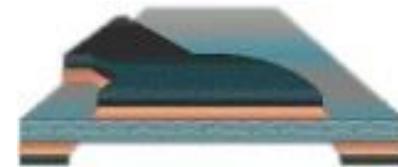


Засвеченные участки резиста удаляются,

оставляя резист только в тех областях, где будут проходить дорожки платы. Назначение резиста - защитить медь под ним от воздействия травителя на следующем этапе.

## продолжение

- **. Травление**



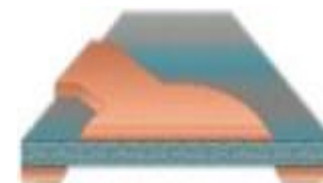
Заготовка травится для удаления ненужной меди.

Резист, оставшийся на поверхности предохраняет медь под ним от травления.

Вся незащищенная медь удаляется, оставляя диэлектрическую подложку.

После травления дорожки схемы созданы и внутренний слой имеет требуемый рисунок.

- **Удаление фоторезиста**



Резист удаляется, открывая не вытравленную медь.

Заготовка - полностью готовый внутренний слой. В примере она будет вторым и третьим слоями будущей платы.

## продолжение

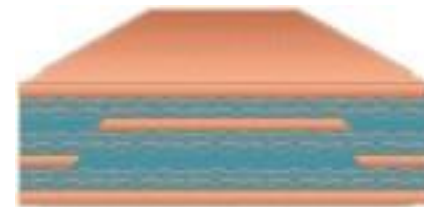
На следующем этапе на нее наносятся верхний (первый) и нижний (четвертый) слои платы.

- **Ламинирование печатной платы**

На этом этапе внутренний слой является центром многослойной платы.

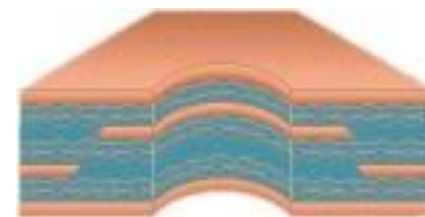
Слои одностороннего текстолита добавляются сверху и снизу внутреннего слоя.

Затем соединенные слои ламинируются под прессом при высокой температуре и давлении. Скрепление происходит путем адгезии текстолита к внутреннему слою.



- **Сверловка**

Плата сверлится там где требуется металлизация отверстий. В нашем примере отверстие просверлено сквозь площадку на втором слое. В то же время пересечения с рисунком третьего слоя нет. Взаиморасположение просверленных отверстий с рисунком слоев существенно.



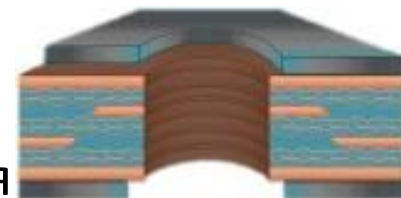
продолжение

- **Осаждение меди**

Этот этап служит для покрытия отверстия тонким слоем металла.

Проблемам в том, что поверхность отверстия

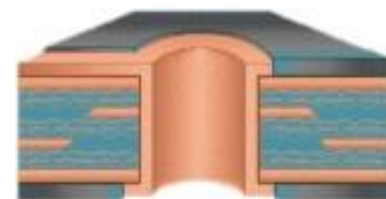
Для металлизации плата помещается в ванну, где плата полностью покрывается тонким слоем меди. Сущность процесса химическая и в результате покрываются как диэлектрические, так и металлические поверхности.



- **Электролитическое нанесение меди**

Медь наносится на поверхность отверстия до толщины 0,25мм.

Медь, осажденная ранее на поверхность отверстия достаточно толстая, чтобы проводить ток, необходимый для электролитического осаждения меди. Это необходимо для надежного электрического соединения сторон и внутренних слоев платы.

