

Использование поверхностного монтажа при сборке микроэлектронной аппаратуры

В последние годы в России наблюдается интенсивное развитие производства электроники. Особенно это можно видеть по большому количеству информации, посвященной установке компонентов на печатные платы (ПП) по технологии поверхностного монтажа. Но на данный момент в нашей стране остались предприятия, на которых кроме производства ПП еще сохранилось и производство микроэлектронной аппаратуры (МЭА), сборка которой осуществляется ручным методом с применением паяльников, монтажных игл, пинцетов и т. д. Именно для таких предприятий автором была разработана технология сборки плат микромодулей с использованием поверхностного монтажа.

Максим Шмаков

rpkb@space.ru

Уменьшение габаритов МЭА ведет к минимизации размеров входящих в нее компонентов, а также к отказу от корпусированных микросхем и использованию бескорпусных кристаллов. Гибридная сборка, упакованная кристаллами, дает существенный выигрыш в весе и объеме по сравнению со стандартной упаковкой, а также существенное улучшение электрических характеристик, в первую очередь — снижение индуктивности выводов. При этом стоимость бескорпусных кристаллов в несколько раз меньше стоимости их корпусированных аналогов.

В связи с большим влиянием человеческого фактора, малой производительностью и повторяемостью процесса пайки и других процессов. Применение паяльников не отвечает современным требованиям производства электронной аппаратуры.

В данной статье исследованы возможности использования технологии поверхностного монтажа при

сборке изделий микроэлектроники на примере сборки плат для микромодуля питания.

Конструкция микромодуля представляет собой сборку (рис. 1) с установленными на подложку из алюминиевой керамики полупроводниковыми кристаллами исполнения «5» и другими бескорпусными компонентами. На плате-подложке в соответствии с электрической схемой предварительно сформирована топология методом трафаретной печати и последующей пооперационной высокотемпературной обработкой проводниковой, диэлектрической и резистивной паст в печи до образования высокотемпературных пленок толщиной от 15 до 30 мкм.

Технология сборки, используемая сегодня, включает установку диодов и транзисторов в бескорпусном исполнении, а также чип-компонентов на припой с помощью паяльника и пинцета. Затем на клей, нанесенный с помощью монтажной иглы, устанавливаются микросхемы (кристаллы исполнения «5»), после чего производится разварка золотых перемычек.

Такая технология имеет ряд недостатков, которые больше всего проявляются в процессе установки бескорпусных кристаллов:

- Пинцет часто наносит механические повреждения внешней поверхности кристалла (царапины) или внутреннему кремнию (вылет кристалла, микротрещины и трещины — эти повреждения иногда обнаруживаются последующим осмотром, но часто не выявляются до электрического испытания).
- Неравномерность лужения контактных площадок (КП), а также присутствие пустот под установленным кристаллом или в припойном слое может ограничить тепловой и электрический обмен с платой. Это может привести к общей деградации или внезапному отказу, когда локализующиеся в пустотах «горячие точки» (пузырьки воздуха в припойном слое под активным элементом (кристал-



Рис. 1. Фрагмент платы для микромодуля питания
1 — бескорпусные полупроводниковые кристаллы, устанавливаемые на припой;
2 — бескорпусные полупроводниковые кристаллы, устанавливаемые на клей

лом), которые чаще всего являются локальными областями перегрева с последующим выходом данного элемента из строя) приводят к тепловому лавинному пробую [1].

- Неравномерность нагрева кристалла может вызвать его отказ.
- При установке компонентов керамическую подложку необходимо дополнительно подогреть вследствие ее высокой теплопроводности.
- Возможность повреждения КП при нанесении клея.

При этом отсутствует контроль установки кристаллов, обеспечивающий полноценный осмотр паяного (клееного) соединения на наличие пустот.

У данной технологии имеются и другие недостатки: влияние человеческого фактора, низкая повторяемость и производительность при ручной сборке.

