

4 Структурирование и металлизация 3D MID интеграции

При изготовлении MID-оснований можно использовать несколько процессов формования пластмасс. После формования с помощью одного из трех ведущих формовочных процессов (простого литья под давлением, двухшагового литья или литья со вставкой) приступают к следующим этапам производственной цепи MID-изделий: структурированию и металлизации.

Структурирование MID изделий представляет процессы создания токопроводящих элементов в литом основании. Обычно процессы структурирования MID-изделий классифицируют по критерию отнесенности к одному из трех формовочных методов: простому литью под давлением, двухшаговому литью или литью со вставкой (рисунок 4.1). На сегодня для каждой из этих категорий есть процесс, подходящий для серийного производства. Процессы сильно отличаются друг от друга, главным образом по производственной цепи, затратам, продолжительности и себестоимости.

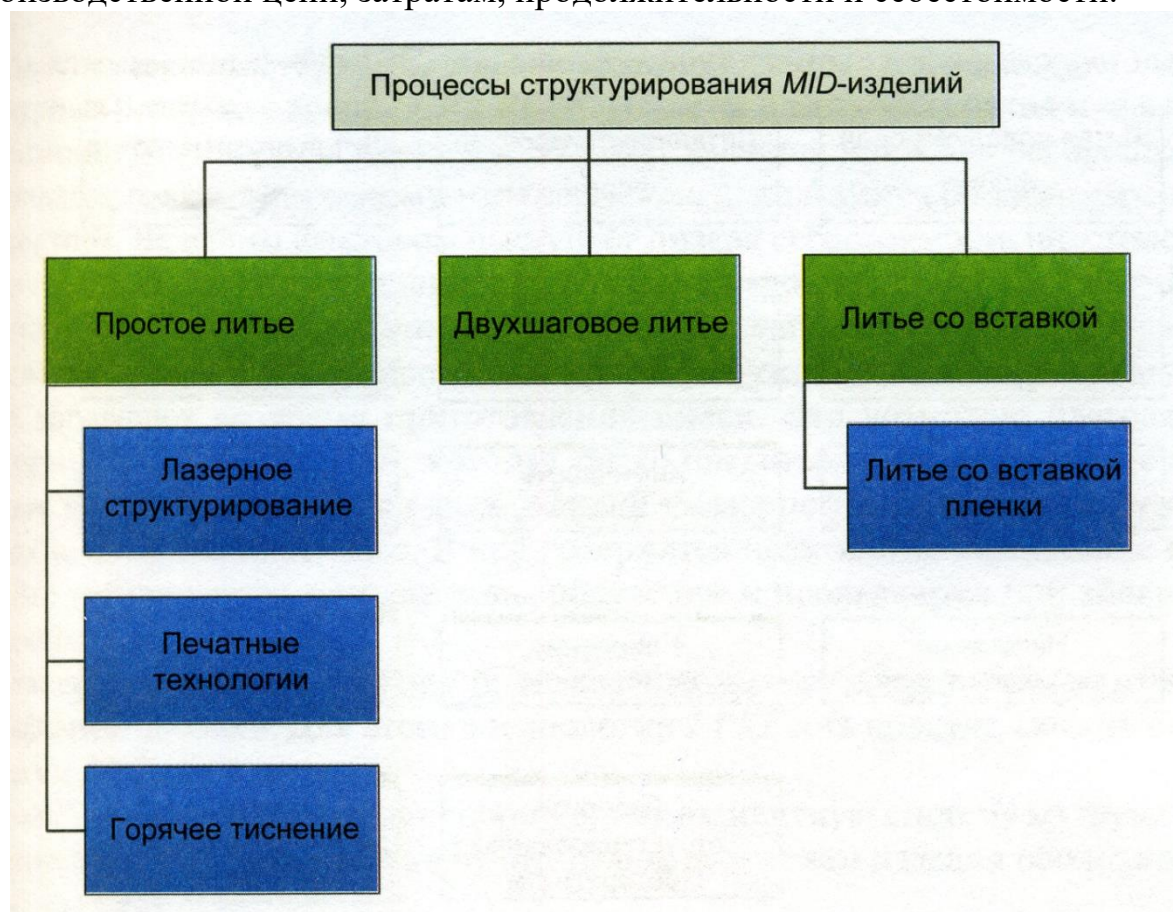


Рисунок 4.1 – Классификация процессов структурирования MID-изделий

В последние годы наряду с более давними традиционными процессами, разработаны альтернативные методы производства.

1.1 Простое литье под давлением

Для простого литья характерны высокая производительность при умеренной цене и короткие производственные циклы. С помощью шнекового

питателя термопластический материал подается в устройство для литья под давлением. Под воздействием сил сдвига и дополнительного тепла в шнековом питателе гранулы плавятся. Расплавленная пластмасса охлаждается внутри устройства и принимает свою окончательную форму. Затем устройство открывают, достают литое изделие и запускают следующий цикл. Производительность можно повысить с помощью многоэлементных формовочных пресс-форм для производства нескольких литых изделий за цикл.

1.2 Лазерное структурирование

Основные методы лазерного структурирования МІD-изделий пришли из технологии печатных плат. По этой причине различные методы обычно классифицируются как аддитивные, полуаддитивные и субтрактивные (рисунок 4.2).

