

Дефекты паяных соединений при монтаже внешних выводов транзисторов в силовых модулях

Исследованы причины возникновения дефектов при пайке внешних выводов мощных транзисторов в пластмассовых и металлокерамических корпусах в силовых электронных модулях.

Владимир Ланин,
профессор

vlanin@bsuir.by

Анатолий Керенцев

akerentsev@transistor.com.by

Конструктивно-технологические особенности SMD-корпусов

Поверхностный монтаж электронных компонентов на платы — перспективное направление сборки электронных модулей, к которым предъявляются требования миниатюрности и невосприимчивости к низкочастотным вибрациям. В качестве активных электронных компонентов для силовых электронных модулей применяют транзисторы в пластмассовых корпусах для поверхностного монтажа с укороченными выводами типа SOT-23, SOT-223, D-Pak, D²-Pak, благодаря их низкой стоимости [1].

Выбор типа корпуса зависит от мощности, рассеиваемой прибором, и реального размера полупроводникового кристалла. SOT-23 применяют для корпусирования кристаллов площадью до 1 мм² и с рассеиваемой мощностью до 500 мВт. SOT-89 рассчитан на кристаллы площадью 3 мм² и мощность до 1 Вт. Транзисторные корпуса имеют простую конструкцию: у SOT-23 выводы поочередно отходят от каждой из сторон корпуса, в то время как у SOT-89 они расположены с одной стороны корпуса, а центральный вывод имеет увеличенный размер для лучшего отвода тепла (рис. 1). Корпуса типа SOT герметизируют методом литьевого прессования с применением различного типа прессовочного материала.

Корпуса SOT-23 и SOT-89 относятся к XIV группе, к которым согласно ГОСТ 20.39.405-84 предъявляют жесткие требования по паяемости:

- Конструкция изделий должна обеспечивать трехкратное воздействие групповой пайки и лужение выводов горячим способом без применения теплоотвода и соединение при температуре групповой пайки не выше 265 °С не более 4 с.
- Выводы и контактные площадки изделий должны иметь гарантированную паяемость с использованием спирто-канифольных неактивированных и слабоактивированных флюсов (не более 25% канифоли), без дополнительной подготовки, в течение 12 месяцев с момента изготовления.
- Изделия должны выдерживать трехкратный нагрев по режиму: температура не выше 150 °С, длительность однократного воздействия — не более 10 мин.
- Конструкция изделий должна обеспечивать применение групповых методов пайки. Оплавление припойной пасты происходит в режиме: нагрев до температуры 190 °С не более 30 с; последующий нагрев до температуры не выше 230 °С не более 15 с; нагрев групповым паяльником при температуре пайки не выше 265 °С не более 4 с.

Однако такие недостатки пластмассовых корпусов, как невысокая герметичность и малая рассеиваемая мощность, исключают возможность их использования в электронных модулях авиационного и космического назначения. Перспективны в этом случае изделия в герметичных металлокерамических корпусах типа SMD-0,5, SMD-1, SMD-2, которые позволяют осуществлять микроминиатюризацию модулей, снижение веса при обеспечении высокой рассеиваемой мощности при коммутации токов до 50 А и сохранении герметичности после длительных термоциклических нагрузок. Мощность рассеивания корпуса типа SMD составляет 150 Вт и более. Особенностью конструкции корпуса SMD являются тщательно подобранные материалы, совместимые по коэффициенту термического линейного расширения (КТЛР). Герметичный корпус состоит из трех контактных площадок, впаянных в керамическую плату, являющуюся основанием корпуса, а также металлического ободка и крышки (рис. 2). Герметизируют корпуса SMD шовной роликовой сваркой.

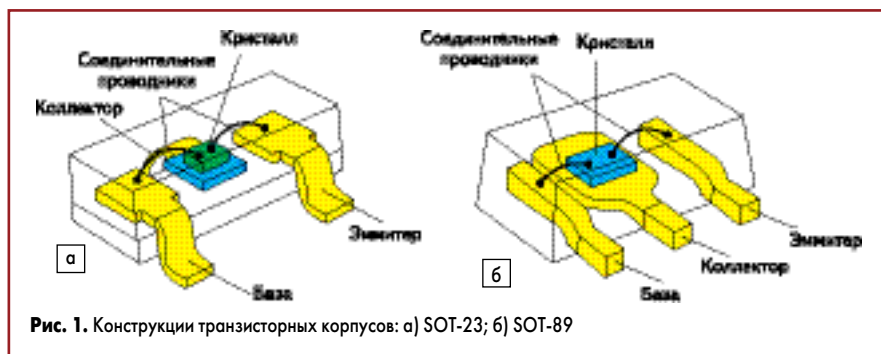


Рис. 1. Конструкции транзисторных корпусов: а) SOT-23; б) SOT-89

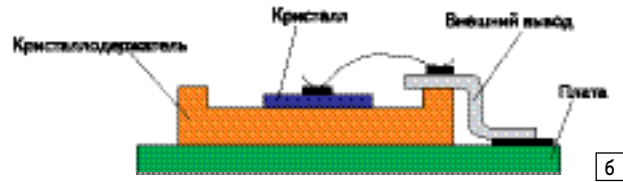
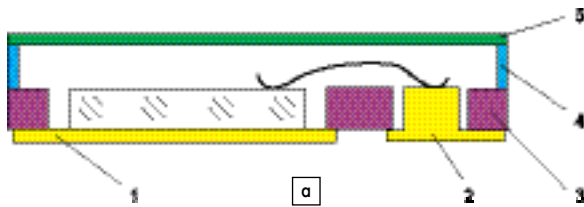


Рис. 2. Металлокерамические корпуса:

а) безвыводный: 1 — кристаллодержатель; 2 — внешний вывод; 3 — керамическая плата; 4 — ободок; 5 — крышка с внешними выводами; б) с выводами

Максимальное отклонение КТЛР элементов корпуса SMD-2 относительно кристалла составляет $2,2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для SMD-220 это отклонение примерно на порядок выше и составляет $21,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. В экстремальных условиях эксплуатации при термоциклическом воздействии из-за различия КТЛР элементов корпуса и кристалла в активной структуре прибора могут возникать значительные внутренние напряжения. Поэтому для снижения внутренних напряжений, обусловленных несовместимостью по КТЛР, монтаж кристаллов в корпус SMD-220 необходимо осуществлять только на припой, а для SMD-2 допускается монтаж методом эвтектической пайки Au-Si. Следует также отметить, что эвтектическая пайка кристаллов на Au-Si или Au-Si-Ge является основным решением при достижении энергоциклоустойкости не менее 10000 циклов.

Для обеспечения максимальной мощности в качестве материала выводной рамки используют железоникелевый сплав 42Н и медный сплав БрХСр, при толщине кристаллодержателя 0,1 мм. На поверхность выводной рамки наносят полосу серебра шириной 9 мм и толщиной 5 мкм. Так как сплав БрХСр обладает высоким уровнем ТКЛР ($18 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, что в 6 раза выше, чем у Si), то в процессе выполнения напайки в кремниевом кристалле возникают механические напряжения и деформации. Для снижения внутренних напряжений необходимо правильно выбрать припой и оптимизировать технологические режимы монтажа для снижения градиента температур, действующих на кристалл. На непаянную поверхность кристаллов наносят систему металлизации: Ti-Au, V-Au толщиной 1–1,75 мкм для монтажа на эвтектику и Ti-NiV-Ag-Sn-Pb-Sn толщиной 5–12 мкм — для монтажа на припой.

Особенности монтажа внешних выводов SMD-корпусов

Наиболее частый дефект, возникающий при пайке поверхностно-монтируемых компонентов на печатные платы (рис. 3), это отсутствие



Рис. 3. Внешний вид паяного соединения транзистора в корпусе SMD-220 на плате

надежного электрического контакта, что может быть вызвано рядом причин. Плохой электрический контакт может быть обусловлен смещением выводов при установке компонентов. Эту проблему решают повышением точности позиционирования компонентов на плате при их установке [2].

Ухудшение электрического контакта может быть также результатом растрескивания, инициируемого механическими напряжениями при несоответствии коэффициентов теплового расширения, что устраняется уменьшением градиента температуры между платой и компонентами. Чрезмерное образование интерметаллических соединений на границах раздела паяных соединений может также служить причиной плохого электрического контакта, например, при пайке выводов компонентов на плате с состаренным покрытием [3].

Частным случаем отсутствия электрического контакта является отслаивание галтели припоя и контактной площадки от основания печатной платы. На рис. 4 схематически показано паяное соединение вывода 1 электронного компонента до и после отслаивания галтели 2. Это часто происходит при пайке деформиро-

ванных выводов. В процессе кристаллизации припоя это механическое напряжение, создаваемое деформированными выводами, ведет себя как пружина при растяжении. Нагрев платы при пайке значительно снижает прочность сцепления контактной площадки 3 с основанием платы 4, и это приводит к отслаиванию галтели припоя от платы.

Отсутствие электрического контакта также часто ассоциируется с другими дефектами пайки, такими как эффект «надгробного камня», капиллярный отток припоя или эффект «подушки». Эффект «подушки» возникает, когда припой выдавливается из зоны соединения без образования надежного электрического контакта с выводом (рис. 5). Он вызван отсутствием смачивания вывода припоем.

Уменьшение смачивающей способности представляет проблему для качества соединений и подвергает риску их надежность, при этом снижаются размеры галтелей припоя. Причины снижения смачивающей способности поверхности таковы:

- плохая и неравномерная паяемость;
- ухудшение активности флюса;
- термодеструкция компонентов;
- неправильно подобранные термический профиль и среда пайки;
- выделение в зону пайки газов и паров воды.

Неудовлетворительная смачиваемость металлизации может быть объяснена наличием загрязнений или оксидной пленки либо свойствами металлизации контактных площадок или выводов. Наличие фосфора на поверхности никеля под золотом, окисление никеля под тонким слоем иммерсионного золота, окисление медных контактных площадок, оголенные в результате обрезки кончики выводов, слишком толстый слой органического защитного покрытия — все это может способствовать неудовлетворительному смачиванию. Загрязнения припоя также могут привести к неудовлетворительному смачиванию. При окислении больше критического значения флюс не справляется с функцией раскислите-

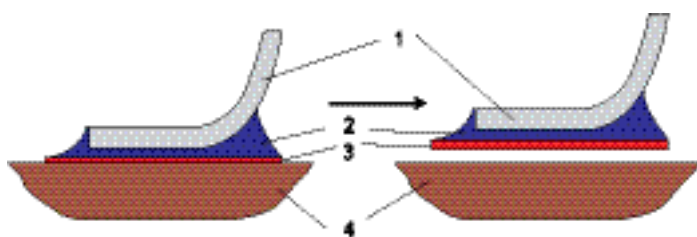


Рис. 4. Отслаивание галтели припоя с выводом от основания платы

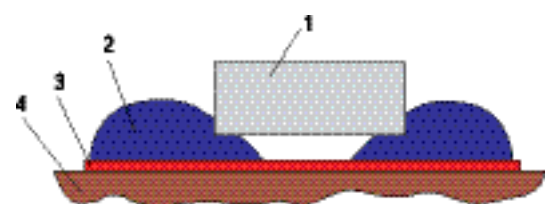


Рис. 5. Эффект «подушки» при монтаже выводов: 1 — вывод, 2 — припой, 3 — контактная площадка, 4 — плата

ля, он истощается, и все это приводит к худшему смачиванию.

Время, температура и среда пайки значительно влияют на смачивание. Недостаточный прогрев паек либо из-за слишком короткого времени, либо из-за слишком низкой температуры приведет к неполному химическому взаимодействию флюса с поверхностью, а также к неполному металлургическому смачиванию поверхности. Однако чрезмерный перегрев при оплавлении припоя послужит причиной не только сильного окисления поверхностей контактных площадок и выводов, но и потери активности флюса. Использование нейтральной среды азота при пайке приводит к существенному улучшению смачивания.

Как правило, припой легко смачивает контактные площадки после горячего облуживания, так как пайка по этому покрытию сводится к слиянию расплавленного припоя из паяльной пасты с припоем из покрытия. Другие финишные покрытия плат, такие как иммерсионное золото по никелю или химический никель под иммерсионным золотом, не обеспечивают полного смачивания, хотя образование галтели припоя может произойти. Меньшее растекание припоя по этим покрытиям объясняется необходимостью большей энергии и большего времени для химического взаимодействия компонентов пайки и образования металлургических связей припоя с этими покрытиями.

Дополнительные трудности при смачивании покрытий возникают при переходе от оловянно-свинцовых припоев к бессвинцовым типа Sn-Ag-Cu, которые требуют для смачивания более высоких температур и отличаются интенсивным образованием интерметаллических соединений в процессе смачивания [4].

Уменьшение способности смачивания может также произойти в результате газовой выделенности из материалов, окружающих пайку (корпусов компонентов, печатных плат, защитной маски и др.). Распад органических соединений или выделение паров воды под действием температуры пайки образуют газовую среду, пассивирующую поверхность. Водяной пар может также образовываться при использовании водорастворимых флюсов. При температурах пайки водяной пар, являясь сильным окислителем, приводит к окислению поверхностей расплавленного припоя и межфазных границ раздела, на которых неизбежно образуются интерметаллические соединения, которые не смачиваются припоем. Уменьшение способности смачивания зависит от количества выделившегося газа, его состава и расположения места выделения газа. Чем больше его количество и чем больше водяного пара, тем интенсивнее идут процессы дезактивации поверхностей и уменьшение способности смачивания.

Оценка паяемости внешних выводов корпусов

Качество паяных соединений во многом зависит от свойств покрытий деталей, электронных компонентов и их паяемости. Паяемость — это способность материала сма-

чиваться расплавленным припоем и образовывать с ним качественное паяное соединение. Паяемость определяется физико-химической природой материалов и припоя, способом и режимами пайки, флюсующими средами, условиями подготовки паяемых поверхностей и т. д. [5]. Для образования паяного соединения необходимо и достаточно смачивания поверхности металла расплавом припоя, что определяет возможность дальнейшего образования между ними химических связей. Пайка должна обеспечивать образование герметичных соединений и требуемую прочность соединений при различных температурах работы. Для выполнения указанных требований расплавленный припой должен:

- хорошо смачивать соединяемые поверхности и проникать во все зазоры соединения, что позволяет определить его смачивающую способность;
- растекаться по поверхности металлов, что позволяет получить информацию о характеристиках припоев в зависимости от химической и физической природы соединяемых поверхностей, установить эффективность как систем припоев и флюсов, так и времени температурных циклов во время операций пайки.

Паяемость выводов компонентов трудно оценить визуально, к тому же опыт показывает, что покрытия теряют паяемость при хранении. Постепенная диффузия меди в оловянное покрытие или припой образует интерметаллические соединения, которые, увеличиваясь на паяемых поверхностях, вызывают отсутствие смачивания. Поэтому необходимо проверять паяемость таких поверхностей после хранения с целью обеспечения высокой надежности и выхода годных изделий.

Метод погружения наиболее часто применяют для испытаний на паяемость, поскольку выводы компонента просто погружают сначала во флюс, а затем в расплавленный припой и по степени покрытия их припоем оценивают паяемость. Выводы выдерживают в ванне 2 с, затем удаляют из припоя, охлаждают и очищают изопропиловым спиртом. Значительное распространение припоя по длине вывода (на 95%) свидетельствует о хорошей паяемости, а образование шарика припоя с большими контактными углами — о плохой паяемости. Оставшиеся 5% несмоченной поверхности могут приходиться на поры и пустоты, при условии, если они концентрируются не в одном месте. Оценка результатов испытаний иногда затруднительна, поскольку смачивание поверхности может быть неравномерным.

Метод баланса смачивания состоит в прямом измерении сил смачивания и работы адгезии. Ванна с припоем движется вверх с помощью привода и эксцентрика, при этом в нее погружается исследуемый образец, закрепленный на датчике. Датчик тензометрического типа преобразует усилие в электрический сигнал, который через тензометрический усилитель подается на самописец. Пока образец не нагреет, смачивание отсутствует, мениск припоя вогнут вниз, и на образец действует выталкивающая сила припоя F [6]:

$$F_a = Shg, \quad (1)$$

где S — площадь образца, h — глубина погружения.

При полном смачивании значение силы смачивания равно F_1 , при отрыве образца сила смачивания достигает F_2 . Скорость погружения образцов выбирается в пределах 0,2–0,4 мм/с, время погружения 4–5 с, глубина — 0,8–2,0 мм. Мерой паяемости служат сила F_1 и время t_1 , за которое она достигает этого значения. Косинус краевого угла смачивания находят по формуле:

$$\cos\Theta = (F_1 + F_a)/F_2. \quad (2)$$

Этот метод введен в европейские и международные стандарты (MIL, DIN, JIN, IPC) и применяется для оценки паяемости широкого круга покрытий, печатных плат, чип-компонентов, эффективности активированных флюсов и бессвинцовых припоев. Менискограф MeniscoST60 Wetting Balance обеспечивает глубину погружения образцов в расплав припоя от 0,1 до 1,0 мм с шагом 0,1 мм со скоростью от 1 до 50 мм/с. Время выдержки и наблюдения составляет от 1 до 30 с. Хорошей смачиваемости соответствуют значения сил поверхностного натяжения припоя от 350 до 450 мН.

Исследовано влияние материала основы и финишных процессов формирования функциональных гальванопокрытий на паяемость внешних выводов MOSFET-транзисторов в корпусе SOT-23. Сборка транзисторов осуществлялась на ленточном носителе, плакированном локальной полосой серебра толщиной 5 мкм. В качестве основы ленты использован сплав 42Н. После герметизации трансферным прессованием пресс-материала MG40F проводилась очистка поверхности внешних выводов от облоя путем предварительной выдержки в диметилформамиде при 125 °С и с последующей обработкой направленной струей сжатого воздуха, содержащего сухой абразив размером 0,4–0,9 мм, а затем водным раствором абразива (гидроабразивная зачистка стеклянными шариками диаметром 40–80 мкм). После отмывки и проведения финишных операций электрохимического обезжиривания, травления, декапирования и гальванического осаждения покрытия олово-висмут (Sn-Bi) выполнялась формовка внешних выводов и вырубка приборов из рамки.

В условиях массового производства транзисторов установлено, что обычный технологический маршрут не обеспечивает воспроизводимость качества функционального покрытия олово-висмут, содержащего 0,5–1% висмута. Качество покрытия Sn-Bi оценивалось как по внешнему виду, так и по результатам испытаний на способность внешних выводов к пайке при 235 °С и стойкость к пайке при 260 °С. В результате исследования установлено, что наиболее жесткие испытания на способность внешних выводов к пайке проходят при 235 °С, перед проведением которых приборы проходят стадию ускоренного старения [7].

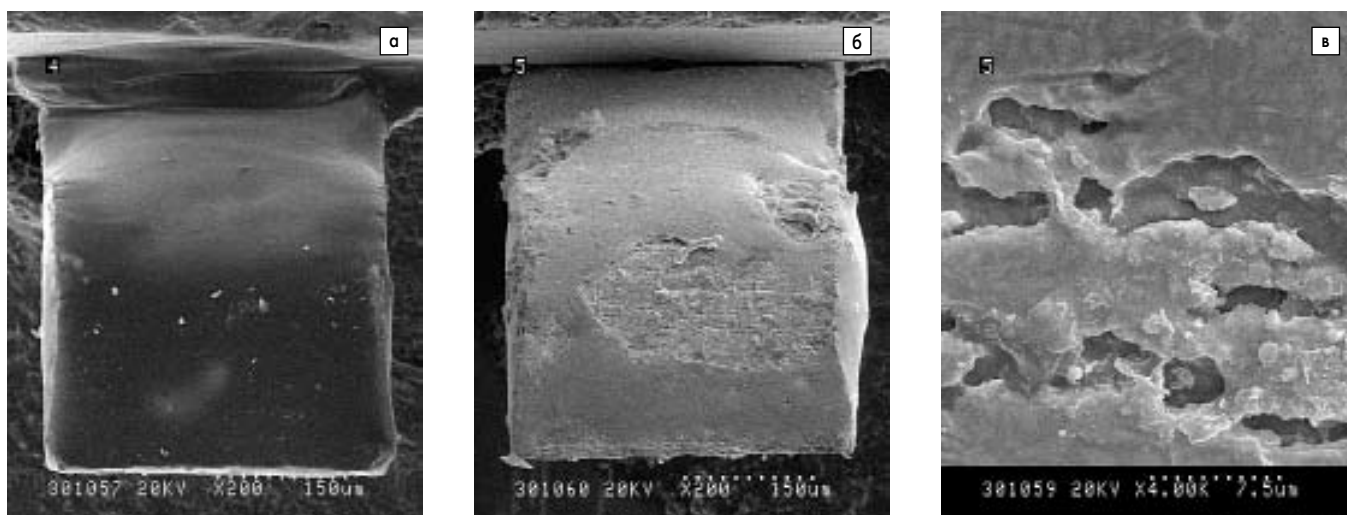


Рис. 6. Внешний вид вывода после облуживания припоем и формовки: а) до нанесения Sn-Bi; б, в) после нанесения Sn-Bi

Результаты испытаний показали, что во многих случаях покрытие олово-висмут не соответствует своему функциональному назначению, то есть не обеспечивает паяемость внешних выводов. Установлены основные причины брака по паяемости: 10% по причине неполного удаления остатков тонкой пленки облоя и 90% по причине растрескивания как основы, так и покрытия в процессе формовки выводов. Исследования на растровом электронном микроскопе Stereoscan-360 и микрозондовый рентгеновский анализ на установке AN10000 фирмы Link (Англия) выявили многочисленные сетки трещин на формованной части вывода, а также присутствие элементов основы (Fe, Ni) и их окислов (рис. 6).

Исследовано влияние механической твердости основы выводной рамки и вариантов технологического маршрута после герметизации приборов на качество функционального покрытия олово-висмут. Дополнительно были изготовлены контрольные партии приборов с использованием рамок из материала 42Н и БрХ (хром 0,5%, остальное — Cu), характеризующихся механической твердостью по Виккерсу в пределах 120–210 НV. Зачистка облоя проводилась в водном растворе абразива, а формовка выводов осуществлялась до и после гальванического осаждения покрытия олово-висмут.

Испытания на паяемость проводили по методу 402-1 ГОСТ 20.57.406-81 погружением в расплав и ускоренным старением изделий следующими методами воздействия: водяного пара в течение 4 ч; повышенной влажности в течение 10 суток при температуре (40 ± 2) °С и относительной влажности (93 ± 3)%; повышенной температуры 155 °С в течение 16 ч. После ускоренного старения изделия выдерживали в нормальных климатических условиях не менее 2 ч, а затем испытывали выводы погружением в паяльную ванну с расплавом припоя ПОС 61 при 235 °С и нанесением спиртоканифольного флюса.

Установлено, что с увеличением твердости основного материала выводной рамки ухудшается паяемость покрытия выводов, что ведет к увеличению числа бракованных изделий

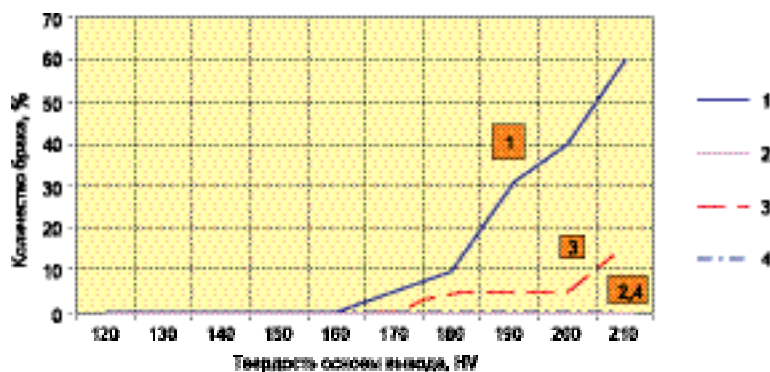


Рис. 7. Зависимость количества брака по паяемости выводов от твердости их основы: 1 — 42 Н; 2 — БрХ; 3, 4 — 42 Н и БрХ (нанесение покрытия после формовки выводов)

(рис. 7). Это наиболее характерно для выводов из материала 42Н и в значительно меньшей степени — для медного сплава. В результате проведенного анализа установлено следующее:

1. На бракованных приборах несмачивание припоем произошло на нижней поверхности вывода в области его изгиба при формовке. На внешней (планарной) поверхности вывода отмечается смачивание припоем на всех приборах.
2. Выявлено растрескивание основы вывода при его формовке с последующим растрескиванием покрытия олово-висмут на нижней поверхности вывода.

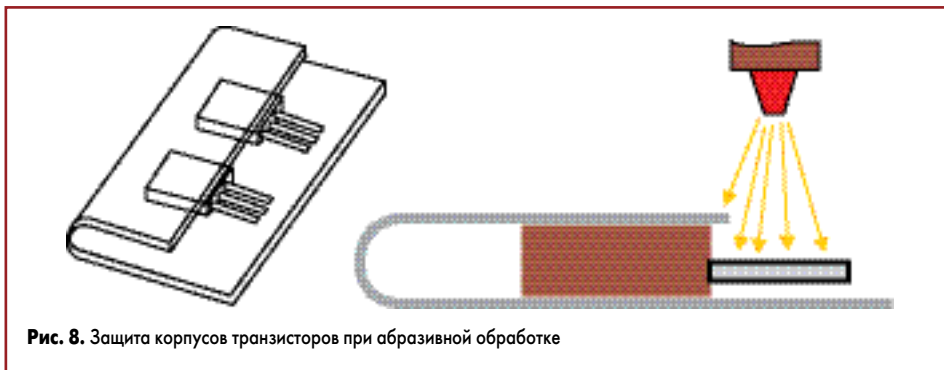
Предварительная термообработка перед испытаниями таких приборов приводит к образованию оксидов, что и способствует ухудшению паяемости внешних выводов. Использование основы вывода из материала 42Н с твердостью более 160 НV, а для материала БрХ — более 180 НV приводит к растрескиванию основы и покрытия олово-висмут в процессе формовки вывода и ухудшению паяемости. Усовершенствование технологического маршрута в части проведения формовки выводов перед процессом гальванического осаждения покрытия олово-висмут позволило обеспечить паяемость выводов. Ускоренное старение покрытия олово-висмут по методу 3 является наиболее жестким, так как термовыдержка

приводит не только к образованию оксидов по границе трещин, но и выявляет нарушение стехиометрического состава покрытия.

Таким образом, для повышения эксплуатационной надежности транзисторов в пластмассовых корпусах и обеспечения паяемости выводов с покрытием олово-висмут необходимо контролировать механическую твердость основы выводов, а их формовку проводить до осаждения покрытия.

Подготовка выводов транзисторов к пайке

После герметизации полупроводниковых приборов пресс-материалами на основе фенольных, эпоксидных либо кремнийорганических смол на выводах приборов остается тонкий слой пластмассы, называемый облоем. Удаление облоя с выводов полупроводниковых приборов способствует улучшению смачиваемости их припоем при лужении и повышению надежности паяного соединения. Очистку выводов от облоя осуществляют путем химической обработки приборов в ванне с N-метил-2-пирролидином с добавкой поверхностно-активного вещества, с последующей промывкой в воде и сушкой. Недостатком является использование агрессивных химических реактивов, а также необходимость проведения до-


Рис. 8. Защита корпусов транзисторов при абразивной обработке

полнительных операций промывки и сушки. Данный способ при массовом производстве не позволяет оперативно контролировать процесс растворения облоя и обладает относительно невысокой производительностью, что определяется неравномерным по толщине облоем на выводах изделий разных партий. В процессе химической обработки происходит также растворение поверхностного слоя пластмассового корпуса и насыщение его агрессивной средой, способной диффузионно проникать в объем корпуса и снижать надежность полупроводниковых приборов из-за развития коррозионных процессов.

В ряде случаев облой приходится удалять обработкой на плоскошлифовальном станке. Такая технология — трудоемкая, требует расхода вспомогательных материалов и не обеспечивает высокого качества очистки выводов. Для автоматического удаления плотно сцепленного облоя с поверхности рамок используют их электролитическую и водно-реактивную обработку на машине AX-300-2 (RIX Corporation, Япония).

Более эффективным способом удаления облоя является обдув корпуса полупроводникового прибора струей сжатого воздуха, содержащего абразивный порошок с размером зерен 0,5–1 мм из синтетических материалов, помола твердых зерен и мякоти плодов, стеклянные шарики, а также смеси этих материалов [7]. Полупроводниковые приборы подвергают обдуву струями в герметической камере, содержащей распылительные сопла. В течение рабочего цикла вся поверхность корпуса обрабатываемого изделия оказывается в зоне действия сопел, одни из которых распыляют порошок снизу, а другие — сверху, с независимым регулированием давления струи от 0,4 до 0,9 МПа.

Недостатком абразивного способа зачистки облоя является то, что из-за ударного действия твердых частиц абразива в объеме корпуса возникают напряжения упругой деформации, они тем больше, чем больше отверждена пластмасса. Эти напряжения вызывают появление микротрещин в полупроводниковом кристалле как в менее упругом элементе системы. Это приводит к снижению процента выхода годных за счет деградации электрических параметров, формированию потенциально ненадежных полупроводниковых приборов в процессе зачистки облоя, а также к снижению их эксплуатационной надежности при циклических изменениях температуры окружающей среды.

Для исключения появления микротрещин в кристалле полупроводниковых приборов во время зачистки облоя, повышения процента выхода годных приборов и их эксплуатационной надежности при циклических изменениях температуры окружающей среды предложено проводить зачистку облоя перед окончательным отверждением пластмассы, а поверхность пластмассового корпуса в области расположения полупроводникового кристалла при зачистке защищать металлической полосой (рис. 8).

Металлическая полоса позволяет исключить ударное действие абразивного порошка на пластмассовый корпус в области расположения активной структуры, устранить формирование микротрещин в объеме полупроводникового кристалла и тем самым повысить не только выход годных изделий, но и их надежность. Зачистка облоя производится до окончательного отверждения пластмассы, так как в этом случае удалять облой можно при малых динамических нагрузках и малом времени воздействия абразивного порошка. После удаления облоя изделия подвергают термообработке, что приводит к окончательному отверждению пластмассы и позволяет довести ее до максимальной плотности, благодаря чему уменьшается влагопроницаемость и влагопоглощение, уменьшается подвижность ионов примеси, а также возрастает ее твердость и механическая прочность.

Герметизация партии транзисторов размером 500 шт. в пластмассовом корпусе типа D-Pak выполнялась пресс-материалом MG-40FR методом трансферного литья с применением многоместных пресс-форм при температуре 170...175 °С в течение 2 минут. Зачистка облоя осуществлялась путем обдува корпусов приборов струей сжатого воздуха под давлением 0,5–0,6 МПа, содержащего абразивный порошок с размером зерна 0,5–0,8 мм, через распылительные сопла, располагаемые снизу и сверху относительно пластмассового корпуса. Время зачистки облоя составляло 1–5 с, которое определялось толщиной облоя, зависящего не толь-

ко от режима прессования, но и от физических свойств пресс-материала [8].

В процессе зачистки облоя на отдельных партиях приборов поверхность корпуса в области расположения полупроводникового кристалла защищалась металлической полосой шириной 5 мм, которая являлась элементом конструкции технологической кассеты. После зачистки облоя полупроводниковые приборы подвергались термообработке, которая позволила осуществить окончательное отверждение пластмассы и стабилизацию электрических параметров приборов. Лужение внешних выводов выполнялось методом гальванического осаждения сплава олово-висмут (1%) толщиной 6–12 мкм.

Отделение полупроводниковых приборов от выводной рамки осуществлялось путем обрезки технологических перемычек на прессе с усилием 30 000 Н. После контроля электрических параметров на соответствие требованиям установленных норм выявлялись транзисторы, забракованные по «обрывам», «коротким замыканиям» и параметрам $H_{21Э}$, $I_{обр.}$, $U_{кэнас.}$ эти приборы подвергались разгерметизации и тщательному исследованию под микроскопом.

Приборы подвергались также воздействию циклических термических нагрузок в диапазоне температур –60...+150 °С в течение 300 циклов. Качество гальванического покрытия олово-висмут оценивалось как по внешнему виду, так и по результатам испытаний на способность выводов приборов к пайке при 235 °С и стойкость к пайке при 260 °С. Полученные результаты представлены в таблице.

Увеличение времени воздействия абразивного порошка на корпус в процессе зачистки облоя до 10 с приводит к снижению процента выхода годных на 2,8–3,3% и уменьшению устойчивости к термоциклическим нагрузкам. Причиной этого является появление микротрещин в полупроводниковом кристалле, которые зарождаются в области эвтектики золото-кремний и могут достигать активной области структуры.

Выводы

Таким образом, наиболее эффективным способом подготовки внешних выводов приборов является зачистка облоя после герметизации обдувом струями сжатого воздуха, содержащим абразивный порошок размером 0,5–0,8 мм, перед окончательным отверждением пластмассы с одновременной защитой поверхности полупроводникового кристалла металлическим экраном. Это снижает до минимума брак вследствие исключения микро-

Таблица. Результаты испытаний приборов

Способ зачистки облоя	Время зачистки, с	Выход годных приборов, %	Количество приборов с трещинами в кристалле, шт.	Количество отказов после термоциклирования, %
Без защиты поверхности пластмассового корпуса	1	93,2	1,1	2,0
	5	86,7	4,3	9,1
	10	70,5	17,2	30,5
Зачистка облоя струей абразивного порошка перед отверждением пластмассы и с защитой корпуса	1	98,0	0	0
	5	97,2	0	0,55
	10	95,7	0	0,95

трещин в полупроводниковом кристалле, увеличивает выход годных изделий до 98% и повышает стойкость приборов к циклическим температурным воздействиям.

Для повышения эксплуатационной надежности силовых транзисторов и обеспечения паяемости выводов с покрытием олово-висмут необходимо контролировать механическую твердость основы выводов, а их формовку проводить до осаждения покрытия.

Литература

1. Кундас С. П., Достанко А. П., Ануфриев Л. П. Технология поверхностного монтажа. Минск: Армита-Маркетинг, Менеджмент, 2000.
2. Ланин В. Л., Волкенштейн С. С. Контроль паяных соединений при поверхностном монтаже многовыводных СБИС // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 4.
3. Ли Н.-Ч. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и flip-chip технологии. М.: ИД «Технологии», 2006.
4. Lopez E. P., Vianco P. T., Rejent J. A. Solderability Testing of Sn-Ag-xCu Pb-Free Solders on Copper and Au-Ni-Plated Kovar Substrates // J. of Electronic Materials, 2005. V. 34. № 3.
5. Ланин В. Л., Достанко А. П., Телеш Е. В. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники. Минск: ИЦ БГУ, 2007.
6. Ланин В. Л. Оценка паяемости электронных компонентов и деталей в электронике // Компоненты и технологии. 2008. № 2.
7. Рубцевич И. И., Ануфриев Л. П., Керенцев А. Ф., Ланин В. Л. Исследование паяемости внешних выводов MOSFET-транзисторов // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы III Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. Новополоцк, 2004.
8. Ануфриев Д. Л., Керенцев А. Ф., Ланин В. Л. Подготовка выводов полупроводниковых приборов к лужению // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. Т. 1. Новополоцк, 2006.