Все это натолкнуло автора на разработку технологии сборки платы для микро модуля питания с использованием поверхностного монтажа при установке полупроводниковых изделий на подложку-носитель. При этом применяется уже имеющееся на производстве оборудование (кроме оборудования для контроля), используемое для изготовления широкой номенклатуры изделий при малой программе выпуска, что характерно для большинства российских предприятий.

Этапы технологического процесса сборки платы для микро модуля питания с применением поверхностного монтажа:

1. Нанесение паяльной пасты.
2. Установка чип-компонентов и бескорпусных кристаллов на паяльную пасту.
3. Пайка чип-компонентов и бескорпусных кристаллов.
4. Контроль установки полупроводниковых кристаллов на припой.
5. Нанесение клея.
6. Установка микросхем (полупроводниковых кристаллов исполнения «5») на клей.
7. Контроль установки полупроводниковых кристаллов на пайку.

О некоторых операциях необходимо рассказать подробнее.

Операция № 1. Нанесение паяльной пасты

Для нанесения пасты используют метод трафаретной печати. Он является более предпочтительным, так как обеспечивает высокую производительность, равномерность и повторяемость процесса. Два последних фактора являются наиболее важными для обеспечения качественной установки бескорпусных кристаллов.

Для нанесения паяльной пасты методом трафаретной печати рекомендуется использовать паяльные пасты с содержанием металлической составляющей 88–91%. Рекомендуемая вязкость в зависимости от размеров частиц припоя должна составлять 6000–10 000 г/см² [2].

Время, затрачиваемое на операцию нанесения паяльной пасты, почти в 3 раза меньше времени лужения КП при помощи паяльника (рис. 2).

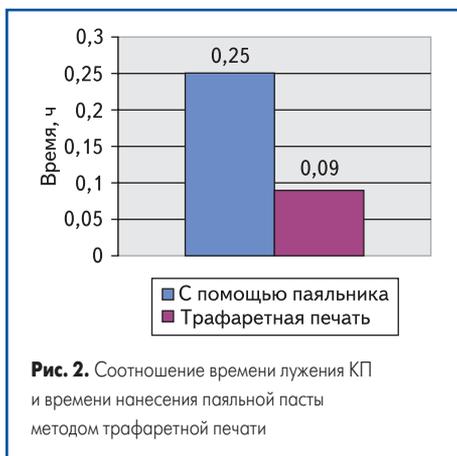


Рис. 2. Соотношение времени лужения КП и времени нанесения паяльной пасты методом трафаретной печати



Рис. 3. Приспособление для нанесения паяльной пасты

Паста наносится при помощи специального приспособления П-19793 (рис. 3).

Приспособление П-19793 предназначено для ручного нанесения паяльной пасты на подложки из алюмооксидной керамики методом трафаретной печати. Размеры заготовок 19×32 мм и 24×32 мм. Устройство работает с металлическими шаблонами, изготовленными из бронзы, и имеет простую и удобную конструкцию, позволяющую легко закреплять и сменять их.

Подложка вставляется в карту, предварительно установленную на столике, который, в свою очередь, закреплен на плите. Угол поворота столика 360°.

Трафарет крепится на рамке с помощью 20 пилонов и 16 натяжных винтов. Достоинством данного приспособления является то, что трафарет крепится по четырем сторонам.

Совмещение рисунка трафарета с подложкой производится метрической регулировкой отдельно по двум осям и углу с помощью плит, установленной на основании.

О применяемой паяльной пасте следует сказать следующее. Кристалл диода Шоттки имеет Ti/Ni/Ag (титан/никель/серебро) металлизацию катода, предусматривающую установку кристалла с применением припойной пасты или с предварительным лужением (состав припоя — Pb 92,5%, In 5%, Ag 2,5%). Рекомендуется включение в состав припоя серебра во избежание растворения в процессе пайки серебра, содержащегося в металлизации катода.