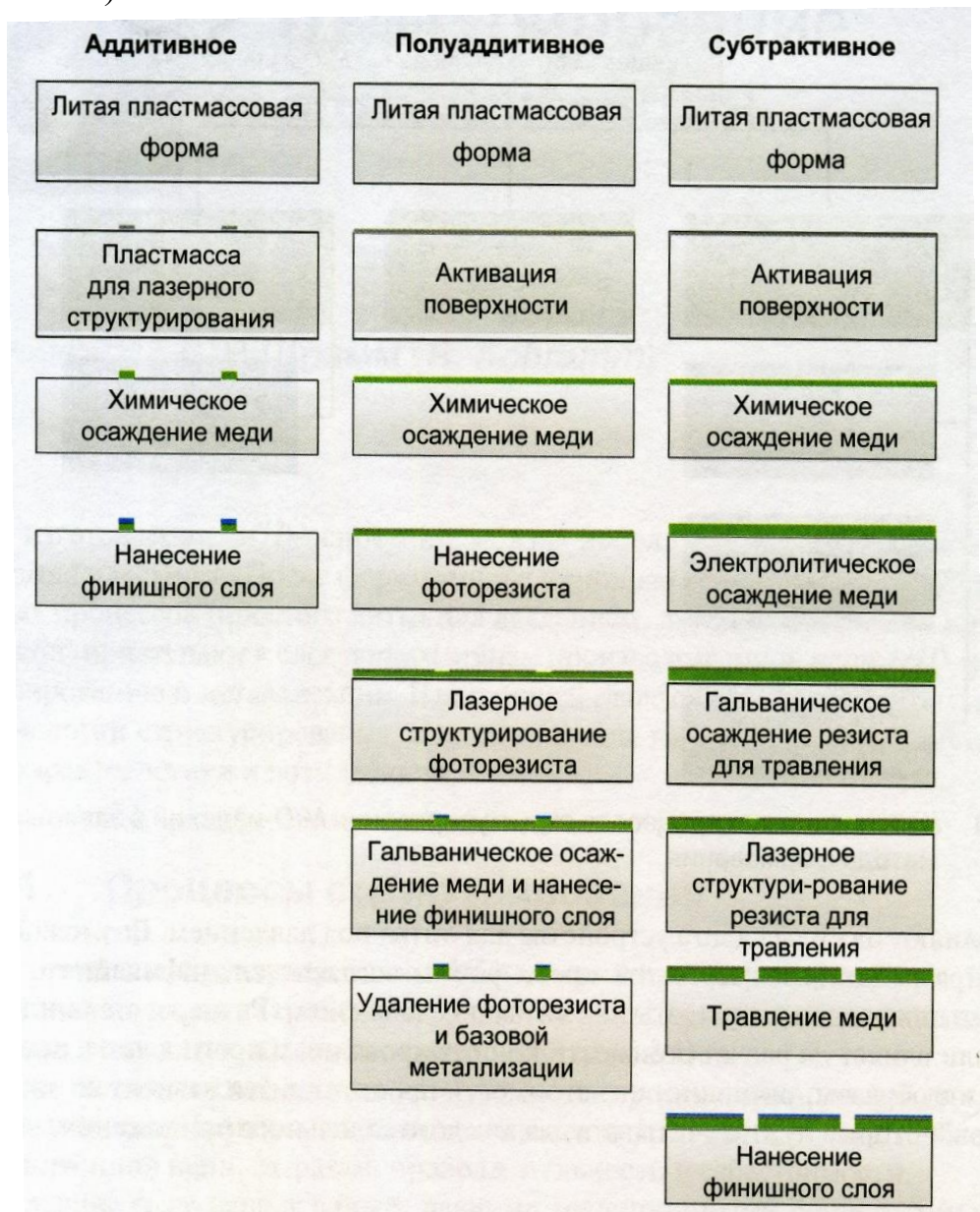


Рисунок 4.2 – Классификация методов структурирования

Прямое лазерное структурирование представляет собой аддитивный метод, самыми важными проявлениями которого являются процессы LPKF-LDS® и ADDIMID. Процесс MIPTEC, разработанный в компании Panasonic, относится к полуаддитивным методам. Методы субтрактивного лазерного структурирования обычно применяют к керамическим материалам носителя.

1.3 Процесс LPKF-LDS®

Процесс LPKF-LDS® состоит из четырех этапов: литья под давлением, лазерного структурирования пластмассы, металлизации и отделки поверхности. Пластмассы с добавкой полностью подходят для литья под давлением.

Прямое лазерное структурирование основано на принципе абляции и образовании активных центров под лазерным излучением. Лазер для структурирования Nd YAG подвергает абляции приблизительно от 1 до 2 мкм материала с поверхности и одновременно активирует добавку, необходимую для металлизации. Это создает микроскопически шероховатую поверхность, состоящую из каталитически активных центров, расположенных в микрополостях, образованных от лазера. Крошечные ямки обеспечивают надежное крепление между пластмассой и металлизированным слоем без необходимости в какой-либо дополнительной обработке после абляции (рисунок 4.3).

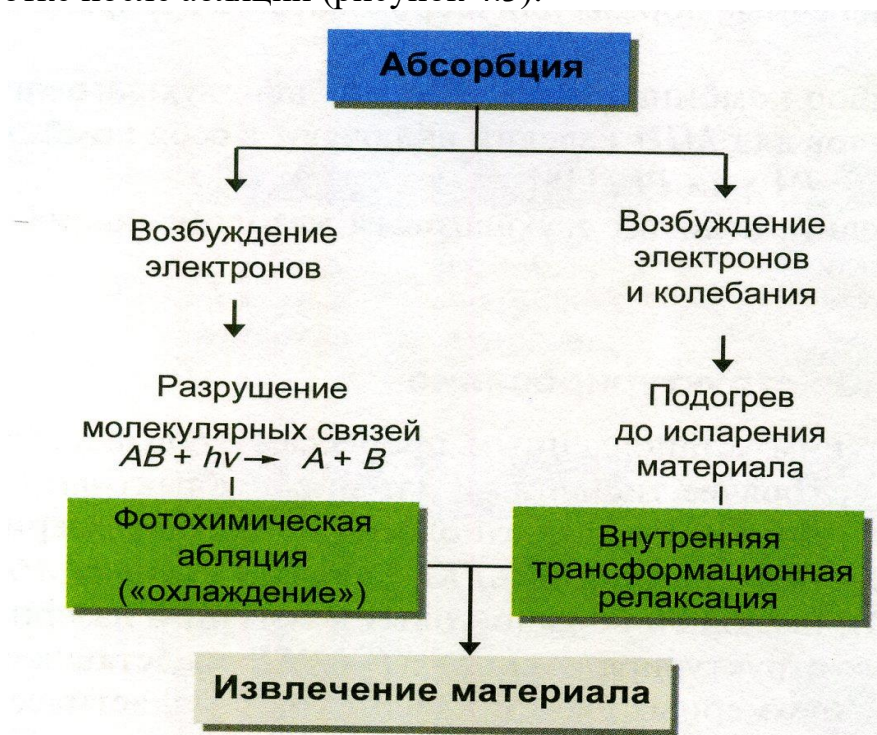


Рисунок 4.3 – Процессы при лазерном структурировании

Сегодня возможная скорость обработки достигает 4000 мм/с с замедлением при усложнении формы детали ввиду ограниченной скорости сканирования по оси z. Чем шире угол к обрабатываемой поверхности, тем

быстрее необходимо отрегулировать фокус по оси Z- При угле 45° максимальная скорость сканирования уменьшается до 1500 мм/с. В настоящее время компания ZJW рекомендует соблюдать минимальную ширину проводящей дорожки 150 мкм при минимальном интервале 200 мкм. С технической точки зрения возможны проводники шириной 100 мкм, а также меньшие интервалы. Однако для этого потребуется оптимизировать пластмассовые соединения, процессы структурирования, металлизации и монтажа компонентов. В настоящее время установлен технологический предел ширины проводника от 50 до 55 мкм.