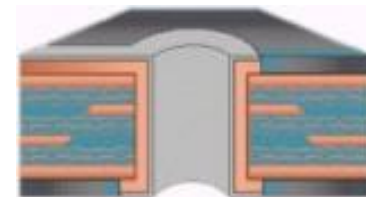


продолжение

- **Оловянно-свинцовое покрытие**

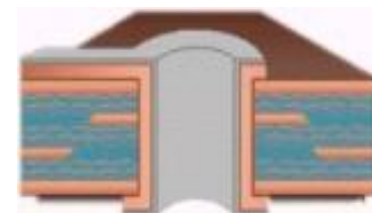
Оловянно-свинцовое электролитическое покрытие выполняет две важные функции.

Во-первых, оловянно-свинцовая смесь выступает резистом для последующего травления. Во вторых, она защищает медь от окисления. Если плата производится не по процессу SMOBC, тогда эта смесь может быть расплавлена в печи для лужения дорожек.



- **Удаление резиста**

Резист удаляется, оставляя оловянно-свинцовую смесь (припой) и нанесенную медь. Медь, покрытая припоем, выдержит процесс травления и образует собой рисунок платы.

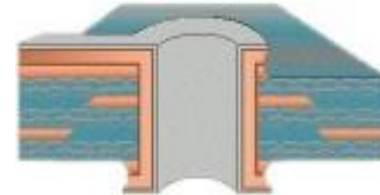


продолжение

- **Травление меди**

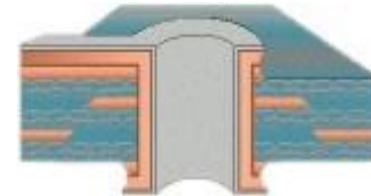
- На этом этапе припой используется как резист для травления.

Незащищенная медь удаляется, оставляя на плате рисунок будущей схемы.



- **Удаление припоя**

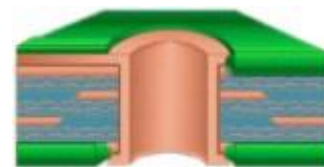
Припой удаляется с поверхности меди и плата очищается. Это начало процесса, называемого SMOBC (solder mask over bare copper - маска поверх необработанной меди). В других процессах, оловянно-свинцовая смесь расплавляется для дальнейшего использования (лужение).



продолжение

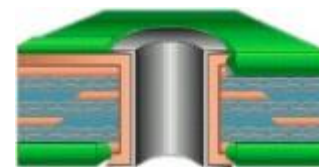
- **Нанесение маски**

- Для защиты поверхности платы, где в дальнейшем не потребуется пайка, наносится маска. Существует несколько типов масок и методов ее нанесения. Фоточувствительная маска наносится тем же способом, что и фоторезист и обеспечивает высокую точность процесса. Шелкографический способ нанесения не обладает такой точностью, но материал маски более пластичен.



- **HAL (Hot Air Leveling - выравнивание горячим воздухом)**

- Припой наплавляется на незащищенную маской медь, сохраняя ее от окисления. В отличие от других процессов, под маской припоя не остается. Плата SMOBC готова для заключительных этапов: нанесения надписей (шелкография), резки, тестирования и упаковки.





## продолжение

- Для защиты поверхности платы, где в дальнейшем не потребуются пайка, наносится маска .
- Существует несколько типов масок и методов ее нанесения.
- Фоточувствительная маска наносится тем же способом, что и фоторезист и обеспечивает высокую точность процесса.
- Нанесение через трафарет не обладает такой точностью, но материал маски более пластичен, и стоимость процесса ниже.

## **Аддитивная технология**

- Комбинированный позитивный процесс с использованием металлорезиста позволяет получить платы с металлизированными переходами и проводниками шириной менее 125 мкм при их толщине до 50 мкм

продолжение

## Структурная схема процесса изготовления МПП комбинированным позитивным методом



## продолжение

- В отличие от предыдущего варианта, фоторезистивную защитную маску получают над теми местами фольги, которые необходимо удалить.
- Затем последовательно осаждают медь (20-40 мкм) и металлорезист (олово-свинец 9-12 мкм) на освобожденные от пленочного резиста участки платы и на стенки отверстий.
- После удаления фоторезиста незащищенные слои меди вытравливаются, после этого металлорезист удаляют.