Кроме того, пасты тоже должны быть с содержанием серебра (для предотвращения ми-

грации серебра, содержащегося в металлизации катода, в припой и для повышения прочности паяного соединения) и должны быть предназначены для нанесения методом трафаретной печати. Размеры частиц пасты должны составлять 20–45 мкм, поскольку пасты с малыми размерами хоть и легко наносятся, но при пайке часто возникает проблема разбрызгивания шариков припоя. Пасты с большим размером частиц проблематично нанести через маленькие апертуры в трафарете.

В последнее время стало модно использовать паяльные пасты, содержащие безотмывочные флюсы, однако в таком случае необходимо учитывать условия, в которых будет работать конечное электронное изделие. Для промышленной электроники, используемой в жестких условиях, и для всей спецтехники отмывка необходима даже при условии применения пасты, содержащей безотмывочный флюс.

Поскольку на многих производствах невозможно выполнить операцию пайки сразу после нанесения паяльной пасты, то необходимо, чтобы паяльная паста могла сохранять свои свойства как можно дольше, то есть имела большое время жизни.

Операция № 2. Установка чип-компонентов и бескорпусных кристаллов на паяльную пасту

Как уже говорилось выше, металлический пинцет наносит механические повреждения внешней поверхности кристалла. Эти повреждения иногда обнаруживаются при последующем осмотре, но часто не выявляются до электрического испытания. Например, царапина, порождающая мостик между металлизующими дорожками, может быть обнаружена при визуальном контроле, а под электрической нагрузкой может вызвать короткое замыкание. Но трещина в объемном кремнии может привести к скрытым дефектам типа локальных каналов утечки или областей перегрева кристалла, которые проявятся на температурах, близких к максимально допустимой, и приведут к лавинному пробую.

По этим причинам рекомендуется при любых ручных манипуляциях с кристаллами использовать специальные инструменты, такие как вакуумные карандаши с тщательно отобранными наконечниками для захвата кристаллов. Такой инструмент должен быть сконструирован для контакта, в первую очередь, с гранями кристалла, а не с его нижней и верхней поверхностями.

При автоматизированном захвате и размещении кристаллов используется мягкий наконечник (типа кремний/резина) или 4-сторонний перевернуто-пирамидальный наконечник в виде цанги подходящего размера. Это особенно важно для неактивированных кристаллов, более подверженных механическим повреждениям, которые приводят к отказу [1].

Чрезмерное вертикальное давление на кристалл во время его установки может привести к выдавливанию пасты из-под него, уменьше-

нию зазора между кристаллом и подложкой, а излишки пасты могут подняться по сторонам и наползти на верхнюю поверхность кристалла.

В настоящее время рынок оборудования для поверхностного монтажа переполнен всякого рода манипуляторами, с помощью которых можно обеспечить надежную, быструю и аккуратную установку кристаллов на керамическую подложку с помощью вакуумного пинцета.

Операция № 3. Пайка чип-компонентов и бескорпусных кристаллов

Обратная сторона кристаллов покрыта металлом. Детали схемы металлизации можно найти в технических условиях (ТУ) на кристалл. Назначение этой металлизации — обеспечить низкое тепловое и электрическое сопротивление между кристаллом и материалом установочной поверхности. Кроме того, металлический низ предназначен для пайки и дает технологам широкий выбор вариантов установки кристалла — от применения контактов (контактол — токопроводящий клей или компаунд) до специализированных беспроволочных паек.

Окончательный выбор способа установки кристалла будет зависеть от требований, предъявляемых к прибору (устройству).

Одним из важных факторов при пайке является результат воздействия термоудара на собираемое изделие. При нагреве и охлаждении все материалы расширяются и сжимаются. Зависимость изменения размеров от изменения температуры выражается коэффициентом температурного линейного расширения (КТЛР). Кремний имеет сравнительно низкий КТЛР (от 2 до 4 млн⁻¹/°С). Глинозем керамический (алюминиевая керамика) имеет КТЛР от 5 до 7 млн⁻¹/°С. Ввиду малого отличия КТЛР повышение температуры при пайке не вызовет таких отрицательных моментов, как деформация подложки и наличие больших механических напряжений [3].

При пайке компонентов и кристаллов используем конвекционный нагрев, так как его недостатки почти не проявляются при малых размерах подложки (чего не скажешь о ПП).

Использование данного метода пайки имеет ряд преимуществ по сравнению с пайкой при помощи паяльника:

- возможность оплавления большого количества плат одновременно (количество ограничивается размером рабочей площади печи);
- равномерный нагрев устанавливаемых элементов;
- подогрев подложки не нужен — она нагревается одновременно с другими элементами (улучшение процесса пайки).

Время, затрачиваемое на операцию пайки элементов при помощи паяльника, в 6 раз больше времени, затрачиваемого на операцию установки элементов с помощью манипулятора с последующим оплавлением припоя в конвекционной печи (рис. 4).

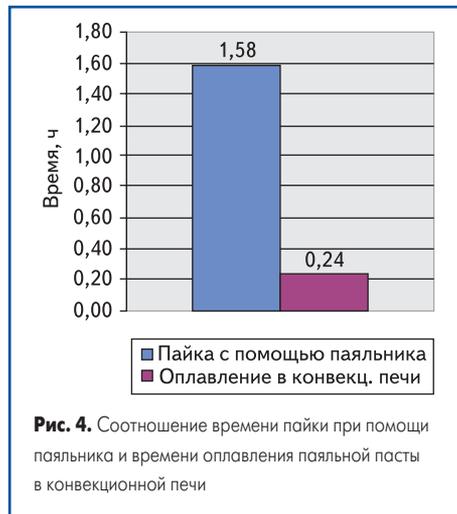


Рис. 4. Соотношение времени пайки при помощи паяльника и времени оплавления паяльной пасты в конвекционной печи

Ввиду малых размеров подложки, при конвекционной пайке отсутствует неравномерный нагрев компонентов, расположенных в разных ее частях. Поэтому пайку можно осуществлять в обычной печи.

Операция № 4. Контроль установок полупроводниковых кристаллов на припой

Операция контроля очень важна в производстве плат для микро модуля питания, особенно для установки бескорпусных кристаллов (диодов и транзисторов). Поэтому ей уделяется особое внимание.

При применении бескорпусных кристаллов возникает проблема контроля качества паяных соединений, находящихся под ними и недоступных традиционным визуальным и оптическим методам.

Необходимо отметить тот факт, что доля брака на операции сборки (ошибки установки) и недостатки припоя составляют порядка 50% от всего производства электроники.

Рентгеновский метод контроля сегодня является единственным средством получения объективной и достоверной информации о структуре паяных соединений электронного модуля. Важно и то, что рентгенокопия относится к неразрушающим методам контроля.

Но поскольку данное оборудование имеется не на всех предприятиях, предлагаем использовать его хотя бы на этапе отработки технологии и только для контроля установки кристаллов.

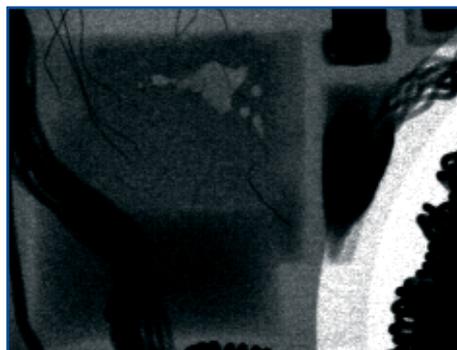


Рис. 5. Дефект паяного соединения бескорпусного кристалла

Система рентгеновского контроля — эффективное средство диагностики технологических дефектов (за счет снижения стоимости ремонта изделий в процессе производства и риска повреждения толсто пленочных узлов в процессе ремонта), повышения качества и надежности выпускаемых изделий (за счет обеспечения контроля, каждого паяного соединения и целостности кристаллов).

На снимке (рис. 5), сделанном на установке рентгеновского контроля наглядно виден дефект паяного соединения бескорпусного кристалла (в данном случае транзистора). Установка компонента производилась с помощью паяльника.

Операция № 5. Нанесение клея с помощью дозатора

Как и в случае с припоями, выбор правильного материала и определение правильной толщины — ключ к оптимизации надежности. Большинство эпоксидных материалов имеет достаточную твердость, поэтому они выдерживают меньшее температурное расширение, чем большинство припоев. Они в основном требуют нанесения более толстого слоя и во влажном состоянии могут быть в два раза толще, чем после затвердевания. Адгезивная пленка гарантирована при определенной толщине нанесения влажного клея, но при этом требуется механическое прижатие кристалла до полного высыхания (полимеризации).

Для сушки и полимеризации эпоксидных смол необходима хорошо вентилируемая печь, поскольку из-за своей текучести паста может мигрировать и загрязнять поверхность компонентов. Потенциальной проблемой для обеспечения надежности могут быть выделения смол (из клея или компаунда) и их миграция на сварные контактные площадки подложки и кристалла. Перегрев — тоже проблема, так как материалы могут растрескаться, возможно, даже с выделением вредных веществ [3].

Кроме того, существует реальный риск аллергических реакций и раздражения незащищенных глаз и кожи. Всегда соблюдайте меры предосторожности, приведенные в справочных данных изготовителей, и нормы охраны здоровья и безопасности!

Для уменьшения вероятности повреждения КП при нанесении клея, а также влияния человеческого фактора, и в связи с относительно высокой точностью нанесения доз клея должен использоваться ручной дозатор, который является необходимым устройством для качественного нанесения клея и других материалов. В отличие от механических шприцов и «пистолетов» пневмодозатор обеспечивает вакуумную отсечку после нанесения каждой порции, тем самым останавливая инерционное выделение материала и гарантируя точную дозировку.

При выборе клея необходимо предусмотреть несколько важных технологических факторов, в том числе его применимость для нанесения методом дозирования и коэффициент теплопроводности ($\lambda \approx 0,9$ Вт/м·К).

Поэтому целесообразно применять клеи с содержанием нитрида бора (60 весовых частей), либо компаунды типа «Эластосил» 137–182 ($\lambda \approx 1,6 \div 1,8 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$).

Операция № 6. Установка бескорпусных микросхем на клей

Данная операция идентична операции № 2 «Установка компонентов», разница лишь в том, что микросхемы устанавливаются на клей.

Выводы

Разработанная технология позволяет кардинально сократить затраты времени и использование ручного труда на стадии сборки плат. Это приводит к увеличению повторяемости и производительности на данных операциях. Сложным моментом данной технологии является установка кристаллов на паяльную пасту. При последующем оплавлении происходит испарение растворителя и избыт-

ка влаги из паяльной пасты, ведущее к образованию пузырьков воздуха в припойном слое, что в дальнейшем приводит к локальным перегревам активного элемента. Для устранения этого негативного момента технология предусматривает использование рентгеновского контроля, что позволяет существенно сократить затраты на устранение брака, который может проявиться на последующих стадиях приработки изделия.

Литература

1. AN-1060. Бескорпусной кристалл: обработка и хранение. Ричард Кларк. Перевод — Сержанов Ю. В.
2. Справочное руководство по выбору и применению материалов для производства и ремонта электронной аппаратуры. Москва. ЗАО «Предприятие ОСТЕК». 2005.
3. AN-1061. Бескорпусной кристалл: установка и сварка. Руководство для организации процесса сборки. Ричард Кларк. Перевод — Сержанов Ю. В.