

Повышение надежности микроконтактных соединений радиационно-стойких мощных транзисторов

Предложены и исследованы способы повышения надежности микроконтактных соединений в радиационно-стойких мощных биполярных транзисторах.

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.by

Иван Рубцевич

Анатолий Керенцев

akerentsev@transistor.com.by

Влияние ионизирующего излучения на полупроводниковые приборы

Радиационно-стойкие полупроводниковые приборы необходимы для работы в составе: электронной аппаратуры для управления научно-исследовательскими и коммерческими спутниками связи; систем управления ядерными реакторами АЭС; низкоорбитальных коммуникационных систем; робототехнических систем для космических миссий и др. Устойчивость полупроводниковых изделий к воздействию проникающей радиации достигается не только оптимальной конструкцией активных структур, но также соответствующим выбором материалов корпуса и технологией сборочных процессов.

Действие ядерных излучений на полупроводниковые приборы проявляется в кратковременных нарушениях работоспособности и в необратимой деградации электрических параметров. Одна из причин — ионизационные эффекты, способные вызвать фототоки значительной величины и привести к увеличению плотности тока в металлизации в 100 раз и, как следствие, к ее разрушению. Повреждение металлических межсоединений и покрытий корпусов может произойти вследствие поглощения низкоэнергетического рентгеновского и гамма-излучения ($E < 0,1$ МэВ). При этом наблюдаются различные виды повреждений — от оплавления и разрушения контактов до полного испарения металла. Степень разрушений возрастает с дозой облучения, причем наблюдаются существенные различия в воздействии радиации на золотые и алюминиевые межсоединения: если первые полностью разрушаются, то вторые не претерпевают существенных изменений. Это объясняется зависимостью поглощенной дозы при одной и той же экспозиции от атомного номера материала, интенсивности и энергии излучения [1].

Для металлических пленок дозу, поглощенную на единицу длины, можно оценить следующим выражением [2]:

$$dD/dx = \mu I_0 \exp(-\mu \rho x), \quad (1)$$

где x — толщина пленки; I_0 — интенсивность рентгеновского излучения; ρ — плотность материала; μ —

коэффициент поглощения излучения в материале (μ золота — 180, алюминия — 735).

Приведенные данные показывают, что для межсоединений и покрытий корпусов в радиационно-стойких приборах рекомендуется использовать материалы с низким атомным номером и высокой точкой плавления [3]. Применение золота для создания межсоединений, что было общепринятым в технологии создания транзисторов и интегральных схем в течение многих лет, в данном случае является нежелательным.

Фирмой North American Rockwell (США) созданы экспериментальные образцы полупроводниковых приборов, в которых межсоединения изготовлены из материалов с атомным номером не выше, чем у кремния. Наиболее подходящим с этой точки зрения является алюминий, несмотря на связанные с его использованием технологические проблемы (загрязнения, окисления и присоединения внешних выводов). Наилучшим решением является применение балочных выводов и присоединение ультразвуковой сваркой в системе А1-А1.

Алюмооксидная керамика (Al_2O_3) в качестве материала корпусов полупроводниковых приборов наиболее стойкая по отношению к различным видам радиации: нейтронной, протонной, рентгеновской и γ -излучения [4]. В условиях облучения тепловыми нейтронами флюенсом 10^{18} см $^{-2}$ при температурах +150 и +300 °С она практически не изменяет свои вакуумные, прочностные и тепловые свойства, а также электрические характеристики на частоте 10^{10} Гц. Однако на постоянном токе электросопротивление после облучения флюенсом 10^{19} см $^{-2}$ в условиях высоких и низких температур снижается с 7×10^{17} Ом·см до 2×10^{15} Ом·см. При повышении температуры до +700 °С стойкость к облучению выше, так как происходит отжиг большинства радиационных дефектов. Электрическая прочность алюмооксидной керамики при облучении нейтронами вплоть до 10^{20} см $^{-2}$ не изменяется. В то же время необходимо отметить резкое снижение электрической прочности магнезиально-силикатной керамики — форстерита, связываемое с неустойчивостью кристаллов форстерита при облучении. В керамике из окиси бериллия после облучения нейтронами флюенсом 10^{20} см $^{-2}$ прочность

