

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана

В. Н. ГРИДНЕВ, К. Ф. СКВОРЦОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ ПО КУРСУ
ТПС и ТП ЭВА

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

В.Н.Гриднев, К.Ф.Скворцов

Утверждены
редсоветом МВТУ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ДОМАШНЕМУ ЗАДАНИЮ ПО КУРСУ
ТПС и ТП ЭВА

Под редакцией Парфенова О.Д.

Москва

1981

Методические указания издаются в соответствии с учебным планом.

Рассмотрены и одобрены кафедрой П-8 3. III. 80 г., Методической комиссией факультета П и Учебно-методическим управлением.

Рецензент к.т.н., доц. Овчинников В.А.

© Московское высшее техническое училище им. Н.Э.Баумана

Оглавление

§ 1.	Конструктивные особенности печатных плат	3
§ 2.	Методы изготовления печатных плат	7
§ 3.	Особенности некоторых операций технологического процесса изготовления печатных плат	11
§ 4.	Методика расчета геометрических параметров печатного монтажа с учетом технологических ограничений ..	22
§ 5.	Порядок выполнения домашнего задания	29

Редактор Л.П.Кистанов

Корректор Л.И.Малютина

Заказ 1340

Объем 2п.л. (1,9уч.-изд.л.)

Тираж 500 экз.

Бесплатно

Подписано к печати 19.08.81

План 1981 г., 138

Типография МВТУ. 107005, Москва, Б-5, 2-я Бауманская, 5.

§ I. Конструктивные особенности печатных плат

В отечественной промышленности применяются следующие типы (табл. I) печатных плат (ПП): односторонние (ОПП), двусторонние (ДПП), многослойные (МПП), гибкие (ГПП, ГПК) и проводные печатные платы (ППП). ППП делятся на две группы: с межслойными соединениями, обеспечиваемыми в процессе изготовления послойным наращиванием, попарным прессованием, металлизацией сквозных отверстий; без межслойных соединений, определяемых конструкцией платы в виде открытых контактных площадок и выступающих выводов. Проводные платы имеют элементы печатного монтажа (шины питания, земли), металлизированные отверстия и проводной монтаж в виде изолированных проводов диаметром 0,15–0,17 мм, зафиксированных на поверхности платы слоем адгезива толщиной 0,5 мм.

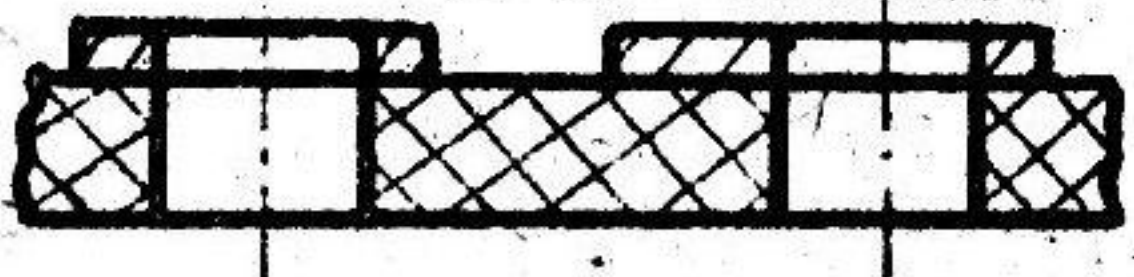
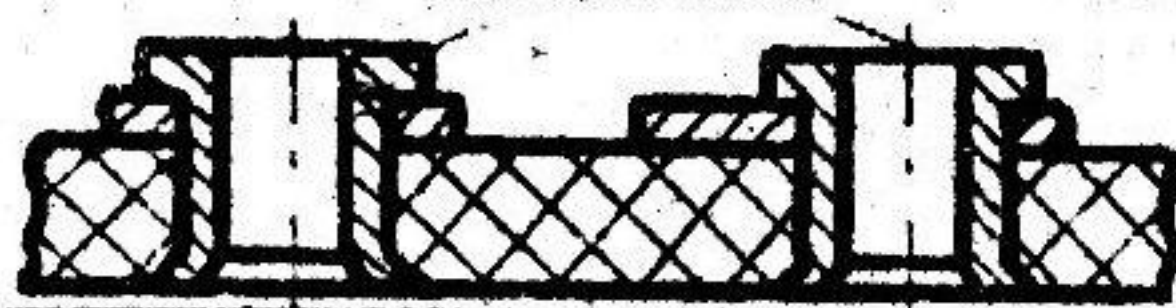
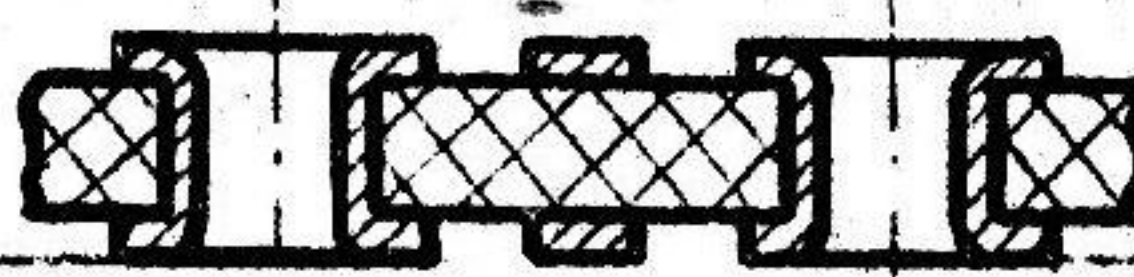


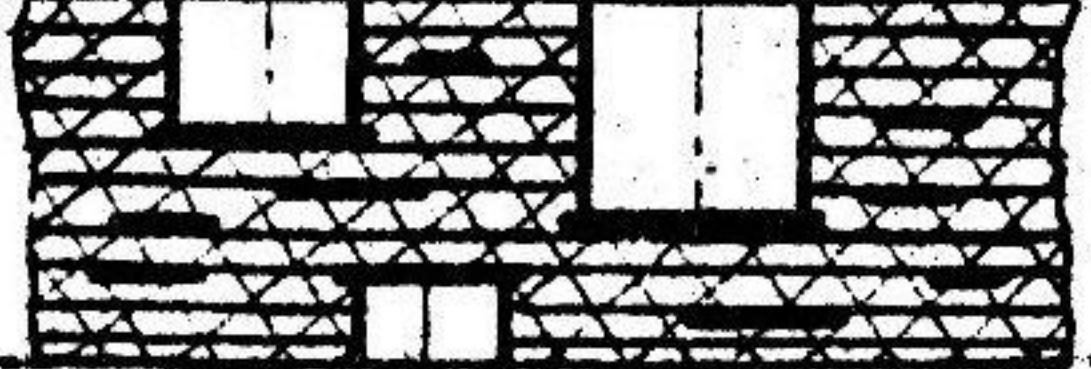


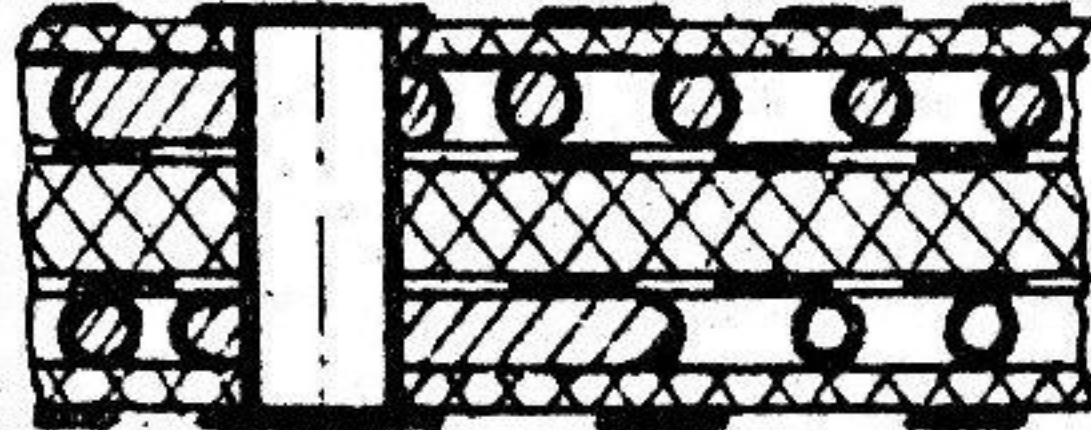
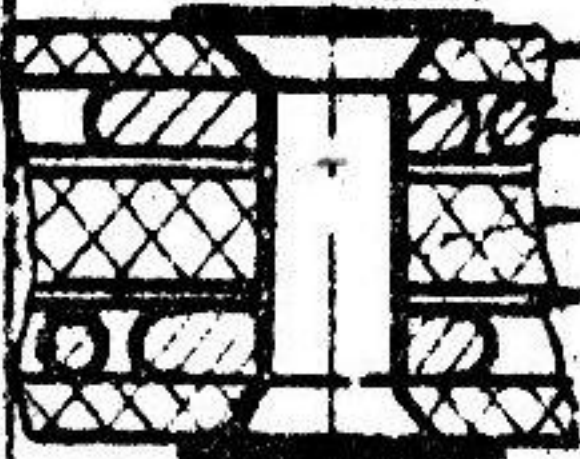
В зависимости от механических требований и метода изготовления номинальный размер толщины ПП следует выбирать равным 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0. Толщина МПП определяется количеством слоев, прокладок и технологией их склеивания. Суммарная толщина склеивающих прокладок между смежными слоями должна быть не менее двух толщин проводников, располагающихся на внутренних слоях. Толщина ГПП выбирается из ряда 0,13; 0,15; 0,2; 0,25; 0,35; 0,50, а ГПК – 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,12. Предельные отклонения толщины ОПП, ДПП и ГПП определяются допуском на материал платы и толщину гальванических покрытий.

Предельные отклонения толщины МПП составляют: 0,15 мм – при толщине платы до 1 мм включительно; $\pm 0,20$ мм – при толщине – 1–2 мм; $\pm 0,30$ мм – при толщине 2–3 мм.

Центры монтажных отверстий должны располагаться в узлах координатной сетки, шаг которой по ГОСТу 10317-72 равен 2,5 или 3,5 мм. Диаметры монтажных и переходных металлизированных отверстий в зависимости от диаметра вывода навесного элемента выбирают равными 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,5; 1,8; 2,0 мм. Разница между диаметром вывода и диаметром металлизированного отверстия рекомендуется не более 0,4 мм – для выводов диаметром 0,4; 0,6; 0,8 мм; 0,6 мм – для выводов диаметром 1,0; 1,3; 1,5; 1,7 мм.

Металлизированные отверстия на одно- и двусторонних ПП, а также на наружных слоях МПП со стороны фольги должны иметь

Классификация печатных плат по конструкторскому
исполнению

Типы плат	Виды плат	Схемы сечений плат	Область применения плат
ОПШ	Без металлизированных отверстий		Бытовая аппаратура
	С металлизированными отверстиями	ПИСТОНЫ 	Бытовая аппаратура
ДПШ	На диэлектрическом основании		ТЭЭЗ ЭВМ, ячейки ЭВА
	На металлическом основании	диэлектрическое покрытие 	Вычислит. аппаратура спец. назначения
МПШ	С межслойными соединениями		ТЭЭЗ ЭВМ, субблоки ЭВА, соединит. ПШ
	Без межслойных соединений		Субблоки ЭВА
ГПШ	ГПШ		
	ГПК, шлейфы	лавсановая пленка 	Коммутирующие устройства
ППШ	С печатным монтажом		Макетирование ЭВА, опытное производство, сложные ПШ
	Без печатного монтажа	 <ul style="list-style-type: none"> — диэлектрик — проводник — основание — адгезив 	Макетирование ЭВА, опытное производство, сложные ПШ

контактные площадки (КП). На внутренних слоях МПП контактные площадки должны быть у отверстий, электрически связанных с проводниками слоя: КП рекомендуется выполнять круглой или прямоугольной формы. Металлизированные отверстия должны выполняться без зенковки. Неметаллизированные отверстия односторонних печатных плат выполняются с зенковкой со стороны, обратной расположению рисунка печатного монтажа.

Печатные проводники рекомендуется выполнять одинаковой ширины на всем их протяжении. В узких местах, например между двумя соседними монтажными отверстиями, следует сужать проводники до минимально допустимых значений и прокладывать их перпендикулярно оси, соединяющей центры отверстий. Оси проводников рекомендуется совмещать с линиями координатной сетки. Элементы проводящего рисунка следует располагать от края платы, неметаллизированного отверстия, паза и других конструктивных элементов на расстоянии, равном номинальной толщине платы для плат толщиной менее 1 мм, для ГПП - на расстоянии не менее, чем 1 мм.

ПП по плотности проводящего рисунка и точности изготовления делятся на три класса (табл. 2): 1-й класс характеризуется наименьшей плотностью и точностью изготовления, 2-й - повышенной и 3-й - высокой плотностью и точностью.

Таблица 2

Минимальные значения основных геометрических параметров
ПП и ГПП

Наименование элемента печатного монтажа	Обозначен. эл-та	Размеры элементов, мм		
		1-й класс	2-й класс	3-й класс
Ширина проводника	t	0,500	0,250	0,150
Расстояния между проводниками, контактными площадками, проводником и КП, проводником и металлизированным отверстием	s	0,500	0,250	0,150
Расстояние от края просверленного отверстия до края контактной площадки	b_m	0,050	0,035	0,025
Отношение диаметра металлизированного отверстия к толщине платы	δ	0,500	0,400	0,300

Третий класс плотности проводящего рисунка применяется только для III, изготовленных электрохимическим (полуаддитивным) методом. На наружных слоях MIII рекомендуется применять проводящий рисунок I-го класса плотности, а на внутренних слоях допускается выполнение проводников шириной 0,2 мм с расстоянием между ними 0,15 мм. Плотность проводящего рисунка, соответствующая I-му классу, рекомендуется для плат всех размеров, плотность 2-го класса допускается на платах с размерами до 170 * 240 мм, плотность 3-го класса - на платах с размерами до 150*170 мм. Максимальные отклонения расстояний между центрами монтажных отверстий не должны превышать: $\pm 0,2$ мм - для плат I-го класса; $\pm 0,1$ мм - для плат 2-го и 3-го классов (в технически обоснованных случаях для 3-го класса отклонения могут быть заданы в пределах $\pm 0,05$ мм).

Требования к платам, на которых осуществляется автоматизированная сборка ЭРЭ и ИС, более высокие. Предельные отклонения расстояний между центрами монтажных отверстий не должны превышать $\pm 0,05$ мм, а между осями контактных площадок под планарные выводы - $\pm 0,1$ мм. Базовые отверстия для фиксации платы на сборочном оборудовании имеют диаметр $3A_5$, располагаются по одной из длинных сторон платы и имеют отклонения по межцентровому расстоянию, не превышающие $\pm 0,05$ мм. Отклонения между центрами базовых отверстий и площадок под планарные выводы или монтажных отверстий не превышают $\pm 0,1$ мм.

В качестве материалов III применяют фольгированные и нефольгированные диэлектрики (табл. 3), прокладочную стеклоткань и электроизоляционную пленку для защиты ГПК. Нефольгированные диэлектрики, например СТЭФ-I-2ЛК, имеют на поверхности адгезивный слой толщиной 50-100 мкм (эпоксикаучуковая композиция) для обеспечения достаточной прочности сцепления с основанием осаждаемого слоя химической меди. Следует отметить, что разработка новых методов изготовления III потребовала создания новых диэлектрических материалов. Например, нефольгированный диэлектрик с введенным катализатором и адгезивным слоем применяется для аддитивного метода, нефольгированный диэлектрик, покрываемый светочувствительной эмульсией водных растворов солей металлов, - для метода фотоформирования. Освоен промышленный выпуск материала слофадит-диэлектрика, покрытого с двух сторон тонким слоем фольги (5 мкм) и предназначенного

для изготовления ДПП электрохимическим (полуаддитивным) методом.

§ 2. Методы изготовления печатных плат

Методы изготовления печатных плат, нашедшие промышленное применение, основаны на сочетании способов получения рисунка печатного монтажа и способов получения токопроводящего слоя (рис. 1).

Фото-химический и сеточно-графический способы получения рисунка совершенствуются с точки зрения повышения разрешающей способности, стойкости защитной маски к действию агрессивных сред и снижения трудоемкости. Кроме традиционных способов получения токопроводящего слоя химического травления фольги и химико-гальванического осаждения меди, нашел применение способ химического осаждения меди на нефольгированный диэлектрик.

В ОСТе 2.ГО.О10.209 приняты четыре метода изготовления ПП. Химический метод изготовления травлением фольги с незащищенных мест применяется для ОПП ГПК и внутренних слоев МПП. Комбинированный позитивный метод, основанный на сочетании химико-гальванического способа металлизации отверстий, контактных площадок и проводников со способом химического травления фольги с пробельных мест, применяется для ДПП 1-го и 2-го классов. Электрохимический (полуаддитивный) метод изготовления путем химико-гальванического предварительного меднения отверстий и поверхности нефольгированного диэлектрика, гальванического наращивания токопроводящих участков и химического травления слоя предварительного меднения с пробельных мест применяется для ДПП 3-го класса. Для изготовления МПП рекомендуется метод металлизации сквозных отверстий. При этом печатный монтаж на внутренних слоях получают химическим методом, а на внешних - комбинированным позитивным методом.

В классификации (см. рис. 1) приведены аддитивный метод и метод фотоформирования, не включенные в ОСТ 2.ГО.О10.209, но являющиеся перспективными для производства ПП. Аддитивный метод - химическое осаждение меди в зоне токопроводящих участков на нефольгированный диэлектрик с введенным катализатором и адгезивным слоем - применяется для изготовления ОПП и ДПП. Метод фотоформирования - восстановление поверхности нефольгированного диэлектрика из водных растворов солей металлов ионов,

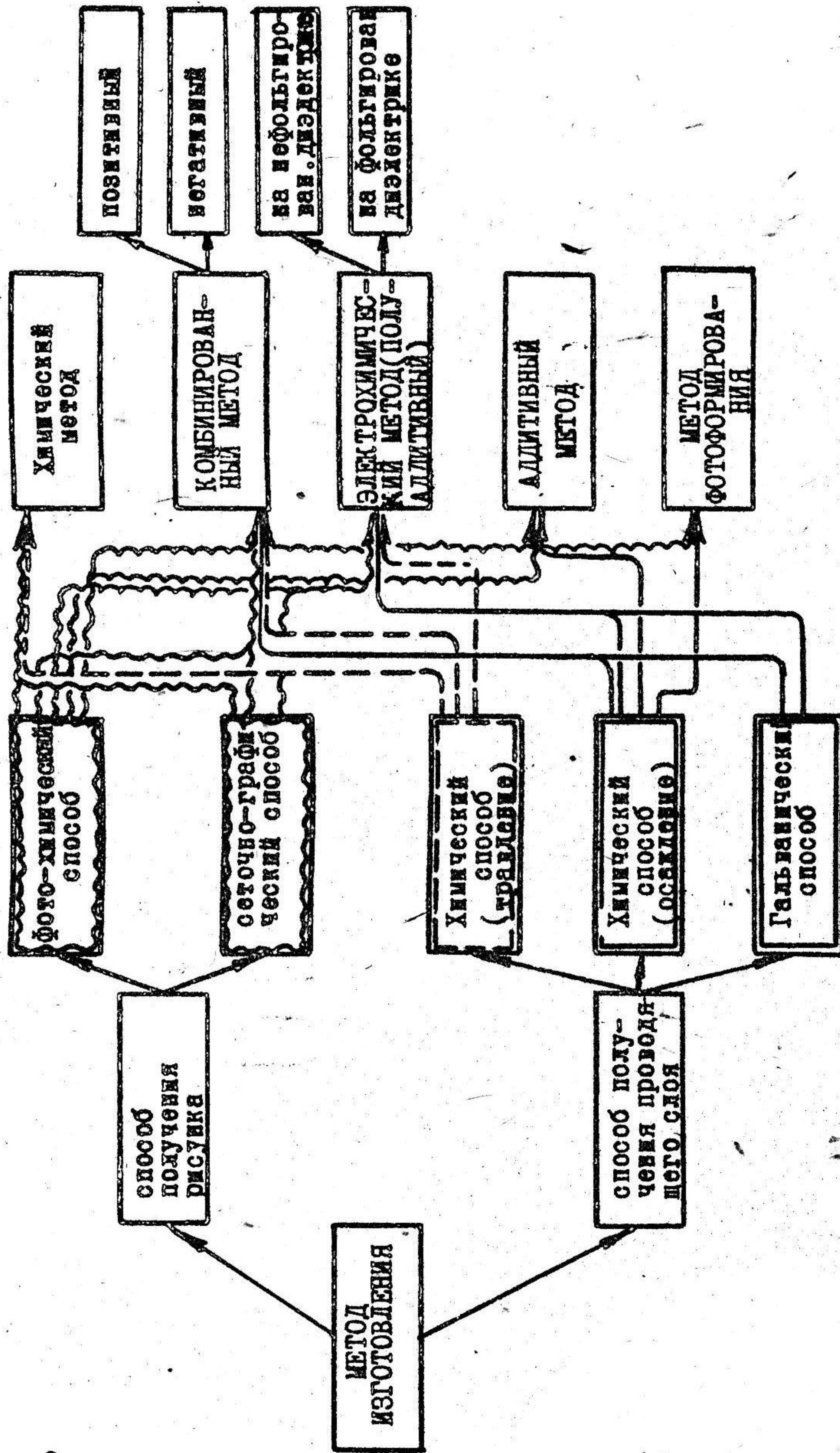


Рис. 1. Классификация методов изготовления печатных плат

образующих рисунок толщиной 0,2-0,5 мкм, и последующее химическое осаждение слоя меди. Различные модификации метода связаны с различными способами формирования рисунка - фотоосаждение металлов, проявление и восстановление ионов, формирование лучом лазера, фотоформинг. Метод применяется для изготовления ОПП и ДПП.

Таблица 3

Материалы для изготовления печатных плат

Наименование материала	Марка материала	Толщина		Область применения материала
		Фольги, мкм	материала с фольгой, мм	
Гетинакс фольгированный	ГР-1-35	35	1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОПП, ДПП
	ГР-2-35		1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	
Стеклотекстолит фольгированный	СФ-1(2)-35	35	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ОПП
	СФ-1(2)-50	50	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	ДПП
	СФ-1Н(2Н)-50	50	0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0	
Стеклотекстолит нефольгированный	СТЭФ-1-2ЛК	-	1,0; 1,5	ДПП; изготовленные эл.-хим. метод.
Слободит		5	1,0; 1,5	
Стеклотекстолит теплостойкий фольгированный	СТЭ-1(2)	35	0,13; 0,15; 0,20; 0,25; 0,35; 0,50; 0,80; 1,00; 1,5; 2,00; 2,50; 3,00	ДПП, МПП, ГПП
Стеклотекстолит фольгированный травящийся	ФТС-1-20А(20А0)	20	0,08; 0,15	МПП, ГПП
	ФТС-2-20А(20А0)	20	0,18; 0,27; 0,50	
	ФТС-1-35А(35А0)	35	0,10; 0,12; 0,19	
	ФТС-2-35А(35А0)	35	0,14; 0,23; 0,50	
Диэлектрик фольгированный тонкий	ДЕМ-2	35	0,25; 0,35	ГПП

1	2	3	4	5
Диэлектрик гибкий фольгированный	ФДП ФДФ-ЗМС-1	35 50 20	0,06; 0,07; 0,10 0,08; 0,09; 0,12 0,12	ГПК
Стеклоткань прокладочная	СПТ-3	-	0,025; 0,060	МПП

Для сравнения в табл. 4 приведены основные этапы изготовления ПП различными методами (методы изготовления МПП не рассматриваются). Анализируя последовательность операций, следует отметить, что монтажные отверстия сверлят до нанесения рисунка печатного монтажа (исключение - химический метод). Это требует применения сверлильных станков с программным управлением и точного базирования заготовок плат на станке.

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

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

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

Геометрические параметры и точность печатного монтажа непосредственно зависят от метода изготовления (рис. 2). При химическом и гальваническом способах осаждения меди происходит увеличение размеров токопроводящих участков за счет разращивания. Если пробельные места защищены краской (толщина 5–7 мкм), то разращивание будет большим и примерно соизмеримо с толщиной осаждаемого слоя меди. Если пробельные места защищены сухими пленочными фоторезистами (толщина 40–60 мкм), то разращивание осаждаемой меди будет минимальным.

Травление меди с пробельных мест сопровождается подтравливанием токопроводящих участков на величину, соизмеримую с глубиной травления. Подтравливание уменьшает эффективные размеры проводников и контактных площадок. При электрохимическом методе изготовления величина подтравливания меньше, чем при комбинированном позитивном, так как слой меди в пробельных местах имеет толщину 5–8 мкм (получен химико-гальванической металлизацией нефольгированного диэлектрика или применением материала слоадит с толщиной фольги 5 мкм).

При химическом способе осаждения токопроводящего слоя на нефольгированный диэлектрик подтравливание отсутствует, а разращивание зависит от стойкости маски в щелочной среде ванны **меднения (аддитивный метод) и исходной геометрии активированных участков диэлектрика в методе фотоформирования.**

Производственный опыт показывает, что комбинированный позитивный метод позволяет получить, например, минимальную ширину проводников до 0,3 мм, электрохимический метод – до 0,15 мм, метод фотоформирования – до 0,08 мм. Следует также учитывать, что при гальваническом осаждении толщина слоя меди в отверстиях меньше, чем на поверхности, а на периферии платы больше, чем в центре платы. Поэтому принимают, что минимальная толщина гальванической меди в отверстиях в центре ПП должна быть не менее, чем 25 мкм.

§ 3. Особенности некоторых операций технологического процесса изготовления печатных плат

Металлизация печатных проводников и отверстий

Химическое осаждение меди. Цель этой операции – получить электропроводный слой меди для обеспечения возможности последующей гальванической металлизации отверстий. Химическое мед-

Таблица 4

Основные этапы изготовления печатных плат

Наименование этапа	Методы изготовления печатных плат						
	Химический	Комбинирован. Позитивный	Электрохимич. Полупозитивный	Аддитивный	Фото- формирование		
Получение заготовки							
Получение монтажных отверстий							
Химикогальванич. металлизация отре- ростей и поверхн. плат							
Нанесение рисунка							
Гальваническая ме- таллизация токопро- водящих участков. Осаждение металло- резкста							
Химическая металл- зация токопроводя- щих участков							
Удаление защитной маски							
Травление меди с проблемных мест							

НАНЕСЕНИЕ СВЕТОЧУ-
ВСТВИТЕЛЬНОГО РАСТВО-
РА СОЛЕЙ МЕТАЛЛОВ

20-35 мкм

УСИЛЕНИЕ РИ-
СУНКА СХЕМЫ

20-30 мкм

Удаление маски,
Сверл. отверст.

Оплавление
металлообязств

Оплавление
металлообязств

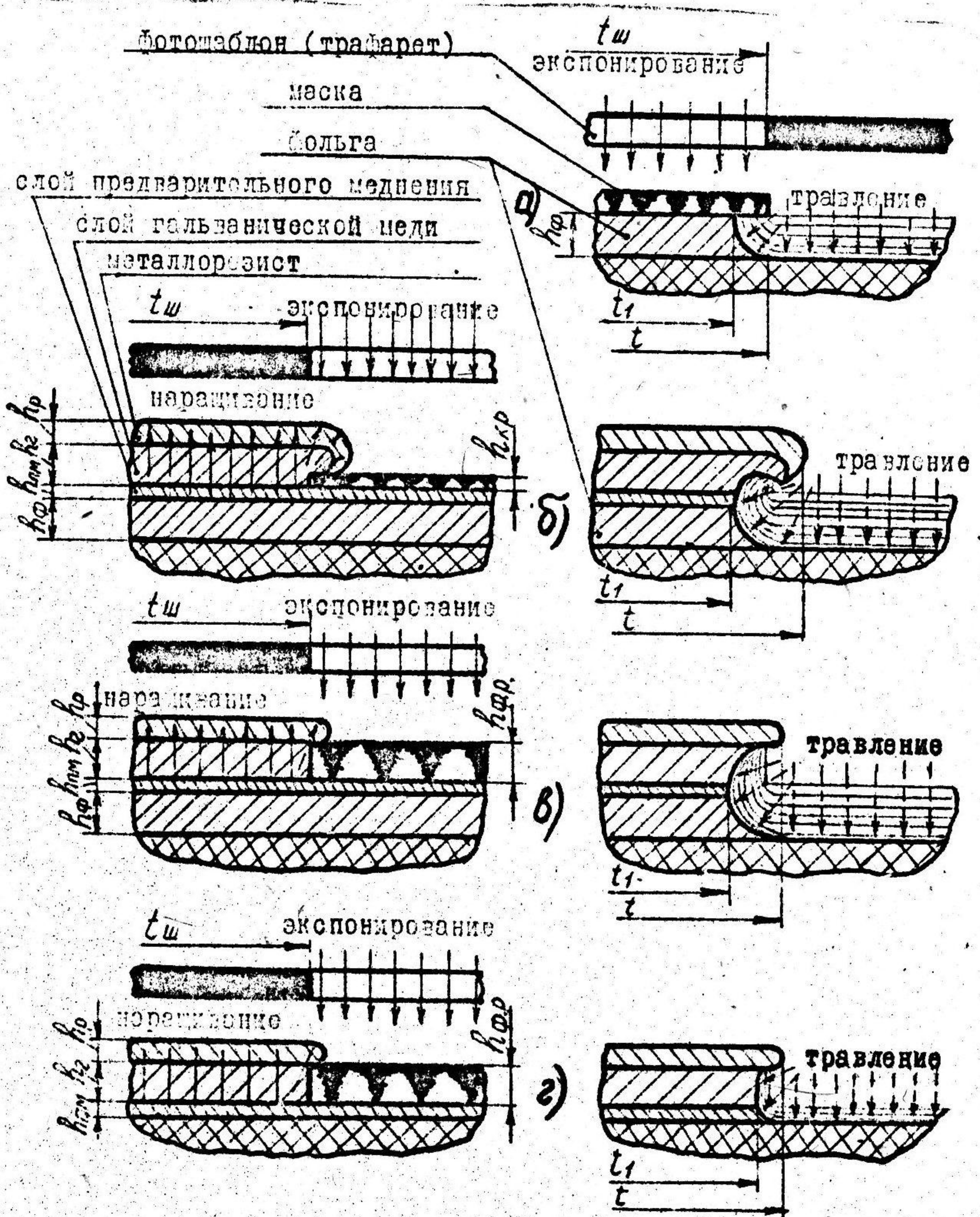
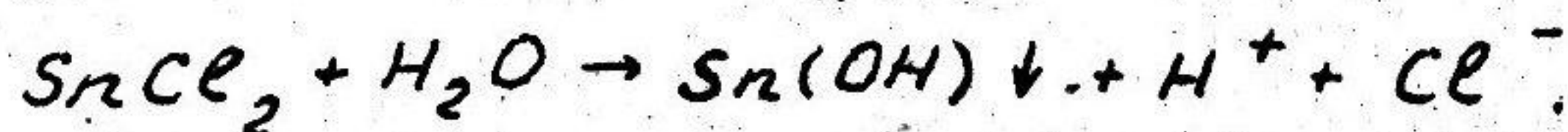


Рис. 2. Изменение геометрии печатного монтажа (проводника) при химическом методе (а), комбинированном позитивном с сеткографическим (б) и фотохимическим (в) способами получения рисунка, электрохимическом методе (г) с фото-химическим способом получения рисунка.

нение диэлектрика осуществляется за счет восстановления на его поверхности меди из растворов ее солей. При этом поверхность диэлектрика должна обладать каталитическими свойствами по отношению к реакции восстановления. Такие свойства диэлектрик приобретает после операции активирования - осаждения на его поверхности частиц металлов-катализаторов последующего химического меднения.

В производстве печатных плат широко распространен метод сенсактивирования - активирования с предварительной сенсбилизацией. Чаще всего для сенсбилизации используют растворы двухвалентного олова, а также применяют соединения Ge ; Fe ; Ti . Для производства печатных плат применяют следующий раствор сенсбилизации: $SnCl_2$ - 10...100 г/л; HCl 10...30 мл/л. Присоединение $SnCl_2$ к поверхности происходит не в растворе сенсбилизирования, а при промывке поверхности водой ($T=18...25^{\circ}C$; $t=2...5$ мин):



Результат сенсбилизации - осаждение на поверхности диэлектрика солей двухвалентного олова $Sn(OH)Cl$ или других соединений, служащих катализатором в реакции восстановления металла-активатора.

Сенсбилизацию можно также проводить обработкой в красителях, например, метиленовом синем, анилиновом синем с последующей обработкой в восстановителе $Na_2S_2O_4$ (гидросульфит) и промывкой.

Активирование осуществляют обработкой сенсбилизированной поверхности растворами соединений каталитически активных металлов Pd ; Pt ; Au ; Ag . Растворы могут быть кислыми и щелочными. Металл в них находится в виде простого или комплексного соединения. При взаимодействии с сенсбилизатором на поверхности платы оседают коллоидные или малорастворимые соединения металла-катализатора. Для химического меднения печатных плат распространены два раствора активирования

1. $PdCl_2$ - 0,8...1 г/л; HCl - 1...2 г/л ($T=20^{\circ}C$; $t = 1...2$ мин).

2. $PdCl_2$ - 4 г/л; NH_4OH - 250-350 мл/л; Трилон Б - 12 г/л ($T=18...25^{\circ}C$; $t = 3...5$ мин).

Первый раствор - кислый, второй - щелочной. При активировании диэлектрика в кислом растворе скорость химического меднения значительно выше. Однако при концентрации кислоты в растворе более чем 15% возможен подтрав внутреннего окисленного слоя фольги.

В последнее время широкое распространение получало совмещенное сенсактивирование в растворах, содержащих соли двухвалентного олова и двухвалентного палладия. На поверхности диэлектрика, обработанного в таком растворе, образуется коллоидная частица, включающая $\text{Sn}(\text{OH})\text{Cl}$ и PdCl_2 . При последующей обработке поверхности в растворе $(\text{NH}_4)\text{HF}_2$ (ускорителе) образуется металлический палладий - катализатор последующего меднения. Для успешной металлизации диэлектрика необходимо, чтобы в процессе активирования на квадратном миллиметре поверхности детали образовалось 10...15 частиц палладия диаметром ~ 50 нм.

Химическое меднение печатных плат производится в растворах, содержащих соль двухвалентной меди (обычно CuSO_4), восстановитель, комплексообразователи меди, вещества, поддерживающие pH раствора, различные добавки. Хороший восстановитель, используемый для химического меднения - формалин. При восстановлении им меди обеспечивается автокаталитический процесс, т.е. катализатором процесса является сама медь, что препятствует прекращению роста пленки меди по мере покрытия ею центров кристаллизации (частиц палладия) и самопроизвольному восстановлению меди из CuSO_4 в объеме раствора. Автокатализ при восстановлении меди гипофосфитом, гидразином, гидросульфитом выражен гораздо слабее.

Химическое меднение требует тщательного соблюдения режимов и концентраций. Этот процесс обладает следующими недостатками: все растворы разового действия и имеют низкую плотность загрузки (< 2 дм²/л); растворы очень нестабильны и требуют тщательной отработки процесса. Химически осажденная медь обладает очень низким качеством. Ее удельное сопротивление значительно превышает сопротивление чистой меди. Гальваническая медь плохо сцепляется с химической. Требуется механическая зачистка поверхности перед гальваническим меднением. Скорость химического осаждения меди $\sim 0,5$ мкм/ч, толщина слоя меди на печатных платах составляет 0,3...0,5 мкм.

Гальваническое осаждение меди производят для получения основного слоя металла-проводника. При этом плата с нанесенным слоем химической меди является катодом, а анодом - массивная медная пластинка. Гальваническое меднение печатных плат предназначено обеспечивать толщину слоя меди в отверстиях не менее 25 мкм; равномерный по толщине слой меди на поверхности платы. Для этого необходима высокая рассеивающая способность электролита, прочное сцепление гальванической меди с фольгой и химической медью.