1.4 Технология ADDIMID

Технология ADDIMID представляет собой еще один метод аддитивного лазерного структурирования. Ее можно применять для структурирования стереолитографических компонентов или литых пластмассовых форм.

Процесс был разработан в рамках научно-исследовательского проекта в Баварском лазерном центре и научно-исследовательском центре по лазерному излучению университета Фридриха-Александра в Эрлангене-Нюрнберге. Между процессами LPKF-LDS® и ADDIMID существует определенное сходство: во-первых, в производственных цепях, а во-вторых — в методе модификации пластмасс путем добавления специальных наполнителей. В настоящее время технология находится на стадии разработки, но первые результаты исследования свидетельствуют о том, что у нее есть большой потенциал.

Технология ADDIMID заключается в улучшении пластмассы с помощью добавки, состоящей из металлического порошка и электрически изолирующего лакирующего материала. Материалы, используемые на сегодняшний день в испытаниях, представляют собой мелкодисперсные порошки Si, Ni и Al с диаметром частиц в диапазоне от 0,5 до 1,2 мкм. Как и в процессе LPKF-LDS®, пластмассовые объекты отливают под давлением после того, как приготовлена смесь. Еще одним сходством метода ADDIMID с ZZW-процессом является применение для структурирования лазера Nd YAG с длиной волны 1064 нм. Также для этой цели используют лазер на CO₂ с длиной волны 10,6 мкм. Оба метода основаны на использовании двойственной природы лазерного излучения.

1.5 Технология MIPTEC

Полуаддитивный метод структурирования компании Panasonic MIPTEC (микроскопическая интегрированная технология обработки) сильно отличается от методов LPKF-LDS® и ADDIMID с точки зрения производственной цепи. Как видно из рисунка 4.4, за литьем под давлением следует полное покрытие пластмассового изделия медью. Нежелательный металл затем удаляют с помощью ультрафиолетового или инфракрасного излучения. Слои меди затем могут быть гальванически усилены. Нежелательную медь стравливают, и изделие готово для заключительной

обработки поверхности. Как правило, используют групповую заготовку для производства нескольких деталей, которые затем разделяют.



Рисунок 4.4 – Производственная цепь процесса MIPTEC

Метод удаления металлизации позволяет получать очень хорошие проводящие структуры толщиной 50 мкм с интервалами того же порядка между проводниками.

Поскольку за повсеместным покрытием следует лазерное структурирование, процесс металлизации позволяет получать высокое качество поверхности с очень незначительной шероховатостью, поэтому полупроводниковые чипы могут крепиться без последующей обработки.

В настоящее время единственными материалами, совместимыми с процессом MIPTEC, являются полифталамиды в качестве термопластичного носителя и два керамических материала, Al₂O₃ и AlN. Но открываются новые горизонты, в частности для керамических материалов. Например, уже был реализован проект из многослойного керамического материала с вертикальными соединениями и внутренней структурой проводников.

Керамические материалы, для которых характерны очень хорошая теплопроводность и минимальное тепловое расширение, обладают решающими преимуществами. Структуры проводников, получаемые путем спекания, может быть уменьшены до 30 мкм по ширине проводника и расстоянию между ними.

Применение ультрафиолетовых и инфракрасных лазеров для процесса MIPTEC подчиняется правилам проектирования, аналогичным для лазера Nd YAG и лазера на CO₂ для прямого лазерного структурирования.

Минимальный диаметр вертикальных соединений полифталамида составляет 250 мкм, а соответствующий показатель для керамических материалов составляет 400 мкм. Кроме того, в обоих носителях из пластмассы и керамики соотношение сторон вертикальных соединений равно двум. Максимальная область сканирования зависит и от материала носителя.

Собственные рекомендации для полифталамида составляют 30x65, 50x70 и 63x55,7 мм.

Для двух керамических соединений рекомендуется использовать два квадрата с ребрами 40 и 50 мм или прямоугольник размером 30x65 мм. Максимальная разница по оси z между двумя плоскостями структурирования

составляет 10 мм. Угол падения лазера для нанесения рисунка в процессе МІРТЕС составляет 90° (рисунок 4.5).