на сжатие снижается на 80%, и при этом выделяются газы: кислород за счет разложения окисла, гелий и тритий за счет ядерных реакций с бериллием [5]. Нейтронное излучение оказывает влияние также и на керамические материалы, содержащие даже незначительные количества оксида бора. После нейтронного облучения большими интегральными потоками у многих керамических материалов наблюдается резкое снижение теплопроводности. Наблюдаемые изменения связаны чаще всего с образованием стабильных изотопов и изменением химического состава керамики, полиморфными превращениями кристаллических фаз, превращениями из кристаллического состояния в стеклообразное, возникновением областей смещенных ионов и атомов и др.

При облучении гамма- и рентгеновскими лучами столь существенных структурных изменений в керамике не обнаруживается: остаточные эффекты представлены в основном дефектами типа смещенных ионов и электронов. Протонное облучение с энергией 680 МэВ и флюенсом $5 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$ заметного ухудшения свойств алюмооксидной керамики не вызывает [6]. Наблюдаемые изменения сводятся к незначительному увеличению диэлектрической проницаемости и некоторому снижению газовыделения без изменения состава и соотношения выделяющихся газов. Эти эффекты могут быть связаны с некоторым возможным уплотнением структуры материалов за счет воздействия частиц высокой энергии, что, в известной мере, равносильно дополнительной термической обработке.

Выбор технологии сборки приборов

Разработка надежных способов монтажа полупроводниковых кристаллов к корпусам — это актуальная задача, на решение которой направлены усилия специалистов, работающих в области полупроводниковой микроэлектроники. В настоящее время присоединение осуществляется следующими способами: пайка припоями и эвтектическими сплавами, сплавление, приклеивание токопроводящими и нетокопроводящими клеями, с помощью легкоплавких стекол.

При монтаже кристалла контактно-реактивной пайкой на основание корпуса между соединяемыми материалами (алюминий-германий, золото-германий, золото-кремний) в результате контактного плавления при приложении нагрузки и температуры происходит образование эвтектики соответствующей структуры, которая имеет высокую активность, хорошо смачивает твердые поверхности и при кристаллизации обеспечивает качественное соединение.

Величина нагрева при контактно-реактивной пайке +400...+430 °С, усилие сжатия 0,5–1 Н (зависит от площади кристалла). Увеличением удельного давления до 100 Н/мм² и температур пайки до +440...+450 °С можно получить время монтажа менее 1 с для кристаллов размером до 3×3 мм и в пределах 1–3 с — для кристаллов больших размеров. Схема монтажа показана на рис. 1.

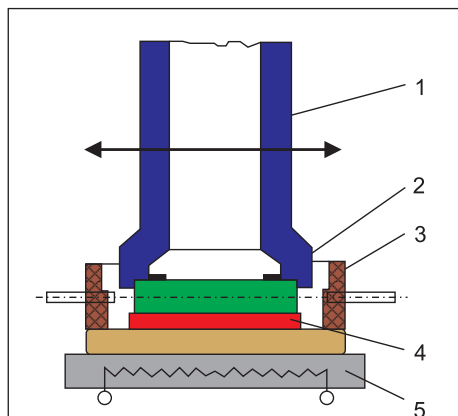


Рис. 1. Схема монтажа кристалла в корпус: 1 — инструмент, 2 — кристалл, 3 — корпус, 4 — эвтектический сплав, 5 — рабочий стол с подогревом

При монтаже кристаллов корпус прибора нагревают до температуры, превышающей температуру эвтектики. Кристалл прижимается инструментом к основанию с определенным давлением и «притирается» колебаниями заданной траектории (по кругу, квадрату, эллипсу и т. д.) (рис. 2).