### **Изготовление МПП методом ПАФОС (полностью аддитивное формирование отдельных слоев)**

- Аддитивные процессы позволяют уменьшить ширину проводников и зазоров до 50-100 мкм при толщине проводников 30-50 мкм.
- Один из перспективных вариантов реализации такого процесса с использованием электрохимического осаждения металлов (ПАФОС) показан на рисунке.

## продолжение

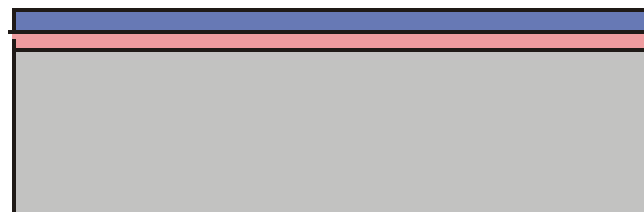
- От субтрактивных процессов этот метод принципиально отличается тем, что металл проводников не вытравливают, а наносят. Проводящий рисунок создается на временных "носителях" - листах из нержавеющей стали, поверхность которых предварительно покрывается гальванически осажденной медной шиной толщиной 2-5 мкм
- На этих листах формируется защитный рельеф пленочного фоторезиста. Проводники получают гальваническим осаждением тонкого слоя никеля (2-3 мкм) и меди (30-50 мкм) во вскрытые в фоторезисте рельефы.
- Затем пленочный фоторезист удаляют и проводящий рисунок на всю толщину впрессовывают в диэлектрик.
- Прессованный слой вместе с медной шиной механически отделяют от поверхности временных носителей.
- В слоях без межслойных переходов медная шина стравливается.

продолжение

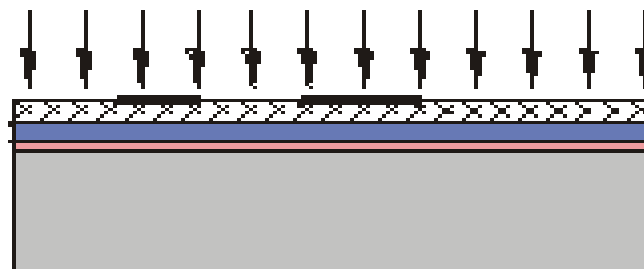
- осаждение меди на поверхность носителя



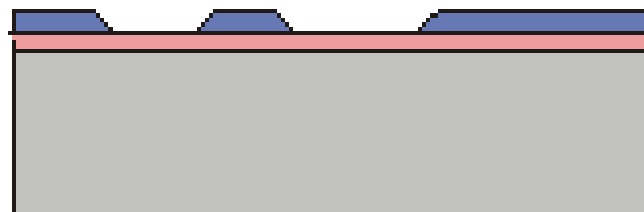
- нанесение фоторезиста



- экспонирование

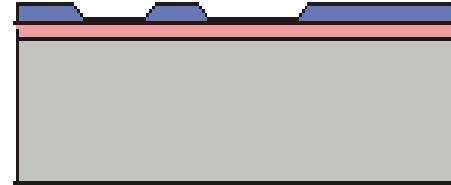


- проявление

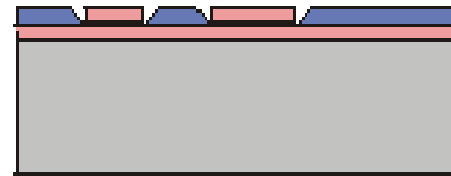


## продолжение

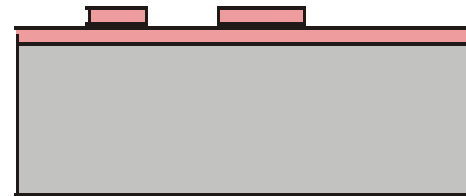
- осаждение никеля



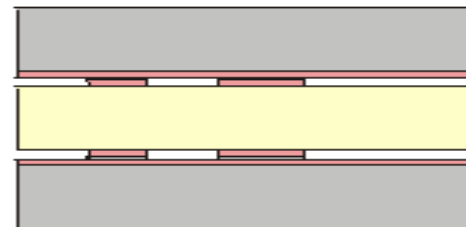
- осаждение меди  
в окна фоторезиста



- снятие фоторезиста

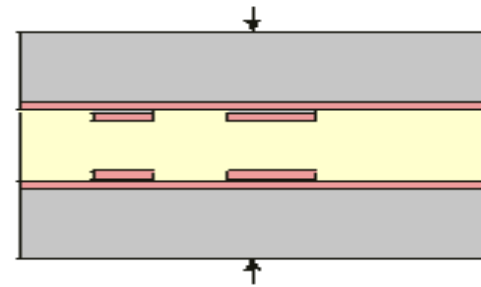


- набор пакета носителей

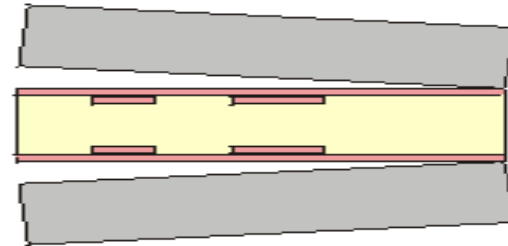


продолжение

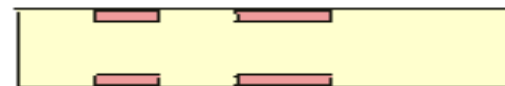
- **прессование пакета**



- **механическое удаление носителей**



- **травление тонкого медного слоя**




## продолжение

- При изготовлении двухсторонних слоев с межслойными переходами перед травлением тонкой медной шины создают межслойные переходы посредством металлизации отверстий с контактными площадками ( 3).
- Проводящий рисунок, утопленный в диэлектрик и сверху защищенный слоем никеля, не подвергается травлению при удалении медной шины. Поэтому форма, размеры и точность проводящего рисунка определяется рисунком рельефа в пленочном фоторезисте, то есть процессами фотолитографии.
- Дальнейшее повышение плотности монтажа методом ПАФОС и уменьшение ширины проводников до 50 мкм и менее возможно при использовании лазерных методов формирования рисунка непосредственно в диэлектрике. Наиболее подходят для этого углекислотные лазеры, лучи которых могут быть сфокусированы до 35-40 мкм.
- метод ПАФОС, основанный на прецизионной фотолитографии и лазерном экспонировании - аналогом трафаретной печати

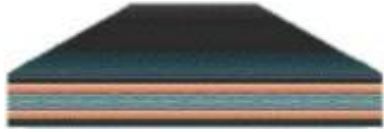


- Одна из задач, стоящих при изготовлении современных печатных плат, заключается в значительном повышении коммутационных (трассировочных) возможностей ПП.
- Основные направления выполнения этого требования - уменьшение шага трассировки (минимального расстояния между центрами проводников проводящих слоев) и увеличение числа проводящих и изоляционных слоев
- Уменьшение шага трассировки имеет следующие недостатки: -
  - усложнение и удорожание ТП(повышается класс точности изготовления ПП);
  - значительное уменьшение шага трассировки что незначительно увеличивает трассировочные возможности. Это происходит потому, что переходы не могут быть существенно уменьшены, а каждый из них обычно имеет на проводящих слоях контактные площадки большего размера, чем сами переходы.

## Продолжение

- Увеличение числа слоев обладает следующими недостатками: существенное усложнение, удорожание и увеличение цикла изготовления ПП; снижение процента выхода годных ПП; снижение надежности ПП.
  - В результате поиска альтернативы, обеспечивающей повышение коммутационных возможностей ПП была разработана конструкция рельефной платы (РП).
  - МАТЕРИАЛ
- 
- Это заготовка внутреннего слоя многослойной печатной платы. Диэлектрический материал, например текстолит, ламинированный медной фольгой. Толщина меди обычно составляет от 0,018 мм до 0,07 мм.

## Продолжение



### Ламинирование фоторезистом

- Следующий этап - нанесение пластичного фоточувствительного материала на заготовку. Заготовка очищается и приготавливается к нанесению фоторезиста. Этот этап проходит в чистой комнате с желтым освещением. Резист светочувствителен (обычно к ультрафиолету) и при долгом не использовании разрушается.



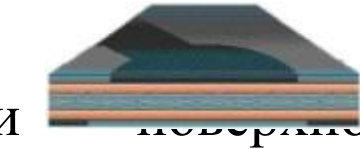
### Размещение фотошаблона

- На заготовке размещается фотошаблон. На рисунке изображена только его малая часть. Круг, часть которого изображена, в последствии будет соединением с внутренним слоем. Изображение на фотошаблоне негативное по отношению к будущей схеме. Под темными участками фотошаблона медь не будет удалена.

## Продолжение

### Экспонирование фоторезиста

- Участки поверхности незащищенные фотошаблоном засвечиваются. Фотошаблон снимается. После этого засвеченные участки могут быть удалены химически.



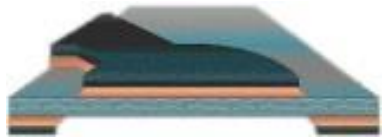
### Обработка резиста

- Засвеченные участки резиста удаляются, оставляя резист только в тех областях, где будут проходить дорожки платы. Назначение резиста - защитить медь под ним от воздействия травителя на следующем этапе.

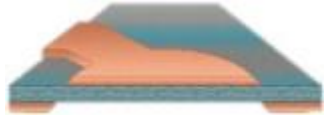


### Травление

- Заготовка травится для удаления ненужной меди. Резист, оставшийся на поверхности предохраняет медь под ним от травления. Вся незащищенная медь удаляется, оставляя диэлектрическую подложку. После травления дорожки схемы созданы и внутренний слой имеет требуемый рисунок.

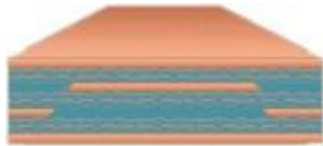


## Продолжение



### Удаление фоторезиста

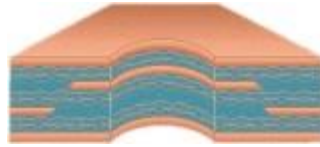
- Резист удаляется, открывая невытравленную медь. Теперь заготовка представляет собой полностью готовый внутренний слой. В нашем примере она будет вторым и третьим слоями будущей платы. На следующем этапе на нее наносятся верхний (первый) и нижний (четвертый) слои платы.



### Ламинирование печатной платы

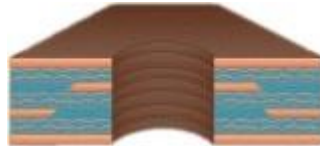
- На этом этапе внутренний слой является центром многослойной платы. Слои одностороннего текстолита добавляются сверху и снизу внутреннего слоя. Затем соединенные слои ламинируются под прессом при высокой температуре и давлении. Скрепление происходит путем адгезии текстолита к внутреннему слою.

## Продолжение



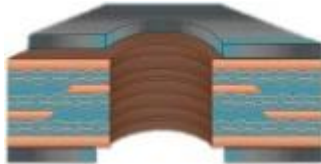
Сверловка

- Плата сверлится там где требуется металлизация отверстий. В нашем примере отверстие просверлено сквозь площадку на втором слое. В то же время пересечения с рисунком третьего слоя нет. Взаиморасположение просверленных отверстий с рисунком слоев существенно.



