

Особенности получения глухих металлизированных отверстий МПП

с использованием типовых технологических процессов

В статье рассказывается об особенностях использования типовых технологических процессов изготовления многослойных печатных плат (МПП) для получения глухих металлизированных отверстий без применения специального оборудования (лазерных установок), специальных сверл, а также без специальных технологий металлизации (электролитов для заполнения глухих отверстий).

Леонид Петров

plg65@nicevt.com

Конструктивно-технологические особенности глухих отверстий и структуры МПП

Глухие отверстия МПП предназначены для соединения наружных сигнальных слоев с одним или несколькими внутренними слоями платы.

Сверление глухих отверстий на заданную глубину до определенного слоя имеет технологическое ограничение: для получения качественной металлизации глухих отверстий необходимо, чтобы отношение H/d (отношение глубины сверления к диаметру отверстия) было не более 1 (оптимально — 0,8). Это означает, что чем больше глубина сверления глухого отверстия (и диэлектрический зазор между слоями), тем больше должен быть диаметр такого отверстия.

Для простого варианта получения глухих отверстий с наружного слоя на следующий глубина сверления будет складываться из толщины наружной фольги (обычно 18 мкм), толщины диэлектрического зазора между слоями (0,1–0,2 мм), толщины фольги второго слоя (18–35 мкм) и примерно половины конусной режущей части сверла (25–50 мкм) (рис. 1).

Толщина диэлектрика между вторым и третьим слоями (под сверлом) должна обеспечивать отсут-

ствие замыкания соседних слоев и учитывать проход части конусной режущей кромки сверла (25–50 мкм), допуск на толщину диэлектрика (слои 1–2) и допуск на точность выполнения глубины сверления (для современных сверлильных станков допуск по оси Z — ± 25 мкм и менее).

Практика сверления глухих отверстий на производстве ОАО «НИЦЭВТ» показывает, что толщина диэлектрика, следующего за слоем, до которого сверлятся глухие отверстия, должна быть не менее 0,14–0,2 мм (или 2–3 прокладки препрега 1080), при использовании ламинатов для наружных слоев. При этом диэлектрический зазор между дном глухого отверстия и следующим слоем получается примерно 100–150 мкм, что вполне достаточно для обеспечения необходимого сопротивления изоляции.

Для выбора структуры МПП с глухими отверстиями с наружного слоя на следующий за ним (наиболее простой вариант) рассмотрим два основных типа структуры:

- структура с наружной фольгой (рис. 2а);
- парная структура (рис. 2б).

В первом варианте (рис. 2а) наружные слои получают припрессовыванием фольги через необходимое количество прокладок препрега к пакету из ла-