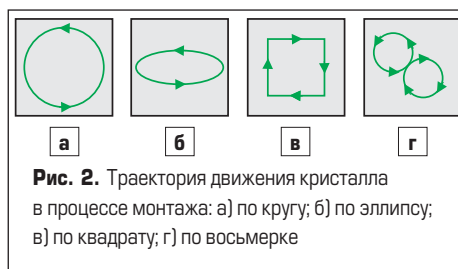


Рис. 2. Траектория движения кристалла в процессе монтажа: а) по кругу; б) по эллипсу; в) по квадрату; г) по восьмерке

Колебания активируют эвтектическую реакцию за счет разрушения оксидов, вовлечения большего количества материала покрытия с монтажной площадки, более равномерного и плотного заполнения микронеровностей и лучшего смачивания их поверхностей. Для кристаллов с линейным размером более 1 мм амплитуда задаваемых колебаний обычно переменная: начальная большая, а конечная маленькая. Это позволяет повысить точность монтажа (рис. 3). После окончания колебаний кристаллы фиксируются в одном положении.

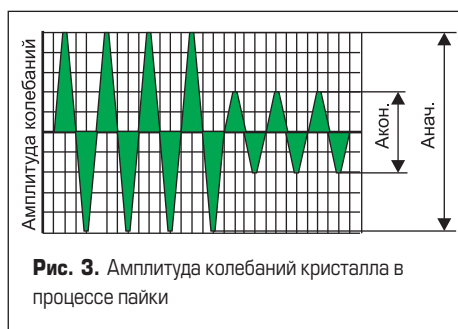


Рис. 3. Амплитуда колебаний кристалла в процессе пайки

Установлена зависимость качества пайки от подготовки монтажной поверхности кристалла и наличия остатков клея после снятия кристалла с адгезионного носителя.

Сравнительные испытания для шлифованных, полированных и химически полированных кристаллов показывают, что более высокое качество монтажа обеспечивается после химической полировки (свыше 90% эвтектики), незначительно уступает механическая полировка (около 87% эвтектики), а после шлифовки образуется примерно 80% эвтектики. Такая зависимость характеризует эвтектическую пайку кристаллов площадью более 4 мм². При уменьшении площади кристаллов до 1–1,5 мм² качество присоединительной поверхности кристалла заметного влияния не оказывает.

При монтаже указанных групп кристаллов в идентичных условиях образование эвтектики у химически полированных идет значительно быстрее, чем у шлифованных. Например, для кристаллов с площадью 8 мм² разница по времени составляет 1,5–2,0 с.

В отличие от контактно-реактивной пайки, эвтектический сплав (обычно в виде таблеток) вводится в качестве припоя между кристаллом и монтажной площадкой корпуса. В данном случае следует учитывать возможность образования пор в плоскости раздела между кристаллом и монтажной площадкой, из-за которых надежность приборов при их длительной эксплуатации может снизиться. Припойный сплав должен иметь высокую прочность, тепло- и электропроводность, а также обладать стабильными химическими и физическими свойствами во времени и при различных температурах.

Пайка должна быть высокотехнологичной и легкопроизводимой, не приводить к общему и локальному перегреву кристалла, а также температурным напряжениям на его поверхности. При хорошей воспроизводимости процесса возможно получение гарантированного качества и высокого процента выхода годных приборов. Для этого эвтектический сплав должен химически реагировать и хорошо смачивать поверхность как кристалла, так и монтажной площадки. Эвтектическая структура устанавливает связь между поверхностями и придает соединению необходимые свойства. Однако равномерное смачивание припойным сплавом соединяемых поверхностей еще не гарантирует создания эвтектической структуры во всей зоне раздела.

Качественное присоединение кремниевого кристалла к корпусу зависит от создания когерентной (согласованно протекающей во времени) структуры в зоне раздела кристалл–корпус. Если реакция не проходит, структура не образуется, и появляются раковины. Однако добавление даже небольшого количества кремния к эвтектической структуре значительно повышает точку плавления любого обогащенного кремнием сплава. Фактически увеличение температуры настолько велико, что схема на кремниевом кристалле во время пайки может быть повреждена. Кроме того, поверхности кристалла и подложки не должны содержать примесей или оксидов, органических остатков и следов загрязнения растворами после обработки. Процесс присоединения кристалла предпо-

чительно осуществлять в инертной среде, например в азоте. При несоблюдении этих условий будут образовываться раковины, следствие которых — плохая адгезия.

