

БЕЗОТХОДНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Современную технику невозможно представить без печатных плат (ПП), которые не только заменили жгуты соединительных проводов и гнезда креплений электрорадиоизделий (ЭРИ) в электронных устройствах, но и создали новую культуру разработки и конструирования аппаратуры, а вместе с ней – и новые промышленные технологии.

Производство ПП давно стало крупной отраслью промышленности, одной из тех, которые определяют технический прогресс. Объем производства печатных плат в США в стоимостном выражении достигает 8,2 млрд. долл., а в целом на мировом рынке – 27,3 млрд. долл. (в ценах 2001 г.).

Изготовление ПП по традиционной технологии всегда связано с наличием вредных выбросов в окружающую среду. При изготовлении 1 дм² печатной платы 0,4 кг солей, кислот, щелочей, растворенных в 100 л воды, переходит в отходы, подлежащие улавливанию.

При изготовлении ПП используются материалы 82 наименований (среди них – такие дорогостоящие, как фольгированные стеклопластики, медь и др.), значительная доля которых уходит в отходы производства.

Традиционная технология не позволяет решить ряд серьезных проблем – таких, например, как обеспечение теплоотвода от ЭРИ, определяющее надежность аппаратуры и повышение плотности элементов рисунка ПП.

Сегодняшняя ситуация с прикладной наукой в России известна всем. Тем не менее, в последнее время наметилась тенденция к тому, чтобы переломить эту ситуацию. Предпринимаются попытки решить проблему технологического отставания путем приобретения современного производственного оборудования у передовых зарубежных компаний. Однако такой метод чреват тем, что российские производители всегда

будут находиться в роли догоняющих. Один из путей завоевания передовых позиций – развитие собственных инновационных технологий, превосходящих мировые аналоги.

Безусловно, необходимость выбора нужного решения из множества вариантов – сложная задача. По мнению авторов, эта публикация должна помочь специалистам сформировать правильную позицию.

При развитии традиционной технологии ПП отечественные производители столкнулись с проблемами, которые нельзя решить путем исключительно количественных изменений, без применения качественного подхода. Так, например, повсеместное вытеснение компонентов с выводами, расположенными по периметру корпуса, компонентами с матричным расположением выводов привело к росту числа слоев плат и к использованию "микрпереходов". Кроме того, применение бессвинцовой технологии пайки резко ужесточило требования к используемым материалам. Платы, отвечающие новым требованиям, производятся в России всего на нескольких предприятиях, поэтому сложные платы, скорее всего, придется закупать за рубежом.

В настоящее время ведутся НИРы и ОКРы, направленные на преодоление указанных трудностей с помощью совершенствования традиционной технологии. Однако такой подход не позволяет решить проблему кардинально. Так, затраты на очистку сточных вод составляют 5% от оборотных средств,

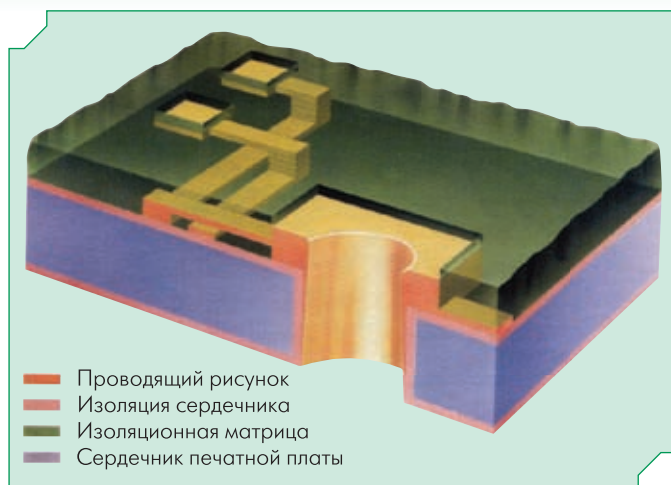


Рис. 1 Конструкция печатной платы ПРИМА

при этом не гарантируется отсутствие аварийных сбросов. В США, Японии и Европе фирмы тратят на создание и обслуживание очистных сооружений до 0,8 млрд. долл. в год. Проблема утилизации отходов фольгированных пластиков, образующихся в процессе производства ПП, а также отработанных ПП в России вообще не решается.

Затраты на рост интеграции путем повышения разрешения рисунка ПП неадекватны получаемому результату, поскольку традиционная технология практически достигла предела по разрешению рисунка (ширина проводников и промежутков между ними соответственно равна 0,1 и 0,2 мм). Наличие изначально присущих традиционной технологии межслойных соединительных отверстий приводит к тому, что площадь ПП используется далеко не полностью.

Наконец, применение приклеиваемой к плате металлической пластины, которая отводит тепло от расположенных на ПП ЭРИ, по сути, превращает двустороннюю ПП в многослойную. Она не только не решает проблему теплоотвода (в связи с наличием слоя стеклопластика между пластиной и тепловыделяющим элементом), но и приводит к резкому (в 4–5 раз) удорожанию изделия и усложнению технологического процесса.

Проведенные авторами исследования показали, что возможно создать ПП новой конструкции по принципиально новой технологии, которая исключает перечисленные проблемы. В основе технологии – способ получения проводящего рисунка путем шлифования абразивным кругом, поэтому ей присвоено название ПРИМА (получение рисунка механическим абразивным способом).

КОНСТРУКЦИЯ ПЛАТЫ

Конструкция ПП представляет собой структуру с проводящими слоями, расположенными с одной стороны изолированного металлического сердечника. Такая же изоляция отделяет друг от друга смежные проводящие слои и элементы

проводящего рисунка, расположенные в одном слое. Электрическая связь и, соответственно, межсоединения проводящих рисунков, расположенных в разных слоях, обеспечивают металлические проводящие столбики, которые "пронизывают" межслойную изоляцию.

Фрагмент конструкции платы ПРИМА, содержащей два слоя печатных проводников и металлический сердечник (из

стали, алюминиевого сплава или инвара, плакированного медью), представлен на рис.1.

При необходимости рисунки могут быть расположены на обеих сторонах сердечника и соединены между собой металлизированными отверстиями, проходящими сквозь сердечник и изолированными от него.

Ширина элементов проводящего рисунка не должна превышать 0,05 мм, ширина промежутков между элементами проводящего рисунка – 0,1 мм. Контактные площадки элементов проводящего рисунка, контактирующие с межсоединительными столбиками, имеют размеры до 0,15×0,15 мм. Новая технология, заменяя межсоединительные отверстия контактными столбиками, увеличивает плотность монтажа в 2–2,5 раза, а также делает ПП гораздо более надежными (металлизированные соединительные отверстия в платах стандартной конструкции являются наиболее ненадежными элементами ПП). Следует отметить, что по эксплуатационным свойствам 1 дм² платы ПРИМА, как правило, эквивалентен 2 дм² ПП, изготовленным по традиционной технологии. Наличие металлического сердечника обеспечивает интенсивный теплоотвод, снижая температуру высоконагруженных ЭРИ на десятки градусов. Можно сказать, что платы ПРИМА по конструкции и потребительским свойствам приближаются к микросхемам.

Платы, изготовленные по технологии ПРИМА, обладают рядом потребительских качеств, которые обеспечивают им превосходство над платами, изготовленными по традиционной технологии.

Технология ПРИМА может стать основой технического перевооружения предприятий, предназначенных для производства ПП нового поколения со значительно сниженными массогабаритными характеристиками и с высокой допустимой тепловой нагрузкой. Эта технология очень перспективна для изготовления плат для современной светодиодной осветительной техники, вентильных микроэлектродвигателей на печатных обмотках со сниженными в 5–10 раз массогабаритными характеристиками, датчиков угла поворота и линейных перемещений (индуктосинов) с точностью 1 с и 0,3 мкм соответственно.

Новая технология благодаря отсутствию "мокрых" процессов (травления, химической металлизации и др.) позволяет практически полностью исключить загрязнение окружающей среды при производстве ПП.

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПП ПРИМА

На обе поверхности металлической пластины (в которой при необходимости формируют сквозные отверстия) поочередно на каждую сторону наносят слой изоляционного компаунда "Эповин", обладающего фоторезистивными свойствами. Компаунд покрывает при этом стенки отверстий. После полимеризации компаунда соответствующую поверхность

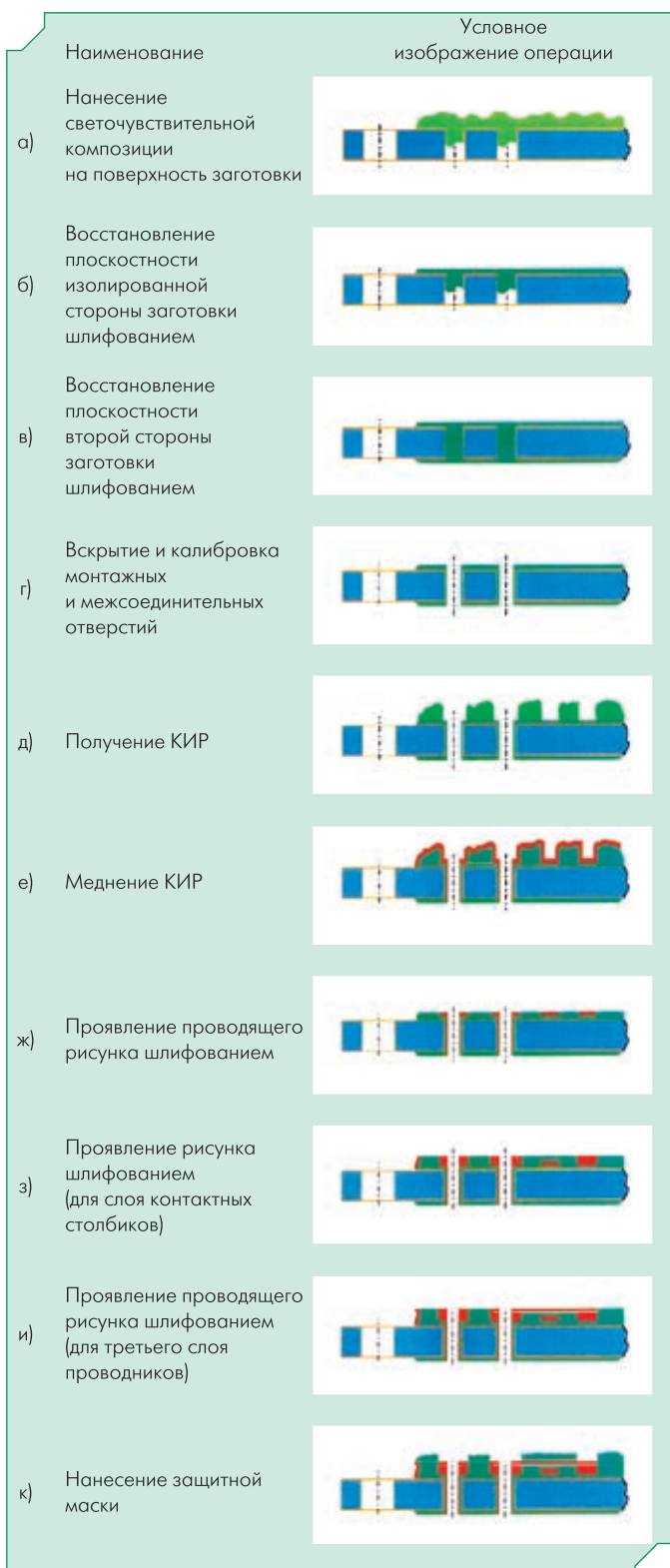


Рис.2 Технологические этапы изготовления печатной платы ПРИМА

шлифуют, чтобы обеспечить необходимую плоскостность (рис.2а,б,в,г).

Затем на одной из поверхностей методом фотолитографии на основе "Эповина" формируют копировально-изоляционный рельеф (КИР), так что рисунок, образованный впадинами рельефа, соответствует будущему проводящему рисунку (рис.2д).

Всю поверхность КИР, в том числе выступы и впадины, подвергают меднению (т.е. покрытию медной пленкой) сначала – плазменно-дуговым или магнетронным способом, а затем – гальваническим до заданной толщины. После этого медь, нанесенную на выступающие части КИР, удаляют машинным плоским шлифованием, не затрагивая при этом медь, оставшуюся в канавках и образующую проводящий рисунок слоя (рис.2е,ж).

Следует отметить, что получение проводящего рисунка без применения припоев, без травления и, соответственно, без подтравливания проводников, а также исключение возможного зарастания узких промежутков между проводниками (когда медь и припой гальванически наращивают по рисунку), которое возникает при осаждении меди на всю поверхность, позволяют уменьшить ширину проводников до 0,05 мм, а ширину промежутков – до 0,1 мм. Поэтому разрешение процесса будет определяться только разрешением фоторезиста.

Таким образом, формируется проводящий рисунок первого слоя (см. рис.2ж). Далее аналогичным способом получают второй слой, содержащий в качестве проводящего рисунка столбики, которые служат для межсоединения проводящих рисунков смежных слоев, и, наконец, тем же способом формируют проводящий рисунок третьего слоя, который с помощью столбиков второго слоя соединяется с проводниками первого слоя (рис.2з,и). При необходимости таким способом можно получить проводящие рисунки в следующих слоях, а также слой защитной маски (рис.2к).

Наиболее важными техническими решениями, позволяющими реализовать технологию ПРИМА, являются:

- замена фольгированного стеклопластика на изолированное металлическое основание;
- замена межсоединительных металлизированных отверстий на металлические межсоединительные столбики;
- получение проводящего рисунка плоским машинным шлифованием металлизированного рельефа;
- способ обеспечения высокой плоскостности металлического сердечника ПП (неплоскостность составляет не более 1 мкм), сохраняемой в процессе изготовления ПП;
- групповой способ получения любых отверстий в сердечнике ПП и вырезки ПП по контуру электрохимическим фрезерованием без заусенцев и деформации основания (скорость процесса – 0,5 мм/мин);
- температуростойкий компаунд-фоторезист "Эповин", позволяющий производить металлизацию проводящего

рисунка при температурах до 175°C и совмещающий свойства фоторезиста и прочного изоляционного компаунда. Причем компаунд-фоторезист после реализации фотолитографической функции формирования рисунка остается на ПП как конструкционный материал в виде матрицы, заключающей проводящий рисунок;

- высокопористые шлифовальные круги, позволяющие шлифовать мягкие металлы (медь, никель, алюминий и т.д.) и одновременно полимеры.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМА

Испытания ПП, изготовленных по технологии ПРИМА, подтвердили их полное соответствие требованиям существующих стандартов. Новая конструкция ПП и технология ее изготовления обладают целым рядом потребительских качеств, которые обеспечивают их решающее превосходство над ПП, изготовленными по традиционной технологии.

1. Исключается подтравливание рисунка (в традиционной технологии неизбежно боковое подтравливание проводников, носящее вероятностный локальный характер, что не позволяет организовать надежное массовое производство проводников шириной менее 150 мкм). Следует также иметь в виду, что применение защищенной протектором тонкой фольги (5–9 мкм) для получения более узких проводников, уменьшающей боковое подтравливание, увеличивает стоимость ПП.

2. Новая технология и конструкция платы позволяют практически полностью исключить межсоединительные отверстия с контактными площадками и заменить их переходными столбиками с размером контактной площадки до 150 мкм. Это, в совокупности с узкими проводниками и промежутками, дает возможность уменьшить габариты ПП в 2–2,5 раза или в 2–3 раза уменьшить число слоев, а также сократить длину линий связи и повысить тем самым быстродействие устройства.

3. Наличие металлического сердечника позволяет снизить температуру ЭРИ, в зависимости от рассеиваемой мощности, на 30–50°C и тем самым избежать во многих случаях применения охлаждающего вентилятора.