Наиболее распространенные в производстве III - сульфатные, фторборатные, фторсиликатные и пирофосфатные электролиты меднения. Сернокислый электролит, состоящий из $CuSO_4$ и H_2SO_4 , обладает самой низкой рассеивающей способностью, дает крупнозернистые осадки меди.

Лучшими свойствами обладают электролиты (табл. 5).

Таблица 5

Составы электролитов меднения

Электролит	Компоненты	Концентрация, г/л	Плотность тока, А/дм ²	pH	Температура, °C
Фторборатный	$Cu(BF_4)_2$ HBF_4 H_3BO_3	230 5-15 15-40	2-4	0,5-1,5	18-25
Фторсиликатный	$CuSiF_6$ H_2SiF_6	280-370 10-15	5-7	1,7-2,2	18-25
Пирофосфатный	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ $K_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$ $NH_4OH(25\% \text{ный})$ Лимонная кислота	30-38 400-450 12-15 10-15	1,0-1,5	7,5-9	45-60

В этих электролитах компоненты $CuSO_4$, $Cu(BF_4)_2$, $CuSiF_6$ являются растворителями анодов и способствуют получению ионов Cu^{2+} , разряжающихся на катоде. Фторборатная кислота H_3BO_3 увеличивает проводимость электролита и способствует образованию мелкокристаллического осадка. Аналогичное действие оказывает фторсиликатная кислота H_2SiF_6 .

Осаждение меди из фторборатных электролитов происходит с высокой скоростью. Выход по току (катодный и анодный) приближается к 100%. Электролит фторсиликатный по свойствам приблизительно аналогичен фторборатному, однако требует большей плотности тока. При этом выход по току несколько снижается.

Пирофосфатные электролиты позволяют получить наиболее высокое качество меди. При плотности тока $J = 1,0 \dots 1,5 \text{ А/дм}^2$ выход по току - 100%. Аммиак ускоряет растворение анодов и способствует образованию мелкокристаллического осадка. Лимонная кислота адсорбируется на выступах микрорельефа катода и препятствует росту губчатых дендритов. Скорость осаждения меди из пирофосфатного электролита $\sim 13 \text{ мкм/ч}$.

Типичные дефекты гальванически осажденных пленок меди:

1) низкая прочность сцепления осажденной меди с фольгой вследствие плохого качества очистки фольги и нарушения режимов гальванического процесса;

2) наличие крупнозернистых шероховатых участков на поверхности покрытия вследствие наличия органических веществ в электролите, адсорбирующихся поверхностью;

3) неравномерность по толщине слоя осажденной меди вследствие малой рассеивающей способности электролита;

4) наличие проколов в слое в отверстиях вследствие низкого качества химического меднения.

Для защиты поверхности токопроводящих участков при травлении меди с пробельных мест, а также для обеспечения условий пайки выводов ЭРЭ печатный монтаж покрывают металлорезистом

Sn-Pb (15-20 мкм). Металлорезист, содержащий Sn 50...65% и Pb 50...35%, осаждается в фторборатном электролите. Для получения покрытия Sn-Pb , соответствующего сплаву ПОС-61 (температура плавления сплава должна быть 210°C , чтобы не повредить плату), необходимо поддерживать в электролите отношение $\text{Sn} : \text{Pb} = (2,0 \dots 2,5) : 1$. На поверхности металлорезиста Sn-Pb не должно быть сульфатов и окислов. Для их удаления применяют осветление в растворе, содержащем HCl (17 г/л), SnCl_2 (20 г/л), тиомочевину (до 1 г/л). После осаждения металлорезист оплавляют.

При производстве печатных плат с печатными разъемами (ламельами) в качестве материала покрытия ламелей применяют палладий. Если плата не была покрыта серебром перед палладированием, необходимо гальванически нанести подслои никеля

(3-6 мкм) для лучшего сцепления палладия с основанием. Эта операция осуществляется в обычном сернокислом электролите. Палладиование проводится в аммиачных электролитах. Толщина **покрытий** из палладия составляет 1-2 мкм. Такие покрытия **обла- дают** высокой твердостью и износостойкостью, не тускнеют на воздухе при температуре до 400°C.

Травление меди

Эта операция служит для удаления меди с пробельных мест и получения элементов печатного монтажа. Технологический процесс травления меди на печатных платах состоит из следующих опера- **ций**: щелочное обезжиривание поверхности; декапирование в 20% растворе соляной кислоты; травление меди в соответствующих рас- творах; нейтрализация после травления; сушка обдувом воздуха.

После каждой операции следует процесс промывки водой. Проводники из меди перед травлением могут быть защищены фото- резистом или металлорезистом Ag ; Au ; $Sn-Pb$; $Sn-Ni$.

Для травления меди в производстве печатных плат применяют следующие растворы - на основе хлорного железа $FeCl_3$, хлор- ной меди $CuCl_2$, персульфата аммония $(NH_4)_2S_2O_8$, хро- мовосерной кислоты.

Растворы на основе $FeCl_3$ и $CuCl_2$ не применяются в случае использования металлорезиста $Sn-Pb$.

Растворы на основе $CuCl_2$ более перспективны, так как имеют следующие преимущества: предел насыщения раствора ионами Cu^{2+} примерно в 3 раза выше, чем у $FeCl_3$ (150...180г/л для $CuCl_2$ и 50...60 г/л для $FeCl_3$); высокая и постоянная скорость травления меди; легкость отмывки плат после травления (после обработки в $FeCl_3$ образуются нерастворимые соединения типа $FeO \cdot Fe(OH)_2$, что требует допол- нительного декапирования, а осадки гидроокиси меди снимаются промывкой в щелочи).

Для травления фольги на платах, покрытых оловянно-свин- цовым припоем, могут применяться растворы хромовосерной кисло- ты. Широко применяется в этом случае травление меди персуль- фатом аммония. Эти растворы создают на поверхности ПОС нерастворимые пленки сульфида свинца, предотвращающие растворение сплава.

Основные требования к процессу травления меди с печатными

плат - обеспечение равномерного травления и минимального бокового подтравива элементов **печатного монтажа**. Выполнение этих требований обеспечивается выбором травильного раствора и метода травления. Так, травление меди в растворах на основе хлорного железа или хлорной меди сопровождается боковым подтравом, величина которого в два раза меньше, чем при травлении в растворе на основе персульфата аммония. Для обеспечения равномерности травления всей поверхности печатной платы применяют струйный метод травления, при котором платы, расположенные на конвейере, равномерно перемещаются под струями травителя, причем расположение сопел, формирующих струи, обеспечивает попадание одинакового количества свежего травителя на каждый элементарный участок платы.

Сверление монтажных отверстий

От качества выполнения операции зависит сплошность и электрическая прочность печатного монтажа. К просверленным отверстиям предъявляются следующие требования:

стенки отверстий должны быть гладкими без заусенцев, смятия и расслаивания диэлектрика;

оси отверстий должны быть перпендикулярны поверхности платы;

отверстия должны быть строго цилиндрическими;

не допускается наличия в отверстиях следов инструмента, смазки;

отверстия не должны выходить за пределы **контактных площадок**.

Эти требования обеспечиваются выбором соответствующих инструментов, оборудования, режимов обработки.

Сверление отверстий в печатных платах осуществляют спиральными твердосплавными сверлами, выполненными с высокой точностью. Процесс проводят без применения СОЖ во избежание загрязнения диэлектрика. Стойкость сверл - 2000-5000 отверстий. Для сверления платы собирают в пакет и фиксируют по базовым отверстиям. Толщина пакета не должна превышать 4 мм. Под нижнюю плату пакета помещают подкладку из гетинакса или оргстекла толщиной 1,5 мм, предотвращающую образование заусенцев при выходе сверла из пакета и поломку сверл. В качестве оборудования наиболее перспективно применение многошпиндельных свер-

лильных станков с программным управлением. Они должны удовлетворять следующим основным требованиям:

размер поля обработки 250...300 мм;

точность позиционирования инструмента не менее чем $\pm 0,05$ мм;

плавная регулировка частоты вращения шпинделей от 5000 до 70000 об/мин и подачи от 0,02 до 0,5 об/мин;

наличие пневматического устройства для удаления стружки.

Вследствие некачественного сверления на платах возникают следующие дефекты:

1) наличие неметаллизированных участков в отверстиях вследствие неровностей стенок отверстия, в которых скапливаются пузырьки воздуха, препятствующие осаждению меди на этих участках; наличия загрязнений участков отверстий, которые в дальнейшем удаляются вместе с осажденной на них медью;

2) уменьшение диаметра отверстий вследствие наличия заусенцев, на которые осаждается избыточное количество меди;

3) отслаивание проводников и контактных площадок вследствие смятия диэлектрика при высокой плотности отверстий. Смятый диэлектрик при металлизации впитывает химические реактивы и воду, которые могут подтравливать внутренний слой фольги. Насыщение диэлектрика ионами примесей снижает его сопротивление и приводит к образованию коротких замыканий между соседними отверстиями;

4) смещение отверстий вследствие изгиба сверла, неправильной его заточки, высокой скорости подачи, сверления слишком **толстого** пакета плат, люфтов в патроне, шпинделе. При смещении отверстий возможен их выход за пределы контактных площадок на одной из сторон платы.