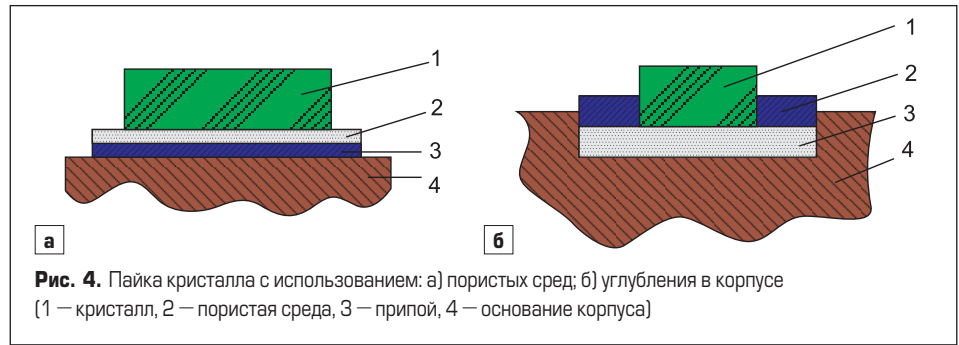
Таким образом, анализ процессов эвтектической пайки кристаллов к подложкам выявил ряд конструктивных и технологических факторов, которые могут ухудшать качество сборки полупроводниковых приборов. С целью замены золота как тяжелого металла, не рекомендуемого для использования в радиационно-стойких приборах, при пайке кристаллов проводился поиск других материалов. В частности, хорошо зарекомендовали себя покрытия корпусов из никеля и его сплавов, а в качестве припоев — сплавы на основе эвтектики олово-свинец. Коллекторная сторона кристаллов должна иметь металлизацию, равномерно и достаточно смачиваемую мягким припоем. Для этой цели используются пленки серебра, никеля и гальванически осажденный слой никель-олово (олово-висмут).

Однако получение сплава Sn-Bi с содержанием висмута 1–1,5% сопряжено с определенными трудностями, вызванными нестабильностью электролита, так как соли Bi подвергаются гидролизу. Результатом этого является разложение электролита, что требует частой его смены. Кроме того, соли Bi являются дефицитными, а металлический висмут токсичен.

Для улучшения смачивания припоем паяемых поверхностей полупроводникового кристалла и корпуса, повышения температурной и коррозионной стойкости паяных контактов рекомендуется наносить на коллекторную поверхность кристалла электролитическое покрытие Ni-Sn (30–50% Ni) из фторидхлоридного электролита с органической добавкой ОС-20. Ее введение позволяет получать качественно другие покрытия из сплава Ni-Sn — не блестящие, а серебристо-белые. Добавка ОС-20 в состав покрытия Ni-Sn играет роль поверхностно-активного вещества, а при температурах пайки выполняет в некоторой степени функцию флюса, способствуя тем самым лучшему смачиванию и растеканию припоя.

Качество пайки во многом зависит от места расположения припоя. Традиционно он помещается непосредственно под кристалл, однако в процессе пайки оксидные пленки и загрязнения на поверхности прокладки при расплавлении остаются в зоне шва, что ухудшает смачиваемость припоем поверхности кристалла и корпуса, нарушает сплошность шва и приводит к ухудшению его теплопроводности и к снижению надежности транзистора. Этого недостатка лишен способ сборки с использованием капиллярного эффекта заполнения зазора припоем. Перед пайкой в непосредственном касании одной из боковых граней кристалла располагается навеска припоя в виде шарика. Детали фиксируются относительно корпуса специальной кассетой. Такой метод — с применением капиллярного эффекта — широко используется в массовом производстве мощных транзисторов.

Возможен также другой способ сборки изделий в восстановительной среде, не требующий



нанесения на коллекторную сторону кристалла никакой металлизации: пайка кремниевого кристалла может быть реализована с использованием никелевых (или медных) пористых сред. Для пайки в этом случае применяется свинец с добавкой нескольких процентов олова (ПОС-2). Однако такое расположение деталей при пайке (рис. 4а) не обеспечивает полного выведения оксидных пленок и других включений, находящихся на припойной прокладке, что снижает сплошность шва. Кроме того, детали не фиксируются между собой, и для сборки необходима специальная кассета.