Осаждение меди

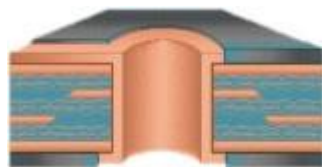
- Этот этап служит для покрытия отверстия тонким слоем металла. Проблемам в том, что поверхность отверстия непроводящая. Для металлизации плата помещается в ванну, где полностью покрывается тонким слоем меди. Сущность процесса химическая и в результате покрываются как диэлектрические, так и металлические поверхности.



Нанесение резиста

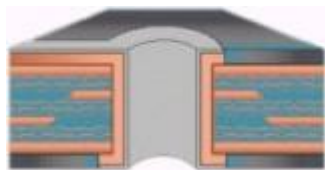
- Плата покрывается резистом, резист засвечивается через фотошаблон, засвеченные участки удаляются. Эти этапы аналогичны описанным ранее с одним отличием: резист удаляется с участков, где будет наноситься медь. Следовательно, изображение на фотошаблоне должно быть позитивным.

## Продолжение



### Электролитическое нанесение меди

- Медь наносится на поверхность отверстия до толщины 0,25мм. Медь, осажденная ранее на поверхность отверстия достаточно толстая, чтобы проводить ток, необходимый для электролитического осаждения меди. Это необходимо для надежного электрического соединения сторон и внутренних слоев платы.



### Оловянно-свинцовое покрытие

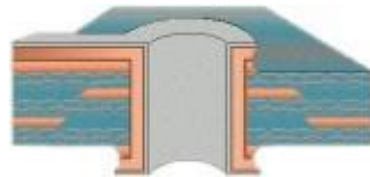
- Оловянно-свинцовое электролитическое покрытие выполняет две важные функции. Во-первых, оловянно-свинцовая смесь выступает резистом для последующего травления. Во-вторых, она защищает медь от окисления. Если плата производится не по процессу SMOBC, тогда эта смесь может быть расплавлена в печи для лужения дорожек.

## Продолжение



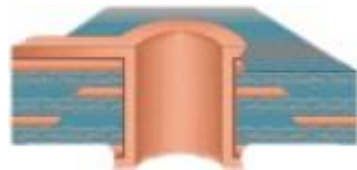
Удаление резиста

- Резист удаляется, оставляя оловянно-свинцовую смесь (припой) и нанесенную медь. Медь, покрытая припоем, выдержит процесс травления и образует собой рисунок платы



Травление меди

- На этом этапе припой используется как резист для травления. Незащищенная медь удаляется, оставляя на плате рисунок будущей схемы.

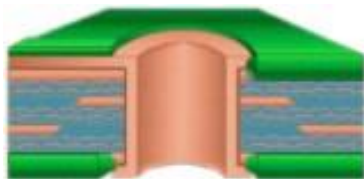


Удаление припоя

- Припой удаляется с поверхности меди и плата очищается. Это начало процесса, называемого SMOBC (solder mask over bare copper - маска поверх необработанной меди). В других процессах, оловянно-свинцовая смесь расплавляется для дальнейшего использования (лужение)..

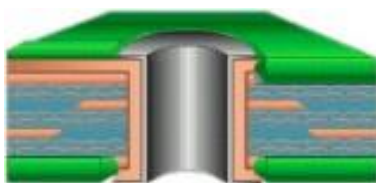


## Продолжение



### Нанесение маски

- Для защиты поверхности платы, где в дальнейшем не потребуется пайка, наносится маска. Существует несколько типов масок и методов ее нанесения. Фоточувствительная маска наносится тем же способом, что и фоторезист и обеспечивает высокую точность процесса. Шелкографический способ нанесения не обладает такой точностью, но материал маски более пластичен.



### HAL (Hot Air Leveling – выравнивание горячим воздухом)

- Припой наплавляется на незащищенную маской медь, сохраняя ее от окисления. В отличие от других процессов, под маской припоя не остается. Плата SMOBC готова для заключительных этапов: нанесения надписей (шелкография), резки, тестирования и упаковки.