В табл. 6 приведены все основные операции технологических процессов **изготовления** двусторонних печатных плат различными методами. Операции даны в технологической последовательности.

Таблица 6

Схемы технологических процессов изготовления ДПП

Основные технологические операции	Метод изготовления ДПП					
	Комбинированный позитивный	Комбиниров. позит. с печатными разъемами	Полуаддитивный		Аддитивный	Метод фотоформирования
			На электрике	На металлов. ос-новании		
Нарезка заготовок	+	+	+	+	+	+
Образование базовых отверстий	+	+	+	+	+	+
Образование монтажных отверстий	+	+	+	+	+	+
Нанесение диэлектр. покрытия	-	-	-	+	-	-
Активация поверхности	-	-	+	+	-	+
Химическая металлизация	+	+	+	+	-	-
Гальваническая металлизация	+	+	+	+	-	-
Фотосенсибилизация	-	-	-	-	-	+
Получение рисунка схемы	+	+	+	+	+	+
Усиление рисунка схемы	-	-	-	-	-	+
Термообработка	-	-	-	-	+	-
Активация поверхности	-	-	-	-	+	-
Химическая металлизация	-	-	-	-	+	+
Гальваническая металлизация	+	+	+	+	-	-
Нанесение металлорезиста	+	+	+	+	-	-
Удаление маски	+	+	+	+	+	-
Термообработка	-	-	+	-	+	+
Травление меди	+	+	+	+	-	-
Снятие металлорезиста с контактами	-	+	-	-	-	-
Палладирование печатн. разъема	-	+	-	-	-	-
Оплавление металлорезиста	+	+	+	+	-	-
Обработка по контуру	+	+	+	+	+	+
Маркировка	+	+	+	+	+	+
Нанесение защитного покрытия	+	+	+	+	+	+
Окончательный контроль	+	+	+	+	+	+

§ 4. Методика расчета геометрических параметров печатного монтажа с учетом технологических ограничений

Методика приведена в ОСТе 4.ГО.ОТС.209 и предназначена для расчета элементов печатного монтажа ОПШ и слоев МШП, изготавливаемых химическим методом, ДШП, изготавливаемых комбинированным позитивным и электрохимическим методами, МШП, изготавливаемых методом металлизации сквозных отверстий. Она может быть принята за основу и при соответствующей корректировке использована для расчета ДШП, изготавливаемых аддитивным методом и методом фотоформирования, после внедрения их в отечественном производстве.

Методика расчета предусматривает базовый способ изготовления ОПШ, ДШП, ГПК и МШП, а также способы А и Б изготовления внутренних слоев МШП при автоматизированном сверлении монтажных и переходных отверстий. Способ А: отверстия выполняют на фотошаблонах, и на заготовках слоев, а совмещение их проводится при помощи фиксирующих элементов. Способ Б: базовые отверстия на слоях выполняются после получения печатного монтажа, относительно перекрестий (элементов рисунка), а совмещение слоев проводится на базовых штырях пресс-формы, перед прессованием слоев в МШП. Рассчитываются диаметры контактных площадок (D), ширина проводников (t), минимальные расстояния между элементами печатного монтажа и расстояния, **необходимые для прокладки n -го количества проводников между другими элементами платы.** В расчетах **учитываются условия и технологические факторы** различных методов изготовления ШП.

Пределные значения технологических параметров (табл. 7) получены в результате анализа производственных данных и экспериментальных исследований точности отдельных операций. Максимальные значения параметров соответствуют применению оборудования и оснастки низкой точности, средние значения — **применению оборудования высокой точности, минимальные значения учитываются для перспективного оборудования и оснастки.** В производственных условиях расчет элементов печатного монтажа ведут по производственно-технологическим показателям предприятия-разработчика. При выполнении домашнего задания следует ориентировать студентов на максимальные и средние значения коэффициентов. Основные формулы для расчета приведены в табл. 8.

Пределные значения технологических параметров

Наименование коэффициента	Обознач.	Величина
Толщина предварительно осажденной меди, мм	h_{nm}	0,005...0,008
Толщина наращенной гальванической меди, мм	h_2	0,05...0,06
Толщина металлического резиста, мм	h_p	0,02
Погрешность расположения отверстия относительно координатной сетки, обусловленная точностью сверлильного станка, мм	δ_0	0,02-0,10
Погрешность базирования плат на сверлильном станке, мм	δ_s	0,01-0,03
Погрешность расположения относительно координатной сетки на фотошаблоне контактной площадки, мм	$\delta_{ш}$	0,02...0,08
проводника, мм	$\delta_{шт}$	0,03...0,06
Погрешность расположения печатных элементов при экспонировании на слое, мм	$\delta_э$	0,01...0,03
Погрешность расположения контактной площадки на слое из-за нестабильности его линейных размеров, % от толщины	δ_m	0...0,10
Погрешность расположения базовых отверстий на заготовке, мм	δ_3	0,01...0,03
Погрешность положения базовых отверстий в фотошаблоне, мм	δ_n	0,01-0,05
Погрешность положения контактной площадки на слое, обусловленная точностью пробивки базовых отверстий, мм	δ_{np}	0,03-0,05
Погрешность положения контактной площадки, обусловленная точностью изготовления базовых штырей пресс-формы, мм	$\delta_{пф}$	0,02-0,05
Погрешность диаметра отверстия после сверления, мм	Δd	0,01-0,03
Погрешность изготовления окна фотошаблона, мм	$\Delta D_{ш}$	0,01-0,03
Погрешность на изготовление линии на фотошаблоне, мм	$\Delta t_{ш}$	0,03-0,06
Погрешность диаметра контактной площадки фотокопии при экспонировании рисунка, мм	$\Delta \varnothing$	0,01-0,03

Примечание: δ - погрешность расположения; Δ - погрешность размеров.

Таблица 8

Основные формулы для расчета диаметра контактных площадок (D), ширины проводников (t) и соответствующих размеров шаблонов ($D_{ш}$, $t_{ш}$) при различных методах изготовления печатного монтажа и с учетом технологических факторов

Обозначение	Химический метод	Комбинированный позитивный метод с получением рисунка:			Электрохимический (полудитивный) метод с получением рисунка:	
		Фотохимическим способом	Сеточно-графическим способом	Фотохимическим способом	Сеточно-графическим способом	
$D_{min} = D_{min} + 1,5k_{\varphi}$		$D_{min} = 1,5(k_{\varphi} + h_{nm}) + h_p$	$D_{min} = 1,5(k_{\varphi} + h_{nm}) + k_2 + h_p$	$D_{min} = 1,5k_{nm} + h_p$	$D_{min} = 1,5k_{nm} + k_2 + h_p$	
$t_{min} = t_{min} + 1,5k_{\varphi}$		$t_{min} = 1,5(k_{\varphi} + h_{nm}) + h_p$	$t_{min} = 1,5(k_{\varphi} + h_{nm}) + k_2 + h_p$	$t_{min} = 1,5k_{nm} + h_p$	$t_{min} = 1,5k_{nm} + k_2 + h_p$	
$D_{шmin} = D_{min} + \Delta \varepsilon$		$D_{шmin} - k_p$	$D_{min} - (k_2 + k_p)$	$D_{min} - k_p$	$D_{min} - (k_2 + k_p)$	
$t_{шmin} = t_{min} + \Delta \varepsilon$		$t_{min} - k_p$	$t_{min} - (k_2 + k_p)$	$t_{min} - k_p$	$t_{min} - (k_2 + k_p)$	
$D_{шmax} = D_{шmin} + \Delta D_{ш}$		$D_{шmin} + \Delta D_{ш}$	$D_{шmin} + \Delta D_{ш}$	$D_{шmin} + \Delta D_{ш}$	$D_{шmin} + \Delta D_{ш}$	
$t_{шmax} = t_{шmin} + \Delta t_{ш}$		$t_{шmin} + \Delta t_{ш}$	$t_{шmin} + \Delta t_{ш}$	$t_{шmin} + \Delta t_{ш}$	$t_{шmin} + \Delta t_{ш}$	
$D_{max} = D_{шmax} + \Delta \varepsilon$		$D_{шmax} + h_p + \Delta \varepsilon$	$D_{шmax} + (k_2 + k_p) + \Delta \varepsilon$	$D_{шmax} + h_p + \Delta \varepsilon$	$D_{шmax} + (k_2 + k_p) + \Delta \varepsilon$	
$t_{max} = t_{шmax} + \Delta \varepsilon$		$t_{шmax} + h_p + \Delta \varepsilon$	$t_{шmax} + (k_2 + k_p) + \Delta \varepsilon$	$t_{шmax} + h_p + \Delta \varepsilon$	$t_{шmax} + (k_2 + k_p) + \Delta \varepsilon$	

Расчет диаметра контактных площадок ведется из условия сохранения целостности контактной площадки (отсутствие разрыва) при сверлении плат. Учитываются явления подтравливания и разраствания проводящего слоя, погрешности относительного расположения отверстия и контактной площадки (рис. 3).