4. Исключаются процессы химического меднения отверстий, а также гальванического меднения и нанесения сплава SnPb (в традиционной технологии данные процессы реализовывались избирательно на проводящий рисунок). Это приводит к неравномерной толщине осажденной меди и нарастанию на проводнике выше четвертого уровня фоторезиста "грибков", закрывающих узкие промежутки между проводниками, что связано с разной дифференциальной плотностью тока на разных участках платы. Таким образом, невозможно получить в массовом производстве ширину промежутков менее 200 мкм.

5. Отказ от использования процессов травления и химического меднения отверстий исключает ионное загрязнение

диэлектриков, повышает сопротивление изоляции на 1–2 порядка. Кроме того, предотвращается остаточное загрязнение проводников продуктами травления, вызывающее деградацию узких проводников как при эксплуатации, так и при хранении.

6. Отсутствие ряда основополагающих технологических операций традиционной технологии и соответствующего оборудования, в том числе прессования (для МПП), травления рисунка по меди, химического меднения межсоединительных отверстий; гальванического нанесения припоя, травливания припоя, снятия фоторезистов.

7. Сокращение номенклатуры используемых материалов с 82 до 10 и инструментальных приспособлений, в том числе таких, как фольгированные стеклопластики, склеивающие прокладки (для МПП), мелкогабаритные твердосплавные сверла, фоторезисты (применяется только один фоторезист, он же является изоляцией) и т.д.

8. Исключается необходимость обработки сточных вод в объеме 94,6 л на 1 дм² печатной платы (0,4 кг в пересчете на твердый остаток).

9. Обеспечивается возможность установки электронных компонентов (в том числе СБИС) в керамических корпусах (поверхностный монтаж) при использовании в качестве оснований плакированного медью инвара.

10. Уменьшается число типов основного оборудования до 9 (при 23 в стандартном процессе).

11. Число параметров, требующих контроля в процессе изготовления ПП, уменьшается в пять раз.

12. Отсутствует коробление, высокая плоскостность ПП обеспечивает оптимальные условия для автоматизированной сборки.

13. Высокое разрешение рисунка и интенсивный теплоотвод, обеспечивающие максимально плотное размещение ЭРИ на поле платы, а также сокращение массогабаритных характеристик аппаратуры.

14. Сокращение в большинстве случаев числа проводящих слоев на МПП или полная замена МПП на ДПП.

15. В результате согласования КТР и использования в качестве металлического основания ПП медненного инвара появилась возможность размещать непосредственно на плате СБИС в керамических корпусах с матричными выводами.

Что касается стоимостных характеристик, то при серийном производстве можно ожидать снижения себестоимости от 20% (для простых плат) до 300–400% для сложных и особо сложных МПП. При этом следует учитывать уменьшение необходимой площади ПП на функцию.

Однако все перечисленные преимущества технологии ПРИМА меркнут перед открывшейся в процессе освоения возможностью реализовать на ее базе оптимальный вариант технологии так называемого внутреннего монтажа.

Здесь следует сделать небольшое отступление, раскрывающее суть внутреннего монтажа. В основе производства полупроводниковых интегральных схем (ИС) лежит планарная технология. Она подразумевает изготовление множества связанных элементов схемы на одном кристалле групповым методом с использованием фотолитографии. При этом затраты остаются относительно низкими.

Сегодня эта технология достигла уровня, позволяющего, например, весь персональный компьютер (за исключением таких элементов, как клавиатура, монитор и т.п.) "упаковать" в одной сверхбольшой интегральной схеме (СБИС). Однако такая высокая степень интеграции, обеспечивая ряд преимуществ, одновременно вызывает и ряд негативных последствий. Так, из-за значительного усложнения схемы в пределах одного кристалла увеличивается число промежуточных итераций в процессе доработки схемы. В результате сроки разработки и освоения выпуска увеличиваются до 1,5 лет.

Затраты на разработку (возможную только с использованием сверхмощных ЭВМ) и освоение выпуска таких СБИС (порядка нескольких миллионов долларов), невозможность располагать на одной шайбе-кристалле множество одновременно обрабатываемых схем увеличивают стоимость одной СБИС до нескольких тысяч долларов. И, наконец, возникает неразрешимая проблема – теплоотвод от возрастающего на порядок числа тепловыделяющих элементов, сосредоточенных в предельно малом объеме.

Тем не менее, миниатюризация электронной аппаратуры, являясь едва ли не главным инструментом повышения ее надежности, быстродействия и снижения стоимости выполняемой функции, требует не только совершенствования существующих технологий, но и принципиально новых, "прорывных" решений, обеспечивающих более высокий уровень миниатюризации аппаратуры и при этом свободных от описанных недостатков.

Традиционная технология изготовления печатных плат находится на этапе, когда эволюционные изменения должны перерасти в принципиально новое решение. Большое число рационализаторских предложений и научных исследований в области изготовления печатных плат, сделанных во времена СССР, после всестороннего анализа вылились в новую технологию, которая вобрала в себя наиболее перспективные особенности предлагаемых вариантов усовершенствования традиционных методов изготовления плат.

Несмотря на то, что современное российское производство электронных компонентов во многом отвечает требованиям изготовления интегральных кристаллов, совокупность способов корпусирования полученных кристаллов отстает от западной технологии в лучшем случае на одно, а в худшем – на два поколения. Существенный пробел в производственных методах корпусирования таких компонентов, как BGA, Flip Chip и ряд других, вынуждает российских производителей

лей экспортировать пластины-"полуфабрикаты", а не готовую, конкурентоспособную продукцию.

СУЩНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ВНУТРЕННЕГО МОНТАЖА

Сущность технологии внутреннего монтажа состоит в том, что вместо насыщения одного кристалла все большим числом функций и, соответственно, размещаемых в нем элементов, функции распределяются между несколькими меньшими по размеру бескорпусными кристаллами (чипами), каждый из которых решает определенную часть задач. Все эти чипы встраивают в печатную плату таким образом, чтобы обеспечить их межсоединение на уровне фотолитографии без индивидуального корпусирования и разварки выводов.

Перечисленные особенности технологии ПРИМА и разработанные для нее материалы позволяют реализовать технологию внутреннего монтажа наиболее простыми способами. При этом обеспечивается:

- прямой контакт "спинки" любого чипа с металлическим теплоотводящим основанием ПП и максимально возможный теплоотвод, позволяющий обходиться без охлаждающих вентиляторов;
- крепление чипа на плате, исключающее возникновение термических напряжений между чипом и металлическим основанием ПП при термоциклировании и термоударах;
- высокое разрешение процесса фотолитографии с применением фоторезиста "Эповин" позволяет соединять чипы, которые имеют контактные площадки 100 мкм, размещенные с шагом до 120 мкм, на площади, практически равной той, что занимает СБИС в корпусе.

Использование ПРИМЫ в качестве основы технологии внутреннего монтажа существенно упрощает "доводку" этой технологии и ее внедрение. При этом удается избежать множества проблем, связанных с необходимостью иметь специальные полиимидные пленки в качестве носителей кристаллов.

Также не нужно изготавливать прецизионные металлические маски, которые необходимы как для травления в полиимиде отверстий, открывающих доступ к контактным площадкам кристалла, так и для вакуумного напыления проводящего рисунка с разрешением 50 мкм. Производство таких масок – сложный технологический процесс, гораздо более дорогой, нежели изготовление фотошаблонов для фотолитографии ПРИМЫ. Существенно упрощается и процесс совмещения и ориентации кристаллов в "окошках" металлического основания относительно его баз.

Таким образом, ПРИМА (при наличии заказов) позволяет уже сегодня приступить к изготовлению электронных устройств на принципах внутреннего монтажа. Появляется перспектива выпуска электронной аппаратуры совершенно нового уровня – с повышенной надежностью и помехоустойчивостью, увеличенным быстродействием, сокращенными в разы массогабаритными характеристиками. Налицо и эконо-

мическая эффективность, поскольку себестоимость изделий сократится на 200–300%.

Особо перспективно применение внутреннего монтажа на базе технологии ПРИМА в изделиях специальной техники, так как все элементы технологии и связанные с ней преимущества подразумевают использование отечественных материалов и оборудования.

Предлагаемая технология внутреннего монтажа интегральных кристаллов на базе технологии ПРИМА помогает избежать использования заведомо устаревших корпусов. Российские разработчики и производители получают возможность занять передовые позиции в области изготовления печатных плат с помощью новой технологии и присущих ей преимуществ.

Перечислим преимущества новой технологии:

- использование доступных на российском рынке расходных материалов;
- полный отказ от процессов химического меднения и травления, приводящий к улучшению условий труда персонала и значительному сокращению затрат на приобретение растворов и их последующую утилизацию;
- возможность получения многослойных плат без использования такой ресурсоемкой и длительной операции, как прессование;
- увеличение выпуска годных за счет сокращения числа производственных этапов;
- низкая стоимость используемых в технологии бескорпусных компонентов;
- увеличение плотности размещения проводников и малые размеры контактных площадок при непосредственном монтаже интегральных кристаллов на основании в большинстве случаев повышают плотность монтажа в 2–2,5 раза. В результате появляется возможность уменьшить число слоев платы, а также повысить ее надежность;
- рост помехозащищенности компонентов и уменьшение паразитного излучения за счет меньших размеров проводников, соединяющих кристаллы со схемой, являются важными факторами при изготовлении плат для высокочастотных радиоэлектронных блоков;
- эффективное решение проблемы отвода тепла от компонентов за счет их встраивания в металлическое основание.

За рубежом также ведутся работы по изучению возможностей внутреннего монтажа, однако отсутствие таких материалов, как высокотемпературостойкий фоторезист "Эповин" не позволяет напрямую использовать при соединении чипов фотолитографию и вакуумную металлизацию. Существенным фактором является также отсутствие за рубежом системы совмещения на базе стеклянных фотошаблонов с прецизионными фиксирующими отверстиями, которая необходима при размещении и закреплении чипов на основании печатной платы. □



Новая установка селективной и волновой пайки GEM компании Pillarhouse

GEM – новейшая недорогая система, предназначенная для селективной и волновой пайки, а также ремонта монтируемых в отверстия компонентов для мелкосерийного производства и создания прототипов.

Особенности системы:

- Однокнопочный переключатель и ЖК-дисплей позволяют оператору задавать высоту флюсования и пайки, температуру, а также другие ключевые параметры технологического процесса.
- Выбор точек флюсования и пайки осуществляется при помощи стационарной, установленной сверху лазерной системы выравнивания. Лазер освещает точки флюсования и пайки на плате при перемещении рамки, что обеспечивает оператору полную маневренность по осям X и Y при работе с платами размером до 508×508 мм.
- При пайке плат с высокой плотностью монтажа используется новейшая опция наложения изображений компонентов, установленных на верхней стороне платы. Оператор получает беспрепятственный обзор выбранных точек флюсования и пайки на рабочей плате с установленными компонентами, используя в качестве шаблона плату без компонентов.
- Припой поступает из универсальной насадки для точечной пайки AP-1 или специальных насадок для селективной волновой пайки и ремонта. Процесс пайки проходит

в инертной среде азота, что уменьшает образование окислов и термоудар компонентов.

- Универсальный держатель плат может быть наклонен на 7 градусов от прямого угла для прохождения печатной платы над насадкой пайки волной.
- Смена ванны припоя и помпы – всего за 1 мин.
- Продув системы флюсования для очистки автоматический.
- Функция "Запись и воспроизведение" позволяет записывать действия оператора на флеш-память. Если перед обработкой платы выбрать функцию "Запись", то для обработки следующей платы достаточно нажать на любую из трех ножных педалей и операция будет воспроизведена – ввод дополнительной информации не требуется. Система может хранить до 50 операций.
- Используется новейшая, специально разработанная для установки GEM, электронная система управления печатными платами.

Технические характеристики установки GEM

Габариты, мм	1470×1900×1470
Масса, кг	325
Электропитание, В, Гц, кВт	210–240, 50/60, 2
Расход азота, бар, л/мин	5,35
Масса ванны припоя, кг	29
Максимальный размер платы, мм.....	508×508

www.dipaul.ru