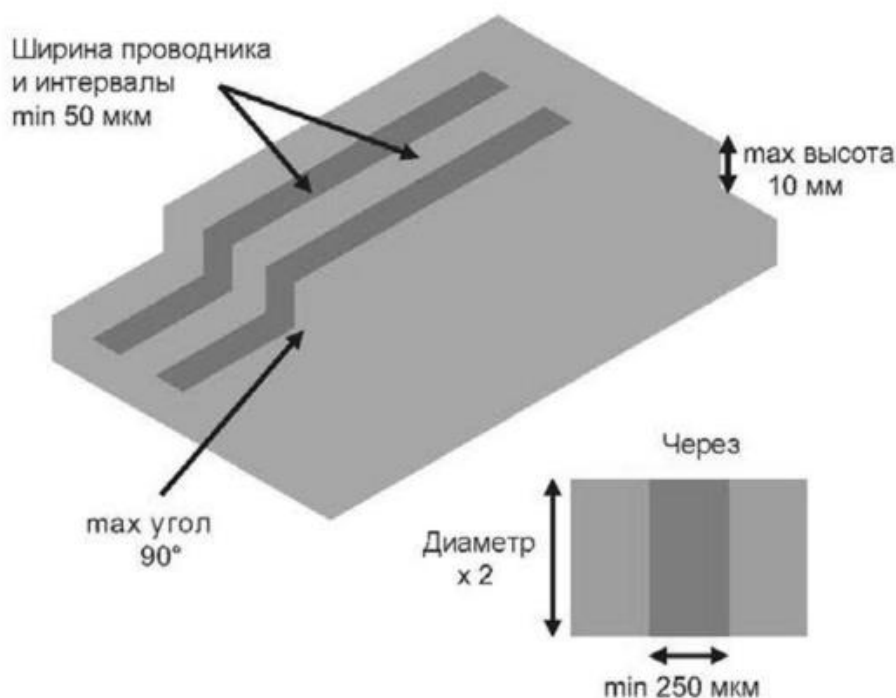


Рисунок 4.5 – Рекомендации по проектированию для процесса МІРТЕС

1.6 Субтрактивное лазерное структурирование

Субтрактивное лазерное структурирование (LSS) состоит из большего количества этапов, чем аддитивное или полуаддитивное. За литьем под давлением следует кратковременная активация поверхности для обеспечения химического осаждения меди или никеля. За этой предварительной химической металлизацией идет гальванический процесс наращивания покрытия до необходимой толщины. Следующим шагом является сам процесс структурирования путем нанесения самоактивируемого резиста. Резист травления может представлять собой фоторезист либо гальванорезист. Фоторезисты вступают в химическую реакцию под ультрафиолетовым излучением, а гальванорезисты удаляются с помощью лазера. Фоторезисты можно дополнительно разделить на положительные и отрицательные. После воздействия положительный фоторезист растворяется и смывается, а воздействие на отрицательный фоторезист уменьшает его растворимость (рисунок 4.6).

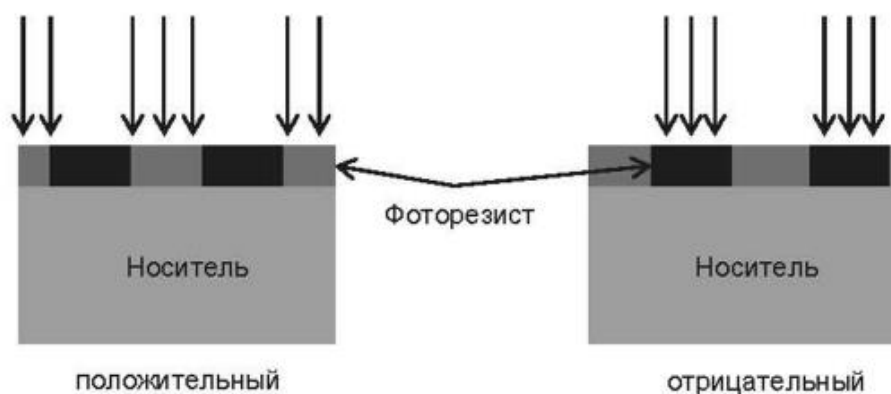


Рисунок 4.6 – Разница между процессами с положительным и отрицательным резистом

С помощью технологии применения резистов можно получить структуры с шириной проводников 30 мкм при скорости нанесения рисунка до 2000 мм/с.

Процессы травления после проявления могут вызывать изломы фоторезиста на краях этих сверхтонких структур, которые, в свою очередь, могут привести к высокому колебанию ширины изолирующих каналов между дорожками. Проблемой также могут быть загрязняющие вещества в резисте. Достаточно одной пылинки, чтобы предотвратить активацию резиста. Одной из возможных неисправностей является замыкание в результате неполной изоляции. Гальванорезисты являются хорошей альтернативой, позволяющей избежать этой проблемы, но их недостаток заключается в том, что скорость нанесения рисунка, как правило, ограничивается 600 мм/с. Более высокие скорости нанесения рисунка, приводят к неполной абляции резиста, результатом чего может стать короткое замыкание.

Последующая обработка областей, не подвергшихся абляции, в принципе возможна, но неизбежно приводит к добавлению этапов процесса. Другой альтернативой является многократное воздействие на одни и те же области при более высокой пропускной способности. Однако для этого всегда необходим компромисс между высокой скоростью и дополнительным временем для повторных проходов.

Последний вариант, химическая или электрохимическая финишная обработка деталей, также усложняет производственную цепь.

Недостатком субтрактивного метода является усложненная и удлиненная производственная цепь, а также значительные колебания в толщине покрытия. В частности, толстые наслоения могут вызвать проблемы с шириной изолирующих каналов. В свою очередь, недостаточное травление может негативно повлиять на степень миниатюризации из-за слабой адгезии в некоторых местах.

Методы печати

С точки зрения общего протекания процесса (рисунок 4.7) метод печати Aerosol-Jet® и метод струйной печати коренным образом отличаются от лазерного структурирования. Сама производственная цепь очень простая и короткая, а технологии печати предоставляют новые возможности соединения и интеграции электронных компонентов. Чернила наносятся непосредственно на поверхность носителя после литья под давлением и затем отверждаются в процессе спекания.



Рисунок 4.7 – Производственная цепь печати Aerosol-Jet® и струйной печати

1.7 Метод печати Aerosol-Jet®

Aerosol-Jet® представляет собой бесконтактный векторный метод печати без применения шаблона. Аэрозоль производят из покрывающего вещества с низкой вязкостью (0,7 сП) или нормальной вязкостью (2500 сП). Распыление осуществляется либо с помощью ультразвука, либо посредством пневматического эффекта всасывания. Печатные носители многочисленны и разнообразны, начиная от проводящих чернил и заканчивая полупроводниковыми, диэлектрическими или изоляционными материалами.

Частицы твердых веществ наноразмерные (~50 нм), поэтому в сочетании с оптимизированной фокусировкой этот метод позволяет получать тончайшие проводящие структуры. Покрывать можно выдерживать с помощью обычных тепловых процессов спекания в печи для отверждения или путем селективного спекания с помощью систем для пайки светом или лазером.

На рисунке 4.8 показан процесс пневматической печати Aerosol-Jet в виде диаграммы. Чернила, представляющие собой суспензию с содержанием твердых веществ примерно от 60 до 70%, пневматически распыляются и смешиваются с инертным газом-носителем. Основой распыления является эффект всасывания. По пластиковым трубкам аэрозоль поступает в печатающую головку.

В печатающей головке доза чистого инертного газа аэродинамически коллимирует аэрозоль, который затем наносится на поверхность носителя узкой струей из сопла. Сфокусированные аэрозольные частицы от 1 до 5 мкм позволяют получать сверхтонкие проводящие структуры с шириной интервала от 10 до 20 мкм. Для получения таких сверхтонких структур необходимо тщательно подбирать чернила, носители и параметры печати.

За счет параллельного выравнивания и высокой выходной скорости аэрозоля резкость контура проводящей дорожки практически не меняется, даже если расстояние от сопла до носителя достигает 3 мм. Вследствие этого

можно легко печатать при небольших неровностях на поверхности носителя без выравнивания печатающей головки по оси Z.

Печать осуществляют либо путем перемещения сопла по отношению к носителю, либо путем перемещения носителя при фиксированном положении сопла. Создание аэрозоля представляет собой непрерывный процесс. В свою очередь это означает, что постоянный поток аэрозоля в сопло необходимо прерывать, чтобы печатать отдельные структуры. Это осуществляется с помощью затвора, установленного непосредственно на выходе из сопла. Простейшей конструкцией является изогнутый металлический стержень. Управление затвором осуществляется с помощью программных команд устройства, которые прерывают или отпускают струю аэрозоля в зависимости от необходимости.

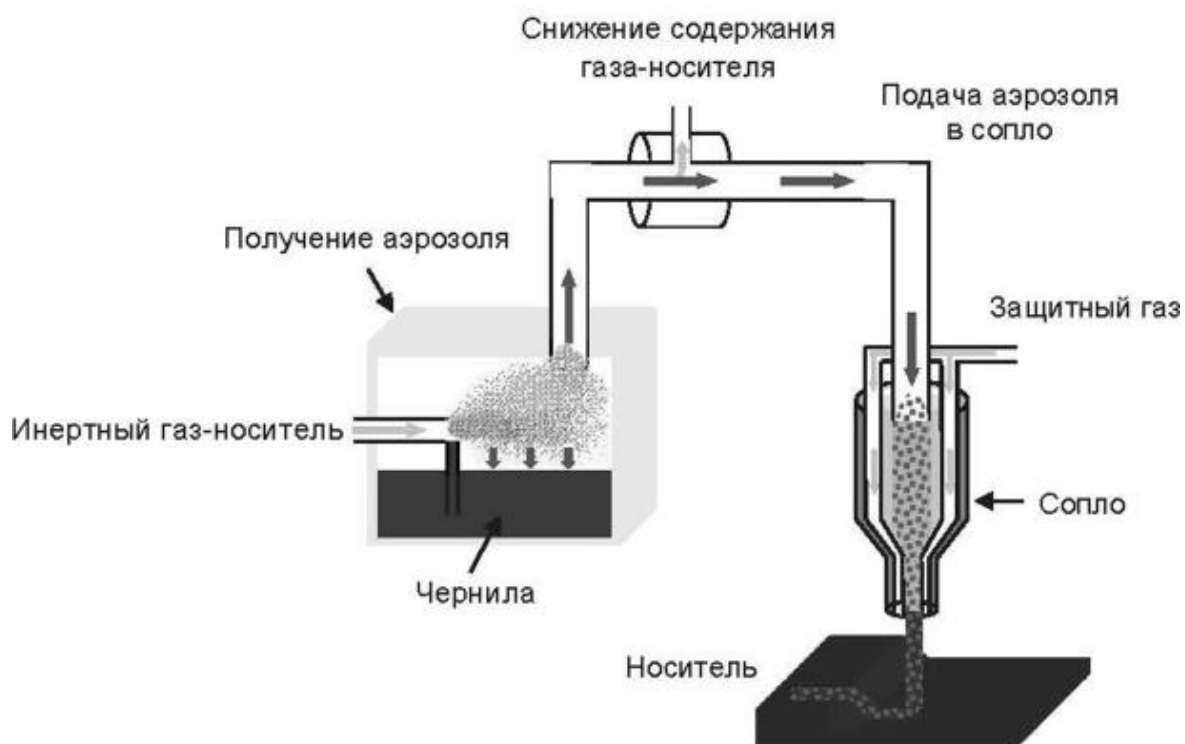


Рисунок 4.8 – Схематическое изображение процесса Aerosol-Jet®

1.8 Струйная печать

Струйная печать, используемая для печатных RFID (передатчик радиочастотной идентификации) повторителей, антенн, клавиатур, дисплеев, сенсоров и смарт-устройств, хорошо подходит и для приложений с использованием мощной электроники и органических светодиодов. Основными преимуществами являются пригодность для крупных проводящих структур, высокоточный учет чернил, печать сложных структур без маскирования и широкий выбор поставщиков технологических систем.

Опишем процесс печати. Струйные принтеры могут работать в двух различных режимах. Один режим является непрерывным, а другой известен как дозирование по требованию (DoD). При непрерывном режиме связанные структуры создают с помощью подаваемой ровным слоем струи чернил. Этот

режим в основном используется для высокоскоростной печати. Режим дозирования, напротив, создает последовательность отдельных капелек чернил. Скорость печати ограничена, но точность намного выше, чем при непрерывной печати. При непрерывном потоке струйной печати можно получать структуры толщиной 2 мкм при ширине проводника от 50 до 150 мкм. Применение нескольких струй в параллели увеличивает скорость печати. Более толстые проводники можно получать путем печати поверх рисунка, совершая несколько проходов над одним и тем же контуром. Недостатком этого способа печати являются отходы; поток чернил непрерывен, а это означает, что чернила необходимо электрически отражать в местах, где не должно быть печати.

Существуют два способа вызова капель чернил из струи в режиме дозированной печати. В печатающей головке при пузырьковой печати используется тепловой запуск, в то время как печатающая головка с пьезоэлементом электрическая. Пузырьковая печатающая головка работает на принципе испарения. Нагревательный элемент, расположенный в непосредственной близости от струи, позволяет осуществлять местный и точный нагрев чернил. Это вызывает мгновенное испарение, вскипание определенного количества чернил и попадание их из струи на носитель. Для получения потока чернил пьезоэлектрическая печатающая головка использует сжатие пьезоэлектрического кристалла. Действие кристалла вызывает деформацию в мембране, прикрепленной к емкости для чернил, и извлечение мелкодисперсной капли чернил из отверстия. Чем выше приложенное напряжение, тем больше капельки чернил.

1.9 Горячее тиснение

Горячее тиснение представляет собой быстрый, чистый и экономичный метод полностью аддитивного структурирования, преимуществами которого являются ограниченное количество стадий процесса и низкие инвестиционные затраты. Различают роликовый и ударный процессы (рисунок 4.9). В области MID-технологии ввиду объемности деталей больше распространено ударное тиснение.

В случае с ударным тиснением нагретый штамп выполняет вертикальный удар, чтобы поднять горячую пленку и плотно прижать ее к заготовке. Тиснение прерывисто, а его сила зависит от типа используемого привода. В большинстве прессов, используемых для производства MfD-изделий, установлены электромеханические или гидравлические приводы, предназначенные для получения необходимых сил прижима.

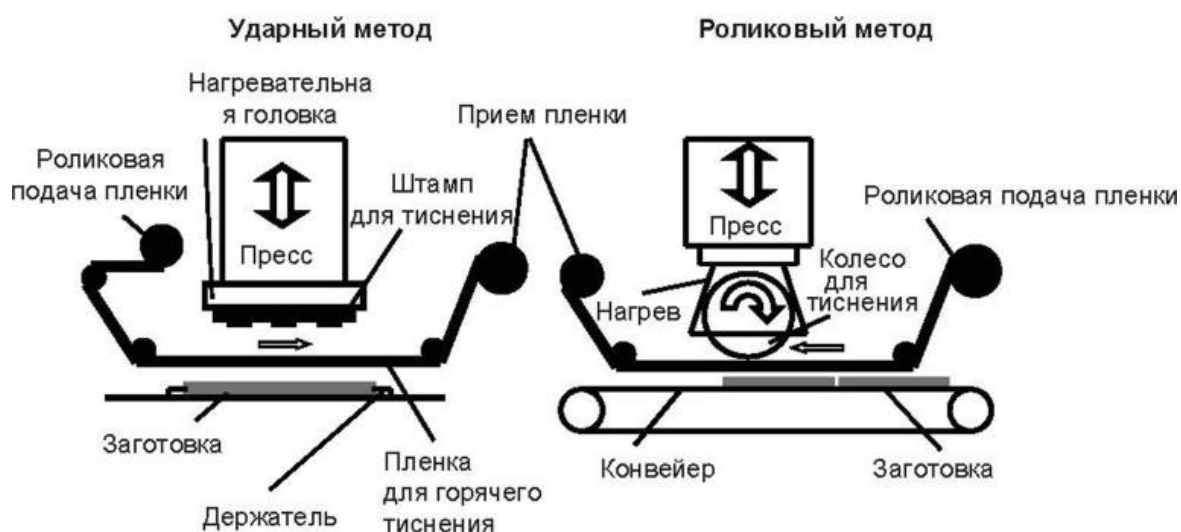


Рисунок 4.9 – Схемы роликового и ударного вариантов

Необходимы прессы с силой тиснения от 70 до 90 Н/мм² в зависимости от толщины медной пленки и носителя. В прессе, призванном обеспечить воспроизводимость контуров проводящих дорожек, большое значение имеет прочность, зависящая от точности действия штампа. Система должна контролировать температуру до 300 °С и время тиснения до 3 с.

Инструмент для роликового тиснения – колесо или ролик со встроенным подогревом. Пластмассовая форма проходит по линейной дорожке под инструментом на конвейерной ленте.

В отличие от ударного тиснения, сила применяется только локально по линии соприкосновения между роликом с пленкой и заготовкой. Одним из самых больших преимуществ этого процесса является способность создавать большие непрерывные поверхности без воздушных включений.

В процессе горячего тиснения нагретый штамп с негативом расположения проводников прижимает медную пленку со специальным покрытием к термопластичному носителю, оказывая тепловую нагрузку и механическое давление. Штамп вырезает пленку, которая прочно крепится к локально расплавленной пластмассе на поверхности заготовки.

Одним из главных преимуществ этого процесса является отсутствие необходимости в какой-либо химической обработке пластиковой формы после тиснения. Пластмасса подвергается меньшей технологической нагрузке и подходит для декоративной отделки. Также наблюдается значительная экономия производственного времени и затрат. Горячее тиснение может быть использовано для различных термопластичных соединений.

В случае горячего тиснения свобода трехмерного проектирования ограничена. Для применения вертикальных соединений необходимо включение дополнительных процессов. Для этого понадобится вставлять пленку в предварительно сделанные в носителе отверстия. Затем для

заполнения отверстий из иглолок выдавливается достаточное количество проводящей пасты.

2 Химические и физические методы металлизации MID-оснований

Химическая металлизация необходима не для каждого процесса структурирования. Без последующей металлизации обходятся такие процессы, как Aerosol-Jet, технология струйной печати, горячее тиснение, Flamecon® и Plasmadust. Для всех других процессов необходима химическая и в некоторых случаях гальваническая металлизация для нанесения металлических слоев на структурированное MID-изделие.

2.1 Очистка поверхности носителя

Важным этапом является очистка носителя, особенно если используется процесс LPKF-LDS® или субтрактивное лазерное структурирование (LSS). Для первого процесса очистка перед химической металлизацией имеет столь же большое значение, как и очистка после меднения для субтрактивного лазерного структурирования.

Существуют различные методы очистки: от применения жидких химических реактивов до очистки струей воды или сухим льдом.

Процессы очистки различают с точки зрения эффективности затрат или реакции очищаемых компонентов, а также с точки зрения применяемого процесса лазерного структурирования. Например, необходимо проявить осторожность, чтобы пластмассовые поверхности, активированные в процессе LPKF-LDS®, не были деактивированы в ходе очистки.

Последствием недостаточной очистки может быть нежелательная металлизация, способная привести к короткому замыканию металлизированных структур.

Процесс очистки жидкими химическими реактивами, как правило, происходит в водных смачивающих растворах чистящего реактива с помощью ультразвука и температуры.

