

ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

С 1952 г. в промышленности во все большем объеме находят применение печатные платы (ПП), ставшие доминирующим монтажным элементом в электронных приборах вследствие значительных преимуществ по сравнению с объемным монтажом.

С начала промышленного изготовления РЭА наблюдается стремление изготавливать весь монтаж за один производственный цикл. К пионерам этой области относится Эдисон, который уже в 1906 г. описал способ изготовления проводников на изоляторе с помощью металлического порошка.

Дальнейшим технологическим решением явилась разработка компанией Telefunken в 1927 г. метода монтажа из отштампованных соответствующим образом полосок латунной фольги, которые вместе с необходимыми элементами наклепывались на изоляционное основание. Однако эти и им подобные методы не нашли применения, так как они в целом не обеспечивали радикального упрощения технологии монтажа и не были экономически оправданы. Кроме того, быстрое техническое развитие электротехники и электроники обуславливало частые схемотехнические изменения, выполнение которых на основе описанных и аналогичных технических решений было проблематично.

Только технология керамики в сочетании с трафаретной печатью открыла широкие возможности на пути изготовления электромонтажа как единого целого. Исходя из опыта разработки высокочастотных керамических материалов и техники вжигания серебряных покрытий с целью производства керамических конденсаторов, на бывших предприятиях Hescha - Werken в Хермсдорфе были проведены успешные опыты по изготовлению печатных проводников на основе этой технологии. Постепенное дальнейшее развитие этой технологии привело уже в конце 30-х годов прошлого века к изготовлению комплексных схем, содержащих помимо проводников индуктивности, емкости и печатные сопротивления. Термин «печатная схема» относится к тому времени, когда при помощи трафаретной печати на керамические подложки, по желаемому рисунку проводников, наносили пасты из металлического порошка (преимущественно на основе серебра со смолистыми связующими), которые после сушки в процессе обжига отверждались и спекались. Трудоемкость, многочисленные недостатки при изготовлении и особенно использование этих первых печатных схем (ограниченные возможности пайки элементов, низкая прочность сцепления проводников на подложке, малые размеры, высокие тепловые нагрузки при спекании) привели к тому, что эта техника не нашла широкого распространения. Лишь позднее в микроэлектронике она приобрела значение в виде толсто пленочной технологии и, в меньшей степени, при изготовлении керамических коммутационных плат.

В 1925 г. в США был выдан патент № 1582683 Ф. Т. Гармону, в котором была описана обычная в наши дни техника травления. Этим был сделан первый шаг к действительно новой технике монтажа. Однако быстрое развитие этой технологии началось лишь в начале сороковых годов, когда в Англии П. Айслер разработал новый вариант технологии. Он исходил из известного уже диэлектрика с металлическим покрытием и получал желаемый рисунок проводников в процессе травления непосредственно на поверхности изоляционного основания. Несмотря на многочисленные, разработанные в прошлые десятилетия варианты изготовления ПП с применением масок (например, различными гальваническими способами, методом переноса, способом штамповки, чеканки и прессования), *метод субтрактивного* (от латинского subtractio - отнимание) травления фольги (химический метод) приобрел выдающееся значение и широко применяется до сих пор.

Главный недостаток техники травления заключается в том, что собственно цель - изготовление структуры электромонтажа - достигается обходным путем, а именно посредством стравливания определенных участков металлического покрытия базового материала. Поэтому неудивительно, что неоднократно предпринимались попытки

изготавливать платы «прямым путем» при помощи *аддитивного* (от латинского *additio* - прибавлять) способа, причем необходимо было сохранить плоскостную структуру и применение масок. После многолетних целенаправленных разработок лишь в конце XX века удалось изготовить аддитивным способом высококачественные ПП, которые по своим техническим и экономическим параметрам смогли сравниться с изделиями, полученными химическим методом.

Последней ступенью разработок при изготовлении плоскостных многослойных монтажных структур является способ наращивания, при котором ПП с несколькими монтажными плоскостями наращивается слой за слоем в едином технологическом процессе (толстопленочная или тонкопленочная технология).

Под *печатной платой* понимают соединение из изоляционного основания и структурированных металлических слоев, которое служит для электромонтажа элементов и узлов, а также в большинстве случаев и для их механического закрепления.

Печатная плата с установленными на ней электрорадиоэлементами представляет собой особую форму узлов и называется *печатным узлом*; система электрических соединений в виде участков металлического покрытия, используемая вместо объемных проводников, называется *печатным монтажом*.

Печатные платы состоят из одного или нескольких слоев, каждый из которых представляет собой изоляционный материал с односторонним или двухсторонним расположением печатных проводников. В многослойных печатных платах необходимы соединительные изоляционные прокладки для механического соединения отдельных слоев платы и электрической изоляции токоведущих покрытий. Проводники, лежащие в одной плоскости, называют *печатным рисунком*. По функциональному назначению различают сигнальные, потенциальные (заземление, питание), экранирующие и технологические слои проводников, а по расположению - внутренние и внешние слои.

Кроме печатного монтажа, платы могут иметь следующие конструктивные элементы:

- монтажные отверстия и контактные площадки;
- базовые площадки и отверстия для механических элементов;
- контактные площадки и кодирующие элементы для электрических соединителей;
- внутренние контактные площадки;
- печатные элементы (индуктивности, емкости, сопротивления);
- теплопроводящие и теплоотводящие участки;
- маркировку;
- маски для пайки, защитные покрытия мест пайки и лаковые защитные покрытия.

Так как печатные проводники на плате изолированы друг от друга диэлектрическим материалом с удельным сопротивлением около 10^{11} Ом*см и относительной диэлектрической постоянной от 3 до 6, индуктивности, емкости и волноводы могут изготавливаться печатным способом.

Увеличение плотности монтажа, уменьшение длины проводников и возможность выполнения печатных элементов наряду с миниатюризацией обеспечивают заметное повышение скорости обработки данных. Исключение проводов и свободно расположенных элементов обеспечивает повышенную устойчивость при вибрационных и ударных нагрузках, а, следовательно, повышенную надежность. Путем равномерного расположения проводников могут быть значительно сокращены операции по контролю и наладке. Установка элементов и их контроль также значительно облегчаются вследствие наглядного расположения элементов и возможной маркировки мест установки элементов, проводников, измерительных и контрольных точек с помощью обозначений, выполняемых краской или травлением. Защитные покрытия, представляющие собой, как правило, лаковые слои на основе канифоли, эпоксидных или полиэфирных смол, компенсируют недостатки печатного монтажа. Они устраняют опасность образования

электрических мостиков между слоями проводников, возникающих вследствие загрязнения и влаги, и защищают проводники от воздействия агрессивных сред.

Использование ПП требует комплексного рассмотрения всех этапов производства, начиная с проектирования, подготовки и промышленного внедрения и кончая сборкой в электронные узлы.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДВУХСТОРОННИХ ПЕЧАТНЫХ

Существуют разнообразные методы изготовления печатных плат, отличающиеся друг от друга способом создания проводящего покрытия. Получившие наибольшее применение в промышленности методы изготовления печатных плат могут быть объединены по технологическим признакам в три основные группы.

Первая группа - получение печатных проводников осаждением электролитической меди на изоляционное основание. Для этого используют следующие методы: фотоэлектрохимический, офсетноэлектрохимический, сеточноэлектрохимический, прессоэлектрохимический.

Вторая группа - получение печатных проводников травлением фольгированного изоляционного материала. Для этого используют следующие методы: фотохимический, офсетнохимический, сеточнохимический.

Третья группа – комбинированные методы изготовления печатных плат.

Для изготовления двухсторонних печатных плат применяют комбинированные методы, в которых печатные проводники получают путем химического травления фольги, а межслойные электрические соединяются путем металлизации монтажных отверстий.

Существуют две разновидности комбинированного метода:

1.Негативный.

2.Позитивный.

В негативном варианте печатные проводники получают с негатива их изображения. Однако позитивный вариант обеспечивает следующие преимущества. При позитивном варианте комбинированного метода в отличие от негативного основные операции проводят до химического травления фольги, что обеспечивает следующие преимущества этого метода: предотвращается срыв печатных проводников и контактных площадок при сверлении монтажных отверстий, т.к. сверление проводится до формирования проводников в фольге заготовки; для гальванической металлизации отверстий не требуется контактного приспособления; во время металлизации отверстия значительно сокращается вредное воздействие сильных химических реагентов на диэлектрик печатных плат.

В основе технологии изготовления двухсторонних печатных плат с переходными соединениями методом травления фольги лежат те же процессы, что и при создании односторонних печатных плат, дополненных созданием переходных соединений. Их реализация, т. е. электрическое соединение двух сторон печатной платы, является самой критичной технологической операцией. Имеются многочисленные попытки удовлетворительно решить эту проблему. Методы, основанные на впаивании проволоки или штифтов или на применении полых заклепок, малопригодны для массового производства и характеризуются относительно низкой надежностью.

По стандартной технологии печатные платы изготавливают на фольгированном диэлектрике комбинированным позитивным или комбинированным негативным методом. Их называют комбинированными потому, что в обоих случаях вытравливание рисунка печатных проводников производится химическим способом, а наращивание меди на проводники и контактные площадки – электрохимическим.

Комбинированный позитивный метод. Последовательность основных операций изготовления ПП позитивным методом показана на рис. 1.

Заготовка из фольгированного стеклотекстолита или гетинакса покрывается слоем фоторезиста (рис.1,а).

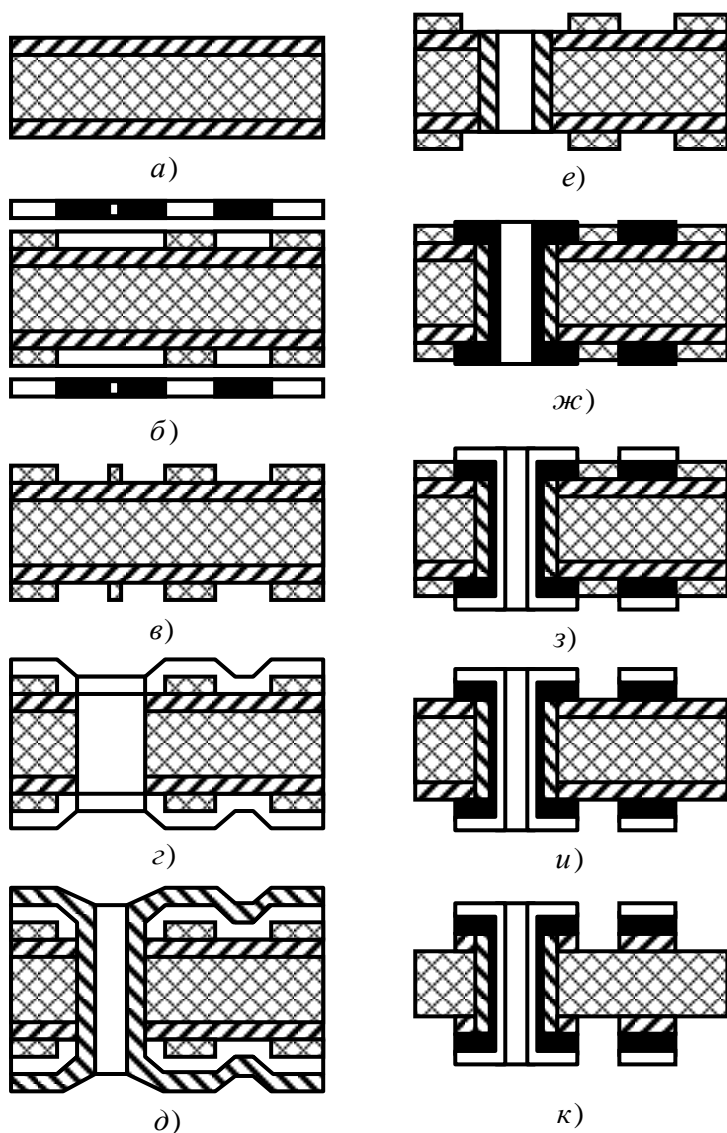


Рис.1 Последовательность операций изготовления печатных плат комбинированным позитивным методом:

- а) – заготовка из фольгированного диэлектрика;
- б) – нанесение фоторезиста и экспонирование через фотошаблон;
- в) – проявление защитного рельефа;
- г) – нанесение защитного слоя и сверление отверстий;
- д) – химическое меднение;
- е) – удаление защитного слоя;
- ж) – гальваническое осаждение меди;
- з) – гальваническое нанесение защитного покрытия;
- и) – удаление фоторезиста;
- л) – травление фольги.

Фоторезист – это высокомолекулярное соединение, которое изменяет свои свойства под действием ультрафиолетового излучения.

С одной стороны, смещение спектральной чувствительности в коротковолновую область спектра – это хорошо, так как позволяет обходиться без темного помещения

и работать при свете обычных ламп накаливания. С другой стороны, чувствительность к ультрафиолетовым лучам вызывает необходимость использования ртутных ламп в кварцевом баллоне, которые менее удобны в эксплуатации, чем обычные.

Под действием излучения происходит фотополимеризация слоя, в результате которой пропадает растворимость в обычных растворителях, поэтому после проявления на освещенных участках поверхности образуется защитный рельеф, а на затемненных – слой фоторезиста остается без изменения и в дальнейшем вымывается.

Экспонирование фоторезистов, нанесенных на поверхность фольгированного диэлектрика, производится через фотошаблон (рис.1,б), в котором система прозрачных и непрозрачных участков образует требуемый рисунок проводников и контактных площадок. При последующем проявлении удаляется часть фоторезиста и образуется защитный рельеф, с рисунком и размерами, определяемыми фотошаблоном (рис.1,в). При этом методе защитный слой фоторезиста сохраняется на пробельных участках, а проводники и контактные площадки остаются открытыми. Поскольку фотошаблон при подобном процессе соответствует позитивному изображению печатной платы (темные проводники на светлом фоне), то и сам метод называют позитивным.

После проявления рисунка схемы плату покрывают слоем лака для защиты от механических повреждений и направляют на сверление отверстий (рис.1,г). Эта операция нарушает непрерывность процесса, так как сушка и задубливание лака занимают несколько часов. Затем сверлят переходные и монтажные отверстия и производят их химическое меднение (рис.1,д). Далее следует удаление защитного слоя (рис.1,е) и гальваническое осаждение меди на проводники, контактные площадки и в отверстия (рис.1,ж).

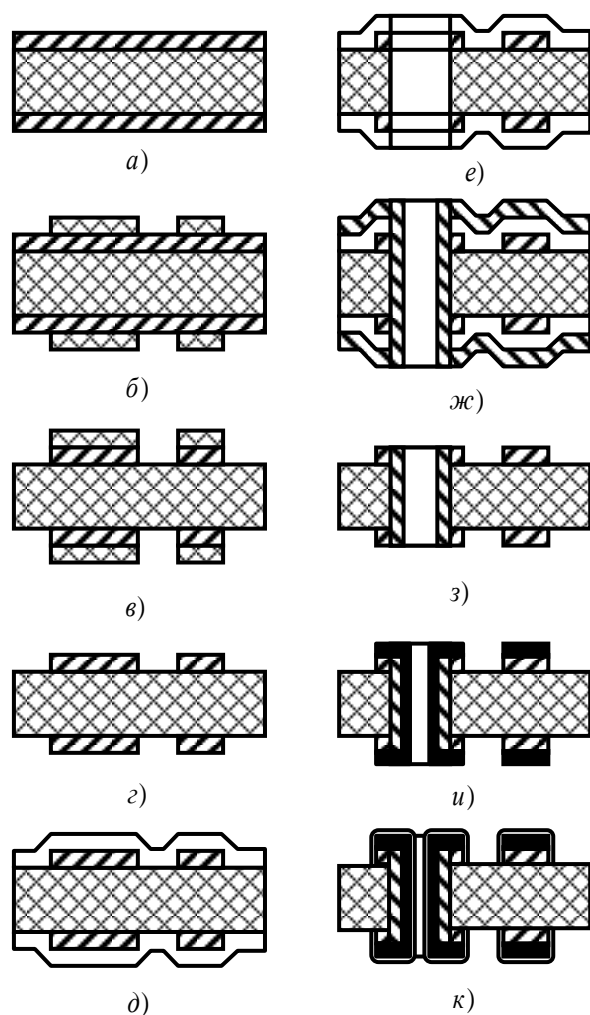
При электролитическом наращивании соединение с катодом осуществляется сплошным слоем медной фольги, покрывающим диэлектрик. Этот слой защищает также поверхность диэлектрика от воздействия электролита.

На следующем этапе поверх медного слоя гальваническим способом наносят защитное покрытие из сплава олово-свинец (рис.1,з), после чего с пробельных мест удаляют защитный слой фоторезиста и стравливают фольгу (рис.1,и, к).

Изготовление ПП завершается химической обработкой защитного покрытия (осветлением) для улучшения его способности к пайке (окончательная отмывка и консервация). Позитивный метод позволяет изготавливать ПП с повышенной плотностью монтажа, например, с расстоянием между проводниками в узких местах 0,35 – 0,5 мм, с хорошими электрическими параметрами и высокой прочностью сцепления проводников с основанием.

Комбинированный негативный метод. При негативном методе защитный слой фоторезиста наносится на проводники и контактные площадки, поэтому фотошаблон имеет негативное изображение платы (прозрачные проводники на темном фоне). Порядок операций при этом изменяется, но их количество и общий характер сохраняются. После покрытия платы лаком для ее защиты от механических повреждений производят сверление отверстий и их химическую металлизацию.

Следующей операцией является гальваническое осаждение меди на проводники и отверстия. Для обеспечения электрического контакта с катодом создают дополнительные технологические проводники (перемычки) и прошивают отверстия платы медным проводом.



В некоторых случаях применяют специальные рамки и другие приспособления, обеспечивающие электрический контакт со всеми участками, на которые медь должна наращиваться гальваническим способом. Последовательность технологических операций при негативном комбинированном методе изготовления печатных плат показана

Рис.2 Последовательность операций изготовления печатных плат комбинированным негативным методом:

- а) – заготовка из фольгированного диэлектрика;
- б) – заготовка со слоем защитного фоторезиста;
- в) – стравливание фольги;
- г) – удаление фоторезиста;
- д) – нанесение слоя лака для защиты от механических повреждений;
- е) – сверление отверстий;
- ж) – химическое меднение;
- з) – удаление защитной пленки;
- и) – гальваническое осаждение меди;
- к) – гальваническое нанесение защитного слоя

на рис.2, а – к.

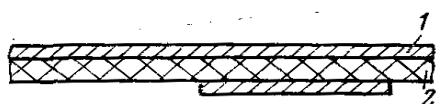
Основной недостаток негативного метода заключается в том, что щелочные и кислые растворы, применяемые при металлизации отверстий, воздействуют на участки диэлектрика, незащищенные медной фольгой, что может привести к ухудшению электрических параметров готовой платы. В то же время негативный метод менее трудоемок, чем позитивный. Поэтому в тех случаях, когда к платам не предъявляют повышенных требований, применяют комбинированный негативный метод.

ПРОИЗВОДСТВО МНОГОСЛОЙНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Многослойные печатные платы это комбинация отдельных слоев печатных проводников и изоляционных слоев. Изоляционные слои могут быть очень тонкими, так как стабильность МПП зависит от их суммарной толщины и качества соединений.

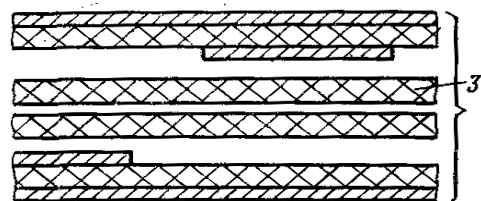
Наиболее распространенными методами изготовления МПП являются метод металлизации сквозных отверстий (МСО), метод открытых контактных площадок (ОКП), метод послойного наращивания и метод попарного прессования.

Схема технологического процесса изготовления МПП *методом металлизации сквозных отверстий* представлена на рис. 3

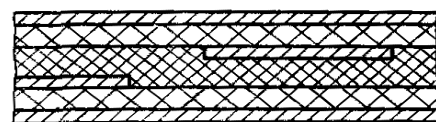


Изготовление слоя по технологии представленной на рис.1

одно- или двухсторонний фольгированный диэлектрик, создание защитного рельефа, травление, удаление резиста



Сборка слоев и изоляционных прокладок



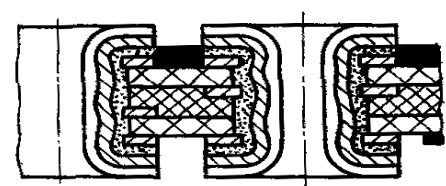
Прессование



Сверление и очистка отверстий



Подтравливание диэлектрика



Дальнейшие операция согласно технологии представленной на рис.777 сенсibilизация и активация, химическое меднение, создание защитного рельефа, гальваническое усиление меди, гальваническое осаждение металлического слоя, устойчивого к травлению, удаление резиста, травление, создание неметаллизированных отверстий, маркировка

Рис. 3. Схема технологического процесса изготовления МПП методом металлизации сквозных отверстий. 1 - медная фольга; 2 - диэлектрик; 3 - изоляционная прокладка.

В качестве исходного материала используется одно- или двухсторонний фольгированный диэлектрик (в основном стеклотекстолит). Выполнение рисунка отдельных слоев осуществляется по той же технологии, что и изготовление односторонних печатных плат, однако проводящие слои при этом могут располагаться с двух сторон диэлектрика. Затем из отдельных слоев и изоляционных прокладок собирается пакет и прессуется.

В процессе прессования связующее вещество изоляционных прокладок затвердевает и соединяет при этом слои в жесткую конструкцию. Одновременно отдельные рисунки проводников изолируются друг от друга.

Электрическое соединение отдельных слоев МПП является критической операцией, оказывающей существенное влияние на надежность всего устройства. Благодаря подтравливанию диэлектрика в отверстиях можно достигнуть трехстороннего охвата медного кольца, что обеспечивает наиболее надежное соединение.

Другим методом изготовления МПП является *метод открытых контактных площадок*. Метод открытых контактных площадок не позволяет осуществить непосредственное соединение различных слоев. Сущность этого метода состоит в следующем: если необходимо соединить печатный проводник одной плоскости с элементом или проводником другой плоскости, то во всех слоях, лежащих выше места контактирования, выполняется перфорация, как показано на рис. 4. Благодаря этому проводники различных слоев МПП становятся доступными для соединения. Можно непосредственно к ним припаять выводы радиодеталей или поставить соединяющую отдельные слои перемычку из калиброванной проволоки, которую при необходимости можно провести над поверхностью ПП. Этот метод не позволяет осуществить непрерывный технологический процесс и не соответствует требованиям серийного производства.

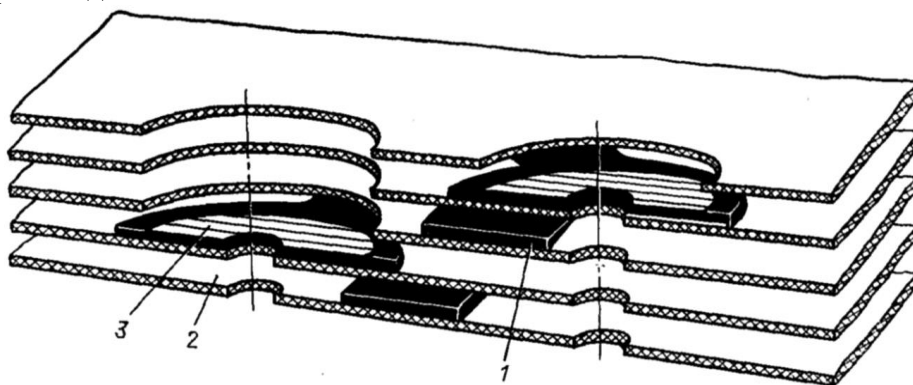


Рис. 4. Конструкция многослойной печатной платы, выполненной методом открытых контактных площадок.

