

# ВНУТРЕННИЙ МОНТАЖ КРИСТАЛЛОВ В РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЕ



Е. Назаров

Как известно, технология поверхностного монтажа позволила безвыводные и бескорпусные элементы, применяемые ранее в микросборках, монтировать на стеклотекстолитовые печатные платы (ПП). В результате резко возросла интеграция и уменьшилась ширина проводника на ПП, что привело к снижению габаритов электронных блоков, увеличению быстродействия РЭА и позволило решить многие вопросы автоматизации сборочно-монтажных процессов. Однако наряду с положительными тенденциями очевидны стали и недостатки поверхностного монтажа, из-за которых снижается качество и надежность РЭА. Предлагаемая НПП "Радуга" технология внутреннего монтажа кристаллов позволяет раз и навсегда избавиться от этих недостатков и устраняет множество факторов, вызывающих отказы современных электронных блоков на ПП.

К недостаткам поверхностного монтажа относятся:

- различие в значениях линейного расширения керамического или ситаллового ЧИП-компонента и материала ПП (стеклотекстолита), что ведет при нагреве и охлаждении электронного блока к возможным разрушениям компонентов или паяных контактов, а в ряде случаев и к разрывам токоведущих дорожек платы;
- трудности в получении стабильных и надежных соединений. Невыводимые вкрапления травителя, оставшиеся в микропорах проводников шириной менее 200 мкм, приводят к деградации проводника в процессе эксплуатации изделия. Чем тоньше проводник, чем больше в нем подтравок, чем нестабильнее ширина, тем активнее эти факторы вызывают отказы. Производство ПП подошло к границам применения "мокрых" методов химического травления. Изготовление плат 4 и 5 классов точности с применением таких методов дорого и по-прежнему экологически вредно;
- необходимость отвода тепла от ИС, защиты ее от многих видов электромагнитных излучений, обеспечения надежности внутренних контактов ИС при разных видах технологического воздействия и испытаний. Очень существенно, что применение BGA-компонентов, считающихся вершиной элементной базы для современного поверхностного монтажа, не устраняет, а напротив, усугубляет его недостатки: масса внешних контактов увеличивает вероятность их нарушения при любых температурных воздействиях на ИС, высокая плотность выводной рамки порождает обилие паразитных явлений в аналоговых электронных блоках.

Эти трудности типичны и для отечественной, и для зарубежной практики. Однако в отечественном производстве указанные факторы усугубляются деградацией микроэлектронной отрасли. Совершенно очевидно, что отечественная электроника сохранится, только если она будет конкурентоспособной. Имеем ли мы сегодня рычаги, которые смогут довести отечественные радиоэлектронные изделия до мирового уровня? Можно утверждать, что такие рычаги есть.

Наши конструкторы еще до начала перестройки, когда мы отставали от американцев и японцев по уровню технологии производства СБИС, пошли по другому пути. Они стали разрабатывать методы коммутации серийных кристаллов невысокой степени интеграции в составе многокристалльных модулей, выполняющих функции СБИС. В результате эти модули функционально превосходили американские и японские СБИС и при этом были дешевле и надежнее.

Надо сказать, что в последнее время американские и японские специалисты оценили преимущества многокристалльных модулей и сейчас интенсивно работают в данном направлении. Однако российские методы по-прежнему дешевле и надежнее, и в первую очередь благодаря применению технологии напыления проводников через металлические маски. Эта технология позволяет одновременно с формированием топологии электронных блоков создавать надежные соединения между контактными площадками ИС и токоведущими дорожками электронных блоков.

В результате упрощенная схема технологии внутреннего монтажа имеет следующие этапы:

- на подложке из алюминия штампом пробиваются прямоугольные отверстия, соответствующие, с допустимым увеличением, размерам кристаллов ИС, монтируемым в эти отверстия;
- на подложке с отверстиями методом анодирования формируется диэлектрический слой;
- кристаллы ИС размещаются в предназначенные для них отверстия подложки так, чтобы верхняя сторона кристаллов, содержащая контактные площадки ИС, находилась наверху;
- на подложку с уложенными кристаллами наносится полиимидная пленка, к которой затем прижимается (приклеивается) лицевая сторона каждого кристалла ИС;
- методом ионного травления в полиимидной пленке формируются отверстия, вскрывающие контактные площадки ИС;
- сформированную таким способом подложку размещают на столе из магнитного материала. Сверху на подложку, с высокой точностью, накладывают коваровую маску (фольгу с тонкими прорезями), и стол плотно прижимает ее к подложке;
- методом сплошного напыления через маску формируют токоведущие дорожки из меди (в ряде случаев предварительно напыляется подслоя титана для обеспечения высокой адгезии) и никеля (защитного слоя). Ширина проводников 50, 70, 100 мкм.

В результате без использования пайки и сварки получается соединение контактных площадок ИС с токоведущими дорожками платы. После нанесения слоев Ti-Cu-Ni коваровая маска снимается с подложки;

- для увеличения объема разводки на полученную топологию первого слоя вновь наносится полиимидная пленка, в которой ионным травлением вскрываются переходные межуровневые отверстия, и через вторую маску производится формирование второго слоя разводки с контактными площадками. При этом одновременно с формированием второго уровня топологии платы происходит формирование переходных соединений верхнего и нижнего уровней.

Таким образом можно сформировать до 30 слоев ПП с смонтированными в нее ИС. На верхнем слое формируются контактные площадки для пассивных и прочих элементов, припаиваемых к ним традиционным методом поверхностного монтажа. Как показывает практика, самые сложные схемы разводятся в двух слоях информационной топологии. Причины такой плотности – применение ИС без каких-либо выводов, отсутствие сварных и паяных контактов, возможность формирования проводников шириной порядка

НПП "Радуга" создано в 1990 году на базе лаборатории перспективных технологий ВНИИ приборостроения. Предприятие разрабатывает и производит технологическое оборудование для поверхностного монтажа: печи с постоянной конвекцией, конвейерные и бесконвейерные; настольные и цеховые, ручные и механизированные устройства для установки поверхностно монтируемых элементов; устройства трафаретной печати; дозаторы; термофены; столы радио-монтажника и другое оборудование. В числе другой продукции – высокотемпературные печи типа ПЭК-8 для микронизированного производства, конвейерные сборочные системы, оборудование для сушки, полимеризации покрытий и пр. Выпускаемое НПП оборудование эксплуатируют более 1000 ведущих предприятий России, Украины и Белоруссии, производящих РЭА бытового и военного назначения, автомобильную электронику и различные приборы в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Воронеже, Рязани, Пензе, Перми, Арзамасе, Челябинске, Сарепуле, Калуге, Старом Осколе, Рыбинске, Нижнем Новгороде, Коврове, Полтаве, Молодечно и т.д. К ним относятся предприятия "Электросигнал", "Спутник", "Молния", "Дальняя связь" и многие другие.

Оборудование НПП "Радуга" характеризуется высокой технологичностью, простотой и надежностью. От импортных аналогов его печи с постоянной конвекцией отличает равномерность нагрева изделий и мягкость термовоздействия на платы и компоненты при оплавлении. Для решения задач конструкционной пайки в среде защитного газа НПП "Радуга" предлагает многокамерную паяльную систему с максимальной температурой пайки 1000°C. Эта модульная система должна иметь возможность наращивания производственных мощностей пропорционально полезным объемам паяльных камер в пределах 0,1–1,2 м<sup>3</sup>.

Сегодня НПП "Радуга" внедряет новейшую и перспективную технологию сборки электронных блоков – "внутренний монтаж кристаллов", объединяющую лучшие достижения микроэлектроники, поверхностного и обычного штырькового монтажа. С этой целью НПП формирует производственное подразделение, функцией которого является разработка и производство электронных блоков методом внутреннего монтажа.

50–70 мкм, а при необходимости – 10 мкм. Диаметр переходного отверстия не более ширины проводника.

Габариты схемы, реализованной по технологии "внутреннего монтажа кристаллов" ИС, более чем в 10 раз меньше габаритов той же схемы, реализованной с применением традиционной технологии монтажа ПП и использованием корпусных элементов. Более чем пятикратное увеличение надежности обеспечили следующие факторы:

- отсутствие выводов ИС, и следовательно, отсутствие паяных и сварных соединений этих выводов с контактными площадками ИС и подложки;
- формирование проводника сухим методом. Сам проводник состоит из чистых материалов, не содержит никаких остатков травления, вызывающих деградацию тонких проводников обычных ПП;
- близость значений коэффициентов линейного расширения кристалла, оксидного защитного слоя подложки, керамических корпусов конденсаторов и ситалловых корпусов резисторов, что гарантирует безотказную работу блоков при резких перепадах температуры;
- кристаллы ИС, уложенные в алюминиевую или керамическую подложку (при необходимости – в подложку из теплопроводной керамики), находятся в условиях постоянной теплоразгрузки подложки, что повышает надежность работы ИС;
- подложка из алюминия естественным образом создает не только теплоразгрузку кристаллов, но и защищает схемы от электромагнитного воздействия.

Как можно видеть, технология внутреннего монтажа кристаллов устраняет множество основных факторов отказов современных электронных блоков на ПП. Но есть еще один существенный фактор отказов РЭА – отказы в межблочных разъёмных соединениях. Радикальным решением этой проблемы можно считать замену разъёмного соединения легкоприпаиваемым. Наличие никелевой защиты медных проводников и ламелей дает возможность производить многократные, сколь угодно частые перепайки контактов. Причина в том, что никель препятствует контакту припоя и меди и не допускает растворения меди в оловянно-свинцовом припое даже после большого числа перепаяек.

С учетом сказанного можно представить новую конструкцию очень многих видов РЭА, состоящую из следующих основных элементов:

- коммутационная объединительная плата – основание из стали с полиимидным диэлектрическим слоем, на котором указанным выше методом свободных масок сформирована разводка. Во многих случаях в качестве коммутационной платы может быть использована задняя стенка прибора;
- микромодули, изготовленные по технологии внутреннего монтажа кристаллов и свободных масок, припаянные с помощью торцевых контактов и ламелей к объединительной коммутационной плате. Микромодули легко демонтируются даже в работающем приборе путем локального разогрева стальной коммутационной платы до температуры пайки. Разогрев стальной подложки можно производить утюгом.