Частота и мощность ультразвука и температура часто в большей степени способствуют очистке, чем само чистящее средство. Повышение температуры снижает положительный эффект ультразвука при очистке, так что при очистке в ультразвуковой ванне всегда лучше поддерживать комнатную температуру. Исследования также показали, что многочастотные ультразвуковые колебания (40,80 и 120 кГц) значительно более эффективны при очистке, чем стандартные ультразвуковые колебания с частотой 40 кГц. Время очистки зависит от параметров температуры и ультразвуковых колебаний. Если не вдаваться в подробности, длительная очистка жидкими химическими реактивами более эффективна.

Следует провести различие между очисткой на раме и в барабане. В первом случае детали подвешивают на специально разработанную и

изготовленную раму. Во втором случае детали помещают в барабан, похожий на барабан бытовой стиральной машины. Очистка в барабане позволяет обработать большое количества деталей в течение короткого времени.

Но для этого требуется более интенсивная очистка жидкими химическими реактивами с более сложной производственной цепочкой. Это вызвано тем, что внутри барабана детали могут закрывать друг друга от воздействия чистящего средства.

Очистка сухим льдом задействует следующие механизмы: импульсную передачу быстрых кристаллов CO₂, получающихся в результате термоэлектрических эффектов; чрезмерное увеличение объема при испарении кристаллов и связанную с этим промывку поверхности; изменение агрегатного состояния, когда кристаллы ударяются о поверхность.

Существенным элементом чистящего устройства является двухкомпонентное концентрическое ультразвуковое сопло. При выходе из этого сопла жидкий CO₂ расширяется и образует смесь газа и снега. Эта центральная струя оказывается внутри кольцевой струи сжатого воздуха, которая направляет кристаллы CO₂ и ускоряет их до ультразвуковой скорости. Высокая кинетическая энергия кристаллов CO₂ в сочетании с высокой растворяющей силой, сравнимой с действием циклогексана, позволяет удалять многочисленные загрязняющие вещества, твердые или в виде пленки, без необходимости в каких-либо других добавках. Конструкция сопла позволяет производить очистку с высокой точностью выбора места и в чрезвычайно труднодоступных местах. С помощью ряда сопел, выстроенных соответствующим образом, можно очищать поверхности большой площади экологически безопасным способом, не оставляя остатков и не используя растворителей.

По сравнению с двумя описанными выше способами очистка струей воды отличается простотой и большей экономической эффективностью. Структурированный носитель очищают струей воды при давлении до 150 бар. Применение высокого давления требует использования держателей изделий, и данный способ подходит не для всех геометрических конструкций. Этот метод также невозможно использовать для очистки миниатюрных компонентов.

Очистка сухим льдом особенно подходит для трехмерных носителей с шагом проводников <250 мкм. Очистка жидкими химическими реактивами имеет преимущества при обработке поверхностей, структурированных методом LSS, а также при больших объемах производства.

Процесс очистки струей воды является наиболее экономичным решением для носителей с шагом проводников >300 мкм, если те имеют подходящую геометрическую форму.

2.2 Гальвано-химическая металлизация

Для селективного осаждения металлического покрытия на структурированные термопластики необходимо применение специальных

процессов металлизации. Металлизация с помощью жидких реактивов состоит из предварительной обработки и активации поверхности пластмассы с последующей восстановительной или химической металлизацией. Способы нанесения металлического покрытия аналогичны тем, которые используются в производстве печатных плат, но в MID-технологии решающее значение имеет предшествующий осаждению металла процесс предварительной обработки.

Предварительная обработка должна обеспечить образование на поверхности пластмассы микрошероховатости, для того чтобы покрытие держалось прочно. При полуаддитивном лазерном структурировании или двухшаговом литье под давлением такую микрошероховатость поверхности получают с помощью предварительной обработки пластмассового носителя жидкими химическими реактивами. В зависимости от используемого пластмассового носителя, его поверхность может быть покрыта ямочками путем травления аморфных частей или выщелачивания наполнителя близко к поверхности. Это позволяет осуществить механическое сцепление металлического покрытия и носителя. Затем следы средства для предварительной обработки и отделенные частицы пластмассы удаляют с помощью тщательной промывки. Такое полоскание также оказывает значительное воздействие на качество последующего покрытия.

Прочность сцепления с покрытием находится в линейной зависимости от степени шероховатости поверхности пластмассы, которая определяется временем выдерживания носителя в травильной ванне.

За травлением следует затравка палладием. Ядра палладия вводят в открытые полости и каталитически активируются в последующем восстановительном процессе металлизации. Пластмассы, используемые для двухшагового литья, как правило, содержат катализаторы и не требуют дополнительной затравки или активации. Необходимо подвергнуть травлению только поверхность, чтобы обеспечить доступ к находящимся в пластмассе катализаторам.

Для создания микрошероховатых структур и возбуждения каталитической активности в процессе LPKF-LDS® используется лазерное излучение, что влечет за собой очистку структурированного пластмассового изделия для удаления остатков после лазерной обработки.

Это можно сделать в водной ультразвуковой ванне с добавлением поверхностно-активного вещества, путем очистки струей воды или с помощью сухого льда. Применение очистки струей воды ограничено геометрической формой детали. Как правило, к очистке с помощью сухого льда прибегают только при очень высоких требованиях к шероховатости поверхности проводников и краев.

То, что пластмассы являются очень хорошими диэлектриками, затрудняет гальваническую металлизацию в MID-технологии. Невозможно обеспечить наличие необходимых для этой цели электронов с помощью внешнего электрического источника. Вместо этого используют

восстановительные ванны для металлизации, также известные как химические ванны. Электролитом является компонент ванны, а именно восстановитель. Ванны такого рода состоят из водного раствора соли металла, восстановителя, а также различных добавок, таких как хелатные агенты и стабилизаторы. На техническом языке химические ванны такого рода называют термодинамически неустойчивыми и кинетически ингибированными.

При определении состава ванны необходимо убедиться в том, что осаждение металла начинается только в каталитически активных областях (на дорожках, полученных с помощью лазера при прямом лазерном структурировании, или в местах селективной активации палладием) и не происходит в местах, где покрытие не осаждается. Это достигается за счет присутствия в ванне специальных стабилизаторов и путем впрыскивания мелких пузырьков воздуха.

Металлизацию всегда начинают с медной ванны. За этим в зависимости от качества медного покрытия следует дополнительное покрытие никелем и золотом. Каталитическая активность поверхностей, подверженных катализации или лазерному структурированию, как правило, ниже, чем активность поверхностей, катализируемых палладием. Это можно исправить путем увеличения активности медной ванны.