1 - слой меди; 2 - диэлектрик; 3 - контактная поверхность для пайки.

Метод послойного наращивания метод формирует многослойную структуру не из заранее подготовленных слоев, а в непрерывном процессе из чередующихся изоляционных и проводящих слоев.

На рис. 5 показана схема конструкции такой многослойной керамической платы.

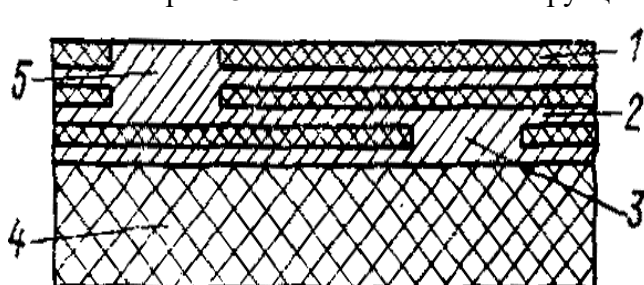


Рис. 5 Схема конструкции многослойной керамической платы.

1 - диэлектрический слой; 2- проводящий слой; 3 - межслойный переход; 4 - подложка; 5 - контактная площадка

В изоляционных слоях в месте создания межслойных переходов создаются окна. При нанесении последующего проводящего слоя создается электрическое соединение через эти окна с нижележащим проводящим слоем. Таким образом, можно последовательно нанести друг на друга несколько слоев.

В качестве подложки используется керамический материал. Нанесение слоев можно производить как на одной, так и на обеих сторонах подложки. Так как в керамике в неотожженном состоянии можно создавать отверстия, то возможно создание межслойных переходов для соединения самых нижних проводящих слоев коммутационной структуры, расположенных с обеих сторон подложки. В этом случае возможно использование на одной многослойной керамической плате преимуществ тонкопленочной и толстопленочной технологий.

При использовании толстопленочной технологии изоляционные и проводящие составы наносят с помощью трафаретной печати и затем вжигают.

Преимуществами этого метода являются:

- высокая надежность;
- высокая производительность труда;
- большая гибкость при изменениях схемы;
- незначительные затраты на оборудование.

Наряду с достоинствами имеются и недостатки:

- необходимо время на проведение операции вжигания;
- для структур с несколькими проводящими слоями должны использоваться материалы со ступенчатыми температурами вжигания;
- выбор материалов для подложек очень ограничен из-за высоких тепловых нагрузок (большой частью используют Al_2O_3 или BeO).

При использовании тонкопленочной технологии диэлектрические и проводящие слои наносят с помощью подходящего вакуумного метода (термовакuumное испарение, распыление и т. д.). Все вакуумные методы отличаются многообразием применяемых осаждаемых материалов и возможностью нанесения различных слоев в одном цикле вакуумной откачки. В то же время получаемые покрытия чувствительны к внешним механическим воздействиям, а затраты на оборудование значительны.

В методе *попарного прессования* используется две заготовки из двухстороннего фольгированного диэлектрика, на каждой из которых с одной стороны разводят монтаж, и металлизированные отверстия, соединяющие монтаж с фольгой с другой стороны. Затем эти две заготовки спрессовывают печатью внутрь, изолировав прокладкой. Заготовка имеет по обе стороны сплошную фольгу с металлизированными отверстиями, которые соединяют фольгу с печатью на ближайшем слое. После этого выполняют монтаж на наружных слоях и металлизация отверстий, которые соединяют проводники на наружных слоях. Каждое отверстие на любом слое имеет контактные площадки. Недостаток метода в том, что можно получить только 4-х слойную плату, а соединения имеют только внешние слои, 1-й со 2-м и 3-й с 4-м. Установка элементов на внешних слоях делается обычным способом;