Устранение многих факторов отказов электронных блоков на ПП позволит упростить операции промежуточного контроля. Микромодуль можно проконтролировать, впаяв его в заведомо работоспособное изделие, несущее функцию настроечного, эталонного образца, а затем, удалив из него, впаяв в рабочее изделие. Очевидно, что повышение надежности РЭА сопряжено с прямой экономической выгодой. Кроме того, во многих изделиях надежность – одно из определяющих требований, предъявляемых к данному ви-

ду РЭА. Важно также, что процесс производства многокристалльных модулей методом свободных масок представляет собой экологически чистое производство.

Какое же оборудование требуется предприятию для внедрения технологии внутреннего монтажа кристаллов? Два основных устройства:

- устройство напыления;
- устройство ионного травления полиимидной маски.

Наиболее перспективным методом напыления проводников через маски считается метод газодинамического сверхзвукового напыления металлов. Современные установки, использующие этот метод, позволяют формировать проводники толщиной до 100 мкм на полиимиде и керамике без дополнительного адгезионного подслоя. Установки газодинамического напыления высокой мощности, способные обеспечить массовое производство многокристалльных модулей, производятся Центром порошкового напыления в Обнинске. Более простые и дешевые установки разработаны НИИТАП (Зеленоград). Приобретение установок ионного травления не обременительно в финансовом отношении даже в трудных условиях многих отечественных микроэлектронных производств.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что единственно верный путь обеспечения конкурентоспособности отечественной радиоэлектронной промышленности состоит в использовании технологии внутреннего монтажа кристаллов с применением свободных масок. Тем, кто пойдет по этому пути, следует иметь в виду, что между современным специальным применением этой технологии и будущим ее применением в массовом многономенклатурном производстве РЭА (как специального, так и бытового назначения) существует определенная дистанция. Преодолеть эту дистанцию способны лишь настойчивые, широко мыслящие специалисты, ориентированные на реально эффективное производство. ○



### Ремонт прецизионных высоконадежных печатных узлов

Успешный ремонт высоконадежных печатных узлов (ПУ) на МПП проблематичен даже для высококвалифицированных операторов. Однако с использованием надлежащих средств он упрощается.

Хотя изготовители ПУ и пытаются избежать производственных ошибок, они все же обнаруживаются либо при оптическом и рентгеновском контроле, либо на стадии электрического тестирования. При ремонте ПУ на МПП из полиимида с заземленными пластинами и термочувствительными компонентами типа BGA и керамических корпусов с матрицей выводов проблемы возникают из-за распайки. Такой ремонт можно выполнить только вручную – искусной заменой отдельных компонентов. Затруднения связаны и с большими площадью и толщиной МПП, что требует для ремонта очень высокой тепловой мощности. По возможности изготовитель должен ограничивать максимальную температуру внутри корпусов компонентов до 160°C при пиковой температуре расплавления 200°C.

Особенно большие проблемы создают располагаемые иногда по периферии платы BGA. При предварительном нагреве температура по краям платы выше, чем во внутренних областях, и тепло распространяется к центру ПУ, который действует в этом случае как охладитель. В результате при ремонте возрастает риск возникновения дефектов, связанных с тепловым перенапряжением, например расслоения и коробления платы. Даже небольшая деформация может привести к таким дефектам, как холодная пайка и короткие замыкания соединений. Обычный сдвиг BGA относительно платы на 0,5 мм и опускание даже на 0,1 мм достаточны, чтобы вызвать короткое замыкание.

Кроме того, пластмассовые корпуса обычно гигроскопичны и абсорбируют влагу при атмосферном воздействии. Если прибор быстро нагревается, влага расширяется, создавая внутри него раковины. Во избежание этого дефекта требуется равномерное приращение температуры по ПУ, которое не должно превышать 10°C. Таким образом, процесс нагревания должен быть быстрым, равномерным и безопасным. Крупные габариты ПУ затрудняют также прецизионное манипулирование ими.

Как во всех ручных процессах, высока вероятность ошибок оператора. Поэтому наиболее эффективное решение – это полуавтоматическая система с высокой повторяемостью параметров и тепловой безопасностью. Такая настольная ремонтная система (см. рис.) оставляет ПУ неподвижным, в то время как единственная рабочая головка движется по плате. Центрирование ПУ относительно нагревателя обеспечивает равномерность предварительного нагрева, что снижает риск теплового разрушения. Известно, что селективный нагрев площади платы может случайно вызвать отказ, даже когда все параметры стабильны.

Предлагаемая ремонтная система сохраняет целостность компонентов благодаря использованию небольшого нагревающего воздушного потока и головки расплавления, обеспечивающей температурную равномерность. Эти свойства делают возможным удаление неисправного компонента без разрушения соседнего. Если же подъем и спад температуры (2–3°C/с) не регулируются с высокой точностью, такое разрушение возможно.

Circuits Assembly, August 2004.