Расчет следует начинать с определения минимального эффективного диаметра контактной площадки по формуле

$$D_{min} = 2 \left(b_M + \frac{d_{max}}{2} + \delta_{отв.} + \delta_{к.п.} \right).$$

Наименование и величина каждой составляющей в приведенной и последующих формулах даны в табл. 7.

При расчете минимального эффективного диаметра контактной площадки D_{min} принимают величину b_M в соответствии с рассматриваемым классом платы (табл. 2). Максимальный диаметр монтажного отверстия равен $d_{max} = d_{св.} + \Delta d$, где Δd определяется точностью изготовления сверла и его биением. В свою очередь рассчитывают $d_{св.} = d_{м.отв.} + (0,1 \dots 0,15)$. При этом $d_{м.отв.}$ выбирают из ряда, рекомендуемого ОСТом, и с учетом собираемости со штыревыми выводами ЭРЭ и ИС. Следует отметить, что коэффициент $0,1-0,15$ - величина усреднения и учитывает минимально допустимую толщину слоя гальванической меди 25 мкм, слой металлорезиста, усадку отверстия после сверления, а также возможный разброс толщины при гальваническом осаждении меди и металлорезиста.

Возможно смещение центра монтажного отверстия $\delta_{отв.}$ относительно координатной сетки (рис. 3) после сверления вследствие неточности сверлильного станка и погрешности базирования платы на станке. Оно определяется $\delta_{отв.} = \delta_0 + \delta_5$. Смещение центра контактной площадки $\delta_{к.п.}$ (рис. 3) зависит от точности расположения ее рисунка на шаблоне, погрешности экспонирования, погрешностей расположения базовых отверстий в фотошаблоне и заготовке платы и определяется $\delta_{к.п.} = \delta_{ш.} + \delta_2 + \frac{1}{2}(\delta_M + \delta_3)$. При расчете $\delta_{к.п.}$ для внутренних слоев МПП, изготавливаемых по способу А, в приведенной контактной формуле добавляется член δ_M , учитывающий смещение контактной площадки на слое вследствие линейной деформации материала. При толщине материала $H_M = 0,1-0,2$ мм, $\delta_M = 0,05\% H_M$; при $H_M = 0,2-0,25$ мм, $\delta_M = 0,03\% H_M$; при $H_M = 0,5$ мм и более $\delta_M = 0$.

При изготовлении слоев МШ по способу Б

$$\delta'_{кп} = \delta_{ш} + \delta_3 + \delta_n + \delta_{пр} + \frac{\delta_{лф}}{2}$$

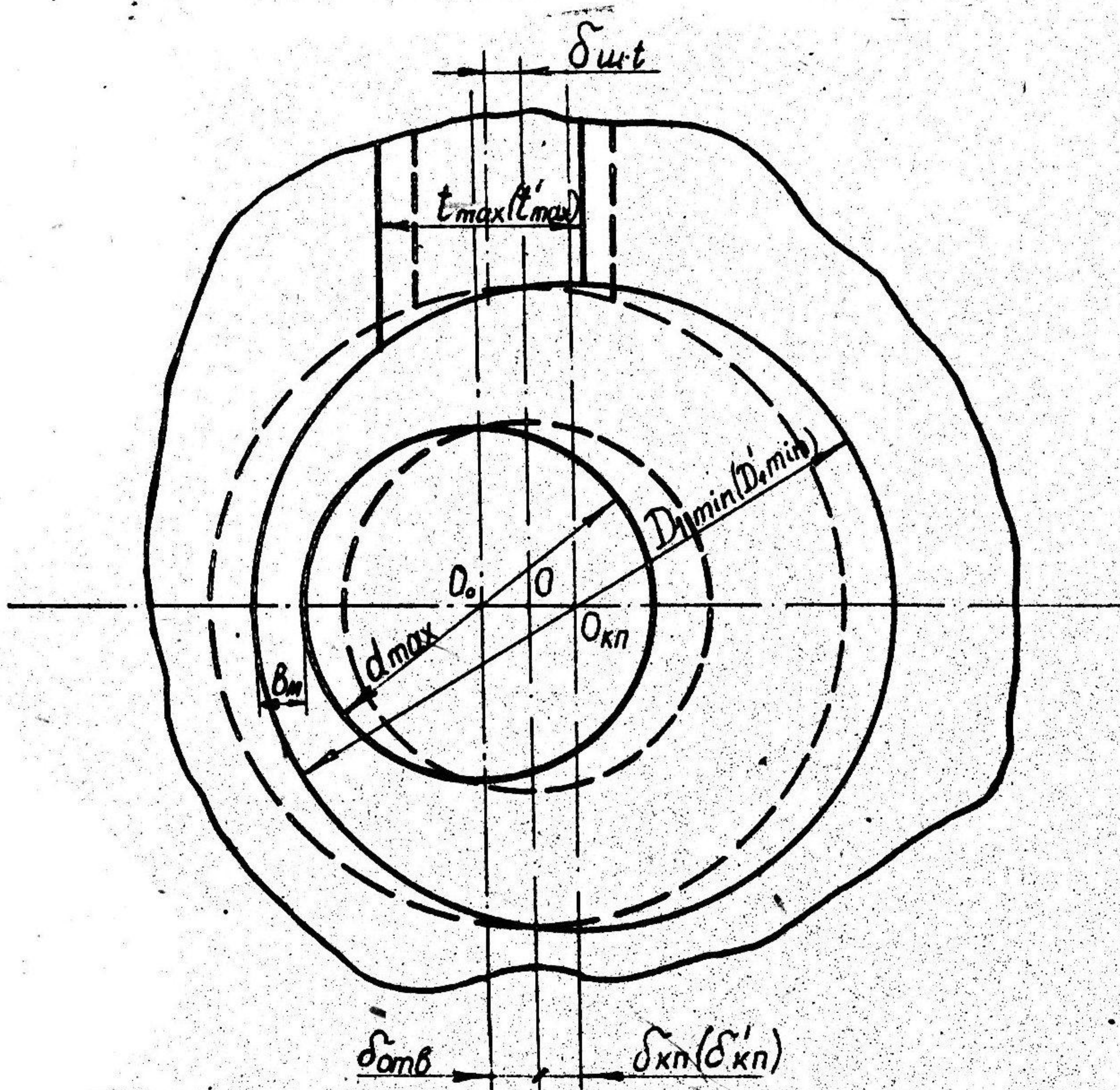


Рис. 3. Схема смещения контактной площадки и отверстия в Ш

Расчет ширины проводников ведется из условия сохранения достаточной прочности сцепления проводника с диэлектриком, зависящей от адгезионных свойств материала основания и гальваностойкости фольги. Минимальная эффективная ширина проводника t_{min} определена экспериментально и равна 0,18 мм для плат 1-го и 2-го классов. Для плат, изготовленных электрохимическим (полуаддитивным) методом, она принимается равной 0,15 мм.

При выполнении домашнего задания t_{min} следует выбирать из табл. 2 в соответствии с заданным классом точности платы.

В зависимости от метода изготовления III и, следовательно, толщины слоя меди на поверхности диэлектрика перед травлением его с пробельных мест величина подтравливания будет различной (см. рис. 2). Коэффициент 1,5 в формулах расчета минимальных размеров диаметров контактных площадок и ширины проводников (табл. 8) отражает особенность струйного направленного травления, обеспечивающего боковое подтравливание несколько меньше, чем величина травления по глубине. В формулах учитывается и величина разращивания при осаждении гальванической меди и металлорезиста. Если металлорезистом является оплаваемый сплав олово-свинец, то разращивание k_p устраняется последующим оплавлением ($k_p = 0$).

Максимальные размеры контактных площадок и проводников зависят от точности изготовления фотошаблона и погрешности экспонирования (см. табл. 8). В формулах расчета D_{max} и t_{max} учитывается разращивание гальванической меди и металлорезиста при наличии на поверхности платы маски из краски (сеточно-графический способ). Если маска выполнена на основе сухого пленочного фоторезиста, то разращивание отсутствует (или минимально), что и учитывается при расчетах (см. рис. 2).

Зная D_{max} и t_{max} , можно выполнить расчет минимальных расстояний между элементами печатного монтажа, например между проводником и контактной площадкой

$$S_{min} = \ell - \left[\left(\frac{D_{max}}{2} + \delta_{ш} \right) + \left(\frac{t_{max}}{2} + \delta_{шт} \right) \right],$$

где ℓ - расстояние между центрами рассматриваемых элементов; между двумя контактными площадками

$$S_{min} = \ell - (D_{max} + 2\delta_{ш});$$

между двумя проводниками

$$S_{min} = \ell - (t_{max} + 2\delta_{шт}).$$

Расчет узких мест ведут с точки зрения возможности прокладки n -го количества проводников между элементами печатного монтажа и конструктивными элементами печатной платы (табл. 9).