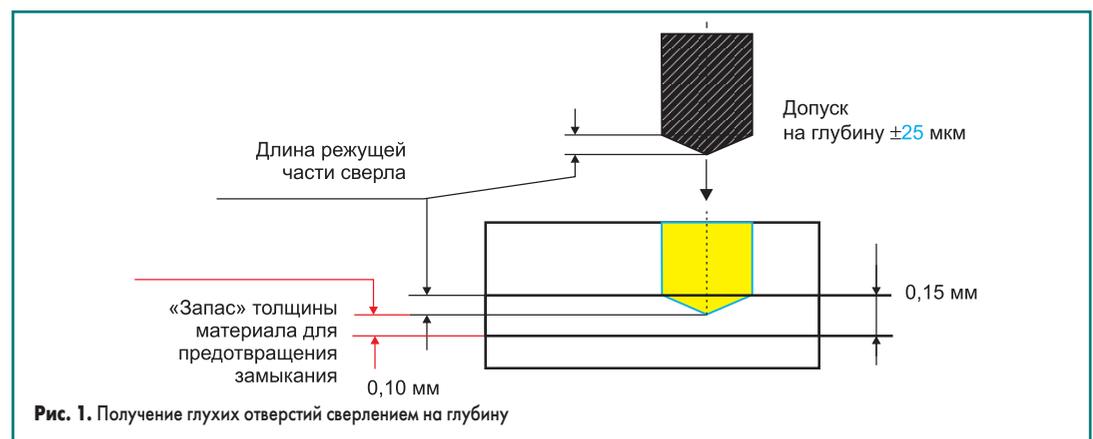


Рис. 1. Получение глухих отверстий сверлением на глубину

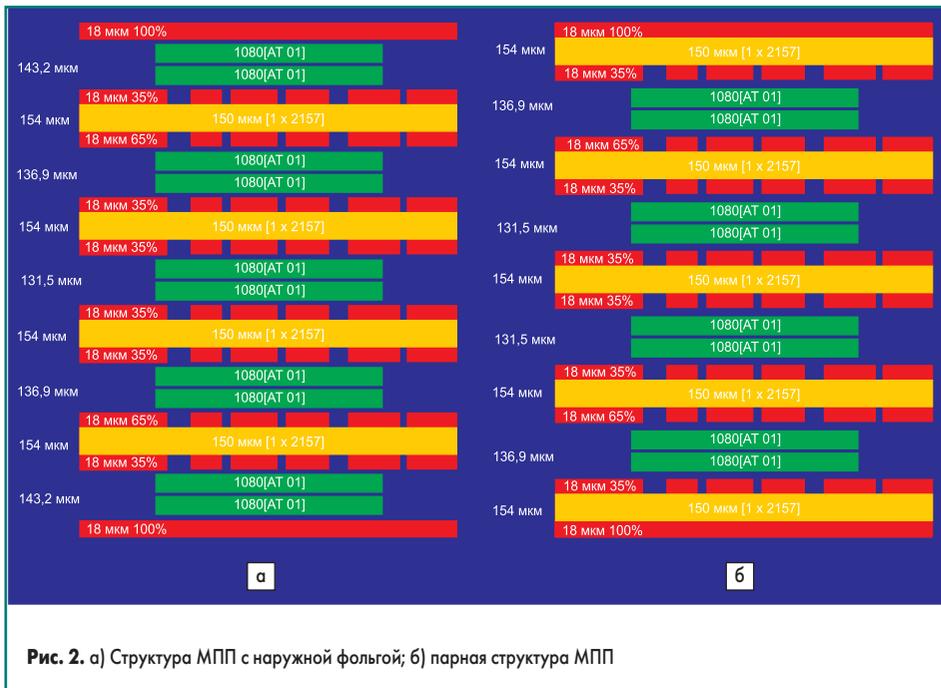


Рис. 2. а) Структура МПП с наружной фольгой; б) парная структура МПП

минатов (слои со второго по предпоследний). Считается, что такая структура меньше подвержена короблению. Также имеется возможность использования более тонкой фольги (9 мкм) для получения прецизионного рисунка схемы. Существенным недостатком этой структуры является значительный разброс толщины диэлектрика наружных слоев (слои 1–2 и последний – предпоследний) после прессования (может достигать 50 мкм и более), и, соответственно, возникает проблема получения оптимальной глубины сверления глухих отверстий. Чтобы гарантировать отсутствие замыкания слоев, в этом случае толщина диэлектрика следующего слоя (под дном глухого отверстия) должна быть не менее 0,2–0,25 мм.

При втором варианте (парная структура, рис. 2б) для наружных слоев используются фабричные ламинаты, которые имеют меньший разброс по толщине ($\pm 10\%$), что существенно облегчает сверление на заданную глубину. Для такой структуры, как отмечалось выше, для надежного электрического зазора под дном глухого отверстия достаточно толщины 0,14–0,2 мм.

Для повышения надежности можно дополнительно при адаптации сделать освобождения (без меди) на следующем слое (под дном глухого отверстия), если позволяет топология рисунка схемы.

Для оценки качества и контроля глубины сверления глухих отверстий целесообразно предусмотреть на технологических полях заготовки и между фрагментами плат тестовые контактные площадки, на которых производится предварительная пробная сверловка.

Опыт сверления глухих отверстий на нашем производстве не показал каких-либо преимуществ от использования специализированных сверл (конусных и «трапециевидных») ни при самом сверлении, ни при последующей металлизации. Поэтому у нас глухие отверстия выполняют обычными сверлами, используемыми при сверлении сквозных отверстий.

Сверление глухих отверстий

Отсчет глубины сверления глухого отверстия начинается при касании сверла наружной фольги пакета МПП. Поэтому в качестве материала для накладок можно использовать только неметаллические материалы (меланин, гетинакс).

Наиболее важной задачей является определение оптимальной глубины сверления глухого отверстия. Она складывается из расстояния между фольгой наружного и заданного слоя, толщины фольги этих слоев и половины конусной режущей части сверла (25–50 мкм).

При достижении сверлом заданного слоя возможны три варианта дальнейшего его прохождения (рис. 3):

- Вариант А. Переход сверла (рис. 3а): сверло конусной режущей частью полностью проходит фольгу заданного слоя. При этом варианте тяжело визуально контролировать глубину сверления, виден только тонкий боковой торец фольги внутреннего слоя. Значительно сокращается диэлектрический

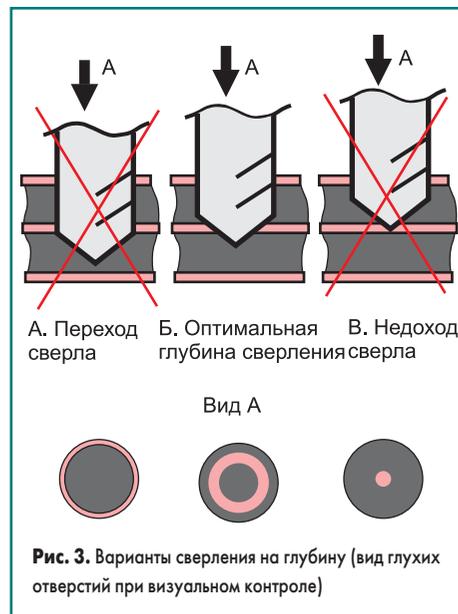


Рис. 3. Варианты сверления на глубину (вид глухих отверстий при визуальном контроле)

зазор до следующего слоя, так как длина конусной режущей части сверла составляет 50–100 мкм (в зависимости от диаметра сверла). Многолетний опыт сверления глухих отверстий свидетельствует также о том, что при этом варианте происходит сильное замазывание (наволакивание смолы) внутреннего торца слоя с последующими проблемами его очистки при подготовке под металлизацию. Это можно объяснить сильным разогревом и износом, особенно места перехода конусной режущей части сверла в цилиндрическую при выполнении глухих отверстий.

- Вариант Б. Оптимальная глубина сверления (рис. 3б): сверло частично проходит фольгу заданного слоя до следующего диэлектрика, примерно половина конусной режущей части сверла выходит в диэлектрик (25–50 мм).
- Вариант В. Недоход сверла (рис. 3в): сверло доходит до фольги и частично углубляется в нее, не протыкая ее до диэлектрика. Визуально при контроле мы видим розовую точку в центре отверстия на темном фоне диэлектрика. При этом варианте после металлизации мы получим практически точечный контакт, что недостаточно для надежного электрического соединения. Кроме того, сверлильный станок имеет погрешность по глубине сверления (оси Z — ± 25 мкм). Допуски имеются также на толщину проходимых сверлом диэлектриков. В результате существует вероятность на части отверстий недохода сверла до фольги заданного слоя, что приводит к обрывам связей и браку всей платы.

При сверлении по варианту Б во время визуального контроля мы видим достаточно широкое розовое кольцо. С учетом погрешности сверления (по оси Z) и допусков на толщину проходимых диэлектриков размер медного кольца внутреннего торца в глухих отверстиях по полю групповой заготовки может меняться (рис. 4). Но практически исключаются вариант А (переход) и вариант В (недоход сверла).

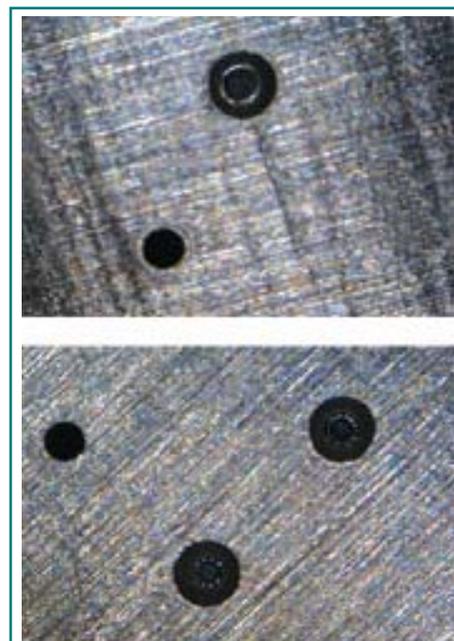


Рис. 4. Внешний вид глухих отверстий ($\varnothing 0,35$ мм, слои 1–3, 10-ти слойная ПП) ($\times 200$)

Таблица. Параметры глухих отверстий и используемых материалов

Параметры	Толщина диэлектрика (слои 1–2), мм				
	0,1	0,125	0,15	0,2	0,25
Суммарная толщина диэлектрика и фольги наружного и внутреннего слоя, мм	0,136	0,161	0,186	0,236	0,286
Глубина сверления Н, мм	0,16	0,185–0,19	0,22	0,27	0,33
Диаметр отверстия d, мм	0,2	0,2–0,25	0,25	0,3	0,35
Диаметр КП, мм	0,45	0,45–0,5	0,50	0,55	0,6
Отношение Н/d, (≤ 1)	0,8	0,93–0,95	0,88	0,9	0,94
Половина длины конусной режущей части сверла, мм	25	25–30	30	35	40
Толщина диэлектрика следующего слоя (слои 2–3), мм	0,15 (или 2 препрега 1080)	0,15 (или 2 препрега 1080)	0,15 (или 2 препрега 1080)	0,2 (или 3 препрега 1080)	0,2 (или 3 препрега 1080)
Средняя величина диэлектрического зазора между дном глухого отверстия и фольгой следующего слоя, мм	0,125	0,12–0,125	0,12	0,165	0,16

Поперечное сечение медного торца за счет реза под углом конусной частью сверла будет иметь значительную площадь для обеспечения надежного электрического контакта. По этой же причине получаем минимальное наволакивание смолы на внутренний торец. Поэтому вариант Б сверления глухих отверстий (с частичным прохождением фольги заданного слоя) наиболее оптимален с точки зрения выбора глубины сверления, надежности электрического соединения и обеспечения необходимого сопротивления изоляции.

В таблице приведены параметры глухих отверстий (с наружного на следующий слой) и используемых материалов (толщина фольги наружных и внутренних слоев — 18 мкм).

Поскольку при сверлении глухих отверстий сильно изнашивается конусная часть сверла, целесообразно для обеспечения качества глухих отверстий установить предельное количество отверстий на 1 сверло — 500–700 отверстий (для сквозных — 1000 отверстий/1 сверло). Режимы сверления (подача, скорость вращения) глухих отверстий аналогичны режимам сверления сквозных отверстий для каждого диаметра сверла.

Особенности металлизации глухих отверстий

Основная проблема при металлизации глухих отверстий — это затрудненный обмен растворов в замкнутом объеме. К существенным проблемам следует отнести и удаление воздушных пузырей из глухих отверстий малого диаметра, удерживаемых силами «капиллярного» эффекта.

Поэтому главной задачей является интенсификация обмена растворов, улучшение смачиваемости стенок глухих отверстий. Эту задачу можно решить применением ультразвука на операциях подготовки отверстий. Положительный эффект может дать увеличение времени операций или повторная обработка.

Также важна вибрация в активных ваннах химико-гальванических линий. Она, кстати, необходима и при металлизации сквозных микроотверстий ($\varnothing 0,3$ мм и менее).

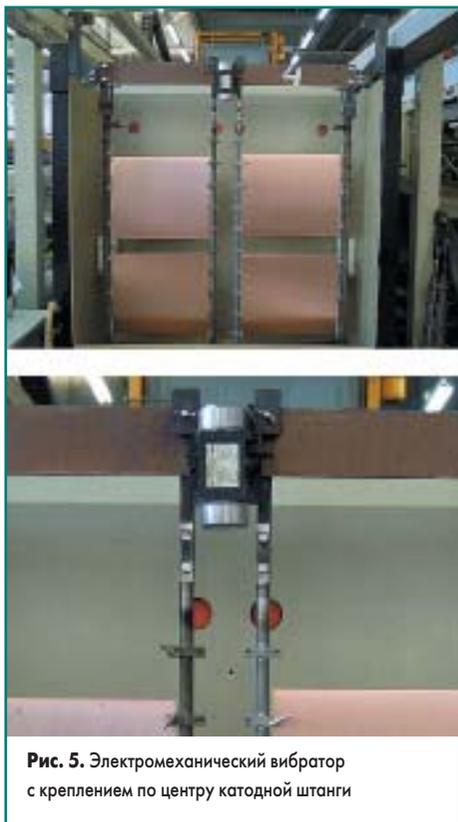
Вибраторы, применяемые в химико-гальванических линиях, могут быть электро-механическими (рис. 5) и пневматическими (рис. 6).

Вибраторы можно устанавливать как на сами штанги (обычно в центре — рис. 5), так и на посадочные места штанг (рис. 6). В последнем случае необходимо учитывать затухание колебаний вдоль штанги. Поэтому целесообразно устанавливать вибраторы на посадочные места с двух сторон.

Основное направление вибрации — горизонтальное, вдоль качания штанг. Также неплохо, если вибрация будет наблюдаться и в вертикальном направлении (при наличии вибраторов с двух сторон). Желательно наличие регулировки мощности вибрации, так как, возможно, потребуются ее увеличение (по сравнению с металлизацией сквозных отверстий).

Постоянная вибрация не требуется, достаточно ее периодического включения (на 15–30 с каждые 3–5 мин.).

В последнее время для металлизации сквозных и глухих микроотверстий начинают получать распространение безвоздушные системы перемешивания растворов, в которых перемешивание осуществляется вихревыми потоками самих рабочих растворов при помощи сопел Вентури (рис. 7).



Подготовка отверстий и предварительная металлизация

Задачи подготовки отверстий — это очистка внутренних медных торцов от наволакивания смолы после сверления и оптимизация поверхности стенок отверстий для последующей металлизации.

Очистка сквозных и глухих отверстий от остатков продуктов сверления производится струями воды высокого давления (~20 атм). Для очистки медных торцов может применяться как плазмохимическая очистка, так и перманганатная обработка (что предпочтительнее).

При плазмохимической обработке происходит подтравливание смолы диэлектрика в кислородно-фреоновой плазме (70% кислорода, 30% фреона, 30 мин.) на глубину 5–8 мкм.

Перетравливание смолы (более 15 мкм) приводит к проблемам последующей металлизации и появлению эффекта «прометаллизации» вдоль стекловолонка.

Недостатком плазмохимической очистки также является гидрофобность поверхности отверстий («глянцевые» стенки). Требуется дополнительная обработка для улучшения гидрофильности диэлектрической поверхности отверстий. К достоинству плазмохимических процессов можно отнести возможность обработки фторопластов (Rogers и др.).

Наиболее предпочтительна перманганатная очистка (горячий щелочной раствор перманганата калия), при которой не только эффективно удаляется наволакивание смолы (без перетрава диэлектрика), но и создается оптимальная микрошероховатость поверхности и хорошая гидрофильность стенок отверстий. Применяют также дополнительно предварительную обработку для размягчения и набухания смолы с использованием ультразвука (для удаления воздушных пузырей из глухих отверстий).

Для создания токопроводящего подслоя в сквозных и глухих отверстиях можно использовать как химмеднение, так и прямую (палладиевую) металлизацию. Обязательно применение вибрации для удаления воздушных пузырей из микроотверстий и интенсификации обмена растворов.

Преимущество химмеднения — в создании токопроводящего подслоя с хорошей электропроводностью по всей поверхности отверстия, что облегчает последующую гальваническую затяжку. Недостатки: более сложный и длительный процесс, наличие «разделительного» слоя химмеди между медным торцом и гальваническим покрытием отверстия.

В процессе прямой металлизации на поверхности диэлектрика в отверстиях создается очень тонкий (0,01 мкм) слой палладия с низкой электропроводностью. Последующая гальваническая затяжка происходит постепенно от входа отверстия вглубь его. Целесообразно для роста токопроводности палладиевого подслоя увеличить время основных операций прямой металлизации или провести повторную обработку.

Постепенная гальваническая затяжка проводится при повышенной плотности тока (2–2,5 А/дм²), чтобы «загнать» металлизацию в отверстие. С учетом плохого обмена растворов в замкнутом объеме и постепенного процесса гальванической затяжки после 20 мин. процесса имеем на входе в глухое отверстие 6–8 мкм меди, а на дне — только 1–1,5 мкм. Поэтому целесообразно увеличить время затяжки (или повторить ее) при пониженной плотности тока (1 А/дм²).

Тем более надо иметь в виду, что возможно травление тонкой затяжки на дне глухих отверстий при химподготовке поверхности под фоторезист (при позитивном методе).

Основным возможным дефектом при предварительной металлизации глухих отверстий является непокрытие дна отверстий (темные отверстия) (рис. 8), что связано обычно с присутствием неудаленных воздушных пузырей.

Основная металлизация и финишные покрытия

Главная задача при основной металлизации глухих отверстий — это получение максимально возможной равномерности покрытия в условиях затрудненного обмена растворов в замкнутом объеме.

Согласно стандарту IPC, минимально допустимая толщина металлизации в глухих отверстиях (microvia) — 18–20 мкм (для сквозных отверстий — 25 мкм). Но чтобы получить даже такую толщину в глухих отверстиях, придется очень постараться.

Для одновременной металлизации сквозных и глухих отверстий применяют электро-



Рис. 8. Непокротия глухих отверстий (Ø0,25 мм). Вид после полной металлизации

литы с хорошей рассеивающей способностью ($H/d = 10:1$), имеющие в составе добавок специальные выравниватели. Желательно делать химанализ добавок (CVS-метод) для поддержания их оптимальной концентрации. Обязательно обеспечение качания штанг, вибрации, барботажа, (еще лучше безвоздушных систем перемешивания).

Для получения равномерного покрытия как в сквозных, так и в глухих микроотверстиях необходимо снижение катодной плотности тока (до 1 А/дм²), хотя это и удлинит процесс металлизации (в 1,5–2 раза).

В отношении концентрации меди при металлизации сквозных и глухих отверстий мы имеем прямо противоположные задачи. Лучшая равномерность покрытия сквозных микроотверстий наблюдается в «разбавленных» (по меди) электролитах (приоритет — рассеивающая способность). Для металлизации глухих отверстий лучше применять более концентрированные электролиты (приоритет — кроющая способность) (рис. 9).



Рис. 9. Металлизированное глухое отверстие Ø0,25 мм (электролит с высокой кроющей способностью) (тентинг-метод)

В качестве металлорезиста (позитивный метод) в основном применяется олово (серноокислый электролит с выравнивающими добавками). После травления рисунка в щелочном медно-аммиачном растворе олово снимают в 2-стадийном селективном процессе: на первой стадии удаляется металлорезист — олово до интерметаллида, во второй (короткой) стадии снимается интерметаллид. Применение 2-стадийного селективного процесса снятия металлорезиста позволяет минимизировать подтравливание меди в глухих отверстиях.

Если в качестве металлорезиста и финишного покрытия применяются гальванические никель-золото (Н5, Зл 0,1–0,5), необходимо обеспечить минимальный боковой подтрав при травлении рисунка. Если боковой подтрав будет более 15 мкм, возможно обламывание «крыши» никеля (напряженное покрытие) на последующих операциях и даже в процессе эксплуатации изделия с возможным появлением коротких замыканий (КЗ) элементов печатного рисунка.

После травления рисунка и снятия олова в качестве финишных покрытий могут применяться иммерсионное золото, иммерсионное олово или горячее лужение (HALS) (после нанесения паяльной маски).

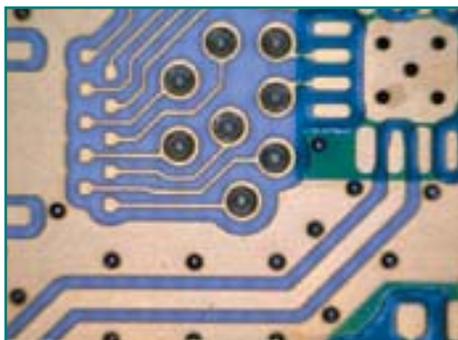


Рис. 10. Глухие металлизированные отверстия $\varnothing 0,3$ мм (слои 1–2) и $\varnothing 0,7$ мм (слои 1–4) после иммерсионного золочения

Отмечено, что химникелирование и иммерсионное золочение непосредственно глухих отверстий проходит лучше, чем в гальванических процессах (рис. 10). Возможно, это связано с повышенной температурой применяемых растворов (70...90 °С).

Если выбирается горячее лужение (HALS), то сквозные и глухие переходные микроотверстия тентрируются при нанесении защитной паяльной маски (рис. 11).

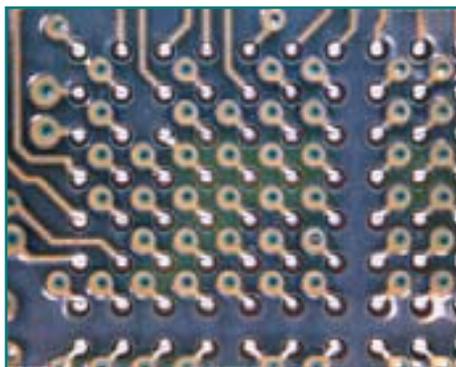


Рис. 11. МПП с глухими и сквозными микроотверстиями $\varnothing 0,2$ мм

При использовании в структуре МПП многоуровневых глухих отверстий для обеспечения качественной металлизации необходимо выполнять то же общее правило: $H/d \leq 1$ (независимо от диаметра отверстий, рис. 12). Металлизация многоуровневых глухих отверстий большого диаметра ($\varnothing 0,5$ –1 мм) связана с теми же проблемами, что и металлизация глухих микроотверстий ($\varnothing 0,2$ –0,3 мм).

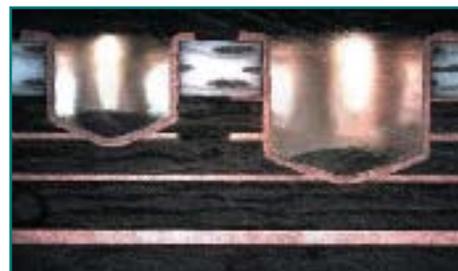


Рис. 12. Многоуровневые глухие отверстия ($\varnothing 0,5$ мм (слои 1–3), $\varnothing 0,7$ мм (слои 1–4))

Выводы

Использование типовых технологических процессов изготовления МПП с учетом конструктивно-технологических особенностей позволяет получать качественные глухие металлизированные отверстия.

Если на вашем производстве сверлят и металлизуют сквозные отверстия $\varnothing 0,2$ –0,3 мм, вы можете начать освоение производства МПП с глухими металлизированными микроотверстиями без специального оборудования и технологий.