Преимуществами химической металлизации являются однородность покрытия, возможность металлизации тончайших структур и отсутствие ограничений на геометрическую форму изделий.

Полученные таким образом покрытия можно использовать по-разному. Поверхностный монтаж устройств с помощью пайки или склеивания токопроводящим клеем так же эффективен, как монтаж методом перевернутого кристалла (flip-chip) и монтаж с помощью разварки алюминиевой проволоки.

В зависимости от размера MIP-изделий их либо надежно прикрепляют к раме, либо металлизуют в барабане. Металлизация в барабане представляет собой процесс обработки миниатюрных деталей с высокой пропускной способностью. Для равномерной металлизации барабан должен постоянно вращаться. Тем не менее, рекомендуется прибегать к металлизации на раме в случаях, когда к качеству покрытия предъявляются очень высокие требования или при сложной геометрической форме компонентов.

Для управления нагревом и поддержания постоянной температуры процесса в каждой ванне часто используют программируемые логические контроллеры (PLC). Активность медной ванны регулируется автоматическим нагнетанием воздуха. Химический анализ различных ванн и дозирование химических веществ осуществляются вручную или, чаще, автоматически.

2.3 Гальваническое наращивание

Гальваническое наращивание является альтернативой химической металлизации MID-деталей.

Для него требуется электрический контакт всех проводящих структур, что влияет на свободу конструкции и ширину проводников. После того как гальваническое наращивание завершено, необходимо разорвать все промежуточные соединения. Тем не менее, это подходящий вариант для высоких токопроводящих возможностей.

2.4 Технология ProtoPlate LDS®

Этот процесс металлизации, представляющий собой совместную разработку компаний LPKF Laser & Electronics AG и Enthone GmbH, предназначен специально для создания прототипов. Это процесс металлизации деталей, структурированных по технологии LPKF-LDS®, в ваннах для меднения. Процесс не требует глубоких знаний в области химии, а ванна может быть использована для экспериментов с металлизацией. Ванна состоит из трех компонентов, основанных на LDS Си 400 РС компании Enthone. Смешивание всех компонентов позволяет получить активную медную ванну, которая остается активной в течение 2 ч. За это время можно нарастить медный слой толщиной до 15 мкм. Использованные химические вещества можно вернуть в оригинальной упаковке производителю для утилизации.

Такая ванна для металлизации широко используется при создании прототипов, в частности, для тестирования различных параметров процесса LPKF-LDS®. Она имеет площадь 50x40 см и подключается к стандартной розетке. Недостатком ванны является короткий рабочий цикл, а также то, что в ней можно использовать только медь.

Селективная металлизация с помощью жидких химических реактивов — последнее слово техники, хотя многие сложные процессы требуют применения особой технологии и, соответственно, дорогостоящего оборудования.

2.5 Различные системы металлизации

Применение очень широкого ряда технологий соединений требует нанесения слоев различного состава. У каждого процесса (пайка, склеивание токопроводящим клеем, проволочное соединение, использование flip-chip) есть свой набор требований к поверхности. Традиционным методом является металлизация с применением Cu-Ni-Au, но также возможна химическая металлизация с применением Cu/Sn или Cu/Ag. Покрытия из Cu-Ni-Au прекрасно подходят для пайки, превосходно соединяются с помощью алюминиевой проволоки и долго хранятся. Не вызывает никаких трудностей многократная пайка. Единственными ее недостатками являются стоимость и ограниченная пригодность для монтажа с использованием золотой проволоки.

Оловянные покрытия хорошо подходят для пайки и отличаются низкими производственными затратами, но у них есть слабые стороны в отношении хранения и способности к сцеплению. Помимо этого, оловянные покрытия можно ремонтировать. Дефектный участок оловянного покрытия удаляют, чтобы открыть слой меди, затем восстанавливают его и вновь покрывают оловом. Недостатком также является высокий уровень истощения медного слоя во время пайки или при хранении ввиду диффузионных эффектов и проблем, связанных с многократной пайкой.

Серебро, как и олово, прекрасно подходит для пайки и представляет собой относительно экономичное покрытие. Как уже было сказано, работу усложняют такие проблемы, как длительность хранения и чрезвычайно тонкий слой покрытий. По аналогии с оловом, в процессе пайки происходит диффузия меди. Другими недостатками являются низкая способность выдерживать механические нагрузки и высокая степень риска электромиграции.

2.6 Сглаживание

Так как с помощью технологии LPKF-LDS® можно создавать проводящие структуры толщиной менее 100 мкм, эта технология обладает потенциалом для монтажа бескорпусных кристаллов. В этом случае шероховатость поверхности металлизированных покрытий препятствуют сцеплению. Пластмассовые поверхности, обработанные лазером для придания шероховатости, отражаются при последующей металлизации (в отличие от гальванических ванн, ванны химической металлизации нельзя использовать для сглаживания), поэтому поверхности должны быть сглажены после лазерной обработки. Возможные методы сглаживания с помощью штампов и струи сухого льда приведены ниже.

Пластмассовые поверхности, структурированные лазером, можно подвергнуть тиснению с помощью штампа и применить чисто механическое давление, сочетание механической и тепловой энергии или сочетание механического давления и энергии в виде ультразвуковых колебаний. На рисунке 4.10 показано, как при тиснении с помощью штампа применяется механическая сила. Относительно мягкую поверхность после лазерного структурирования выравнивают с помощью штампа. Далее следует обычная восстановительная металлизация. Теоретически тиснение с чисто механической нагрузкой можно производить с помощью мягких, упругих штампов или жестких штампов. Преимущество упругих штампов заключается в том, что их не нужно подбирать для каждой структуры проводников, поэтому для самых различных геометрических форм можно использовать один штамп. К тому же токопроводящие дорожки могут быть сглажены по всей длине до краев. Однако, согласно результатам исследования, эффект сглаживания поверхности, структурированной лазером, с помощью упругого штампа в лучшем случае оказывается легким. С помощью жестких штампов можно достичь хороших результатов

степени сглаживания вызывает трудности с металлизацией краев. Под воздействием силы и температуры происходит настолько глубокая металлизация пластмассы, что создать непрерывную структуру становится невозможно.