Формулы для расчета узких мест

Минимальное расстояние для прокладки проводников	Расчетная формула
Между двумя контактными площадками	$L_{min} = \left(\frac{D_{max} + D_{2max}}{2} + 2\delta_{кр} \right) + (t_{min} + 2\delta_{шт}) \times n + S_{min} \cdot (n-1)$
Между двумя неметаллизированными отверстиями	$L_{min} = \left(\frac{d_{max} + d_{e_{max}}}{2} + 2\delta_{отв} \right) + (t_{max} + 2\delta_{шт}) \times n + S_{min} \cdot (n-1) + 2a$
Между контактной площадкой и неметаллизированным отверстием	$L_{min} = \left(\frac{D_{max} + \delta_{кр}}{2} \right) + \left(\frac{d_{max} + \delta_{отв}}{2} \right) + (t_{max} + 2\delta_{шт}) \times n + S_{min} \cdot n + a$
Между контактной площадкой и краем платы	$L_{min} = \left(\frac{D_{max} + \delta_{кр}}{2} \right) + (t_{max} + 2\delta_{шт}) \cdot n + S_{min} \cdot n + a$
Между неметаллизированным отверстием и краем платы	$L_{min} = \left(\frac{d_{max} + \delta_{отв}}{2} \right) + (t_{max} + 2\delta_{шт}) \cdot n + S_{min} \cdot (n-1) + 2a$

Примечания: 1. Формулы приведены для ДПП и наружных слоев МПП.

2. Для расчета ОПП и внутренних слоев МПП подставляются значения D'_{max} , D'_{2max} , t' .

3. S_{min} определяется расчетным путем или выбирается из табл. 2.

4. Расстояние a от края платы, выреза, неметаллизированного отверстия до эле-

ментов печатного монтажа берут равным номинальной толщине платы, а для плат тол-
щиной менее чем 1 мм и ППКА должно быть не менее чем 1 мм.

§ 5. Порядок выполнения домашнего задания

Содержание варианта домашнего задания (табл. 10) включает схему конструкции печатной платы, задаваемой типом платы (I, II, III, IV); класс платы (1, 2, 3), минимальное расстояние между соседними монтажными отверстиями (1, 25; 2, 5; 3, 75; 5, 0), диаметр металлизированного монтажного отверстия (0, 6; 0, 8; 1, 0; 1, 3), способ получения рисунка печатного монтажа (фотохимический, сеточно-графический). Шифр варианта задания записывается в виде

III-2-2,5-0,8(СТ)

и означает: Плата III-го типа, 2-го класса, минимальное расстояние между монтажными отверстиями 2,5 мм, диаметр отверстий 0,8 мм, при получении рисунка использовать сеточнографический способ.

Задание предусматривает:

определение типа платы по схеме ее конструкции;
выбор метода изготовления платы;
выбор материала платы, расчет толщины платы по коэффициенту γ и выбор ближайшего значения толщины из ряда, рекомендуемого ОСТом;

расчет размеров D и t элементов печатного монтажа с учетом технологических коэффициентов;

расчет числа проводников, которые можно провести между соседними монтажными отверстиями (или расчет минимального расстояния между отверстиями, позволяющего провести один проводник);

расчет других узких мест (табл. 9);

вычерчивание узких мест с изображением всех геометрических параметров печатного монтажа, полученных расчетным путем;

выбор последовательности основных операций технологического процесса изготовления печатной платы;

вычерчивание эскизов основных операций с изменением геометрического рисунка элементов печатного монтажа.

Задание оформляется на листах II формата. Материал излагается в последовательности, указанной выше. При выборе метода изготовления, расчетных формул, значений технологических коэффициентов даются соответствующие пояснения. Полученные результаты обсуждаются. Выполненное задание подлежит защите у консультанта.

Содержание вариантов домашнего задания

Таблица 10

Конструкция печатной платы		Обоз.	Класс платы	Расстояние между монтажными отверстиями	Диаметр монтажных отверстий (мм)	Способ получения рисунка печатного монтажа	
Схема конструкции							
		I	I 2	1,25 3,75	0,6 1,0	0,8 1,3	Фотохимический (ФХ) Сеточнографич. (СТ)
		II	I 2	1,25 3,75	0,6 1,0	0,8 1,3	Фотохимический (ФХ) Сеточнографич. (СТ)
		III	I, 2 3	1,25 3,75	0,6 1,0	0,8 1,3	Фотохимический (ФХ) Сеточнографич. (СТ)
		IV	I 2	1,25 3,75	0,6 1,0	0,8 1,3	Фотохимический (ФХ) Сеточнографич. (СТ)

Обозначения: 1-контактная площадка 2-основание-диэлектрик 3-проводник 4-отверстие монтажное 5-стеклоткань пропиточная

ВАРИАНТЫ ДОМАШНЕГО ЗАДАНИЯ

I - конструкция платы; 2 - класс платы; 3 - минимальное расстояние между соседними монтажными отверстиями, мм; 4 - диаметр металлизированных монтажных отверстий, мм; 5 - способ получения рисунка печатного монтажа. Условная запись - II-I-3, 75-0,8 Ф.Х.

№ п/п	I	2	3	4	5	№ п/п	I	2	3	4	5
1.	I	I	1,25	0,6	ФХ	31.	II	I	3,75	0,6	ФХ
2.	I	2	1,25	0,6	СТ	32.	II	2	3,75	0,6	СТ
3.	I	I	2,5	0,6	ФХ	33.	II	I	3,75	0,8	ФХ
4.	I	2	2,5	0,8	СТ	34.	II	2	3,75	0,8	СТ
5.	I	I	3,75	0,6	ФХ	35.	II	I	5,0	0,6	ФХ
6.	I	2	3,75	0,8	СТ	36.	II	2	5,0	0,6	СТ
7.	I	I	5,0	0,6	ФХ	37.	II	I	5,0	1,3	ФХ
8.	I	2	5,0	1,3	СТ	38.	II	2	5,0	1,3	СТ
9.	I	I	1,25	0,8	ФХ	39.	II	I	5,0	1,0	ФХ
10.	I	2	1,25	0,8	СТ	40.	II	2	5,0	1,0	СТ
11.	I	I	2,5	1,0	ФХ	41.	II	I	5,0	0,8	ФХ
12.	I	2	2,5	1,3	СТ	42.	II	2	5,0	0,8	СТ
13.	I	I	3,75	1,0	ФХ	43.	III	I	1,25	0,6	ФХ
14.	I	2	3,75	1,3	СТ	44.	III	2	1,25	0,6	СТ
15.	I	I	1,25	1,0	ФХ	45.	III	3	1,25	0,6	СТ
16.	I	2	1,25	1,0	СТ	46.	III	I	1,25	0,8	ФХ
17.	II	I	1,25	0,6	ФХ	47.	III	2	1,25	0,8	СТ
18.	II	2	1,25	0,6	СТ	48.	III	3	1,25	0,8	СТ
19.	II	I	1,25	0,8	ФХ	49.	III	3	1,25	1,0	ФХ
20.	II	2	1,25	0,8	СТ	50.	III	I	2,5	0,6	СТ
21.	II	I	1,25	1,0	ФХ	51.	III	2	2,5	0,6	ФХ
22.	II	2	1,25	1,0	СТ	52.	III	3	2,5	0,6	ФХ
23.	II	I	2,5	0,6	ФХ	53.	III	I	2,5	1,3	ФХ
24.	II	2	2,5	0,6	СТ	54.	III	3	2,5	1,3	СТ
25.	II	I	2,5	0,8	СТ	55.	III	I	3,75	1,0	ФХ
26.	II	2	2,5	0,8	ФХ	56.	III	3	3,75	1,0	СТ
27.	II	I	2,5	1,3	ФХ	57.	III	I	3,75	1,3	ФХ
28.	II	2	2,5	1,3	СТ	58.	III	3	3,75	1,3	СТ
29.	II	I	3,75	1,3	ФХ	59.	III	I	5,0	0,6	ФХ
30.	II	2	3,75	1,3	СТ	60.	III	3	5,0	0,8	СТ

№ п/п	I	2	3	4	5
61.	III	1	5,0	1,0	ФХ
62.	III	3	5,0	1,3	ФХ
63.	III	3	3,75	0,6	ФХ
64.	III	1	3,75	0,8	СТ
65.	III	2	3,75	0,8	ФХ
66.	III	2	5,0	1,0	СТ
67.	III	2	5,0	0,6	СТ
68.	III	2	2,5	0,8	СТ
69.	III	1	1,25	1,0	СТ
70.	IV	1	1,25	0,6	ФХ
71.	IV	2	1,25	0,6	СТ
72.	IV	1	1,25	0,8	ФХ
73.	IV	2	1,25	0,8	СТ
74.	IV	1	1,25	1,0	ФХ
75.	IV	2	1,25	1,0	СТ
76.	IV	1	2,5	0,6	ФХ
77.	IV	2	2,5	0,8	СТ
78.	IV	1	2,5	1,0	ФХ
79.	IV	2	2,5	1,0	СТ
80.	IV	1	2,5	1,3	ФХ
81.	IV	2	2,5	1,3	СТ
82.	IV	1	3,75	0,6	ФХ
83.	IV	2	3,75	0,8	СТ
84.	IV	1	3,75	1,0	ФХ
85.	IV	2	3,75	1,3	СТ
86.	IV	1	5,0	0,6	ФХ
87.	IV	2	5,0	0,8	СТ
88.	IV	1	5,0	1,0	ФХ
89.	IV	2	5,0	1,3	СТ
90.	IV	2	5,0	0,6	СТ