Указанных недостатков лишен способ сборки, заключающийся в том, что в основании корпуса (рис. 4б) формируют прямоугольное углубление, в котором размещают фильтрующий легирующий элемент (пористый никелевый слой, на который укладывают припойную прокладку в виде рамки). Внешние стороны рамки соответствуют размерам углубления в корпусе, а размеры отверстия соответствуют площади кристалла. Припойные рамки обычно штампуются из фольги припоя ПОС-2 заданной толщины. В отверстие припойной рамки помещают кристалл. Затем приборы, собранные указанным способом, помещают в конвейерную водородную печь [7].

В процессе пайки при температуре $+390 \pm 10^\circ\text{C}$ припойная рамка расплавляется и пропитывает никелевую пористую прокладку, при этом происходит очистка припоя от оксидных пленок и других загрязнений, а также легирование припоя никелем при фильтрации расплава

через пористую прокладку. Очищенный и легированный припой, взаимодействуя с кремнием, формирует качественный паяный шов кристалл-корпус.

Определение объема навески припоя проводится расчетным путем с учетом пористости фильтрующего элемента и его размеров и уточняется экспериментальными исследованиями. Такой способ сборки позволяет обеспечить ориентированную загрузку кристаллов и их фиксацию относительно корпуса до начала пайки. Применение кассеты, которая необходима только для обеспечения давления на кристалл в процессе пайки, упрощает сборку и повышает качество и выход годных приборов.

Наиболее перспективным является присоединение кремниевого кристалла к кристаллодержателю, содержащему слой алюминия. В этом случае на коллекторную сторону пластины наносят материалы, участвующие в пайке: слой алюминия с последующим вжиганием и слой германия или цинка. Толщина наносимых материалов зависит от размеров присоединенных кристаллов. Она может быть рассчитана соответственно эвтектическому составу и уточнена эмпирически. Вполне удовлетворительные результаты получены, например, при толщине слоя германия около 2,5–3,0 мкм, нанесенного методом вакуумного напыления на подслой алюминия толщиной 1 мкм, напыленного на коллекторную сторону кремниевой пластины с размерами кристаллов 0,7×0,7 мм. Контроль теплового сопротивления «переход-корпус» ($R_{\text{тпк}}$) показал, что

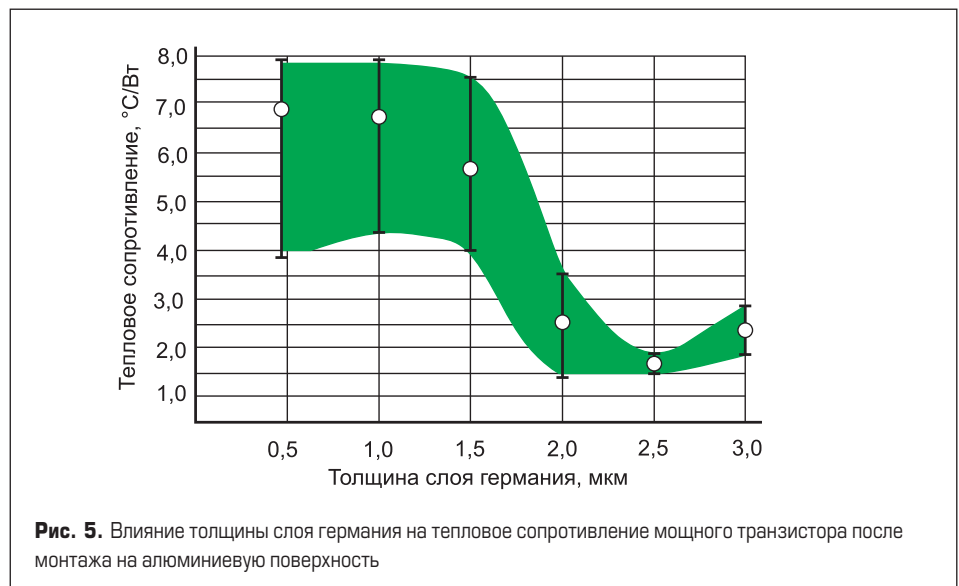


Рис. 5. Влияние толщины слоя германия на тепловое сопротивление мощного транзистора после монтажа на алюминиевую поверхность

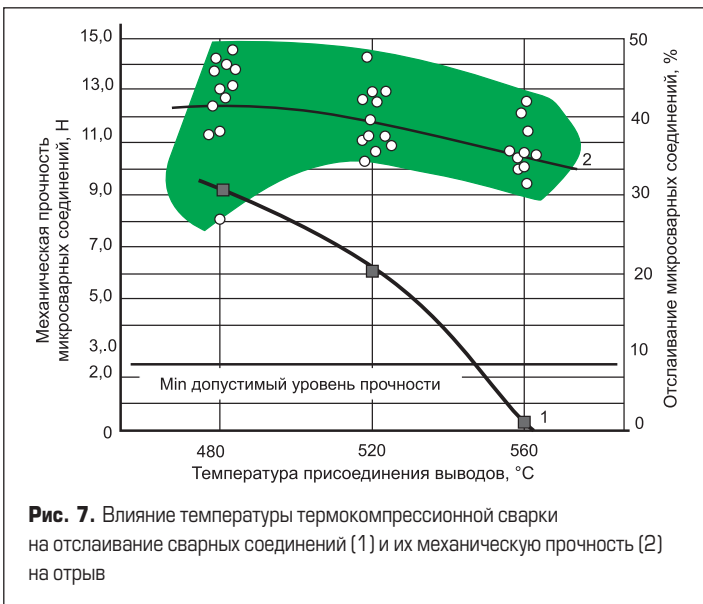


Рис. 6. Влияние инструмента на температуру предметного столика [1] в процессе сварки давлением и перемещения пуансона [2]

Рис. 7. Влияние температуры термокомпрессионной сварки на отслаивание сварных соединений [1] и их механическую прочность [2] на отрыв

оптимальная толщина германия составляет порядка 2,5 мкм (рис. 5).

Выбор технологии внутреннего монтажа приборов

К соединениям в полупроводниковых приборах предъявляются следующие требования:

- прочность, сравнимая с прочностью соединяемых элементов;
- минимальное омическое сопротивление;
- минимально возможные температура, удельное давление и длительность выдержки (чтобы не повреждались элементы схемы);
- отсутствие (после формирования сварного шва) материалов, вызывающих коррозию;
- доступность соединения для контроля его качества простыми и надежными методами.

Методы присоединения электродных выводов разделяют на проволочные и беспроволочные. Для проволочного монтажа в полупроводниковых приборах используется алюминиевая, золотая и медная проволока различного диаметра (0,005–0,15 мм). Чаще всего применяются следующие методы сварки: термокомпрессионная, ультразвуковая, давлением с косвенным импульсным нагревом, ультразвуковая с косвенным импульсным нагревом, односторонняя контактная [8].

При термокомпрессионной сварке один из соединяемых материалов (обычно вывод) должен обладать достаточно высокой пластичностью. Металлы при этом способе монтажа нагреваются до температуры начала рекристаллизации или несколько выше, но на 20 °C ниже самой низкой температуры эвтектики системы. По пригодности к термокомпрессионной сварке все материалы разделяются на три группы:

- металлы с хорошей взаимной диффузией в твердом состоянии (Ag-Au, Au-Cu), которые образуют ряд твердых растворов и обладают наилучшей свариваемостью;
- материалы, образующие низкотемпературные эвтектики (Al-Si, Au-Si) и обладающие удовлетворенной свариваемостью;

- металлы, взаимная диффузия которых приводит к образованию интерметаллических соединений и эвтектик (Au-Al, Au-Sn), но при тщательном соблюдении технологии сборки они обеспечивают необходимое качество соединений.

Для замены золотой проволоки при монтаже приборов термокомпрессионной сваркой используются алюминиевые ленточные выводы.

На эффективность и качество микросварных соединений при термокомпрессионной сварке влияют оксидные пленки, находящиеся на поверхности контактных площадок кристаллов. Основными режимами являются: усилие сжатия соединяемых элементов, температура нагрева соединения, длительность выдержки под давлением. Давление при сварке определяется допустимой деформацией проводника и допустимым механическим воздействием на кристалл. Подвод тепла в зону сварки определяется конструктивными особенностями прибора, подвергаемого сборке, и может происходить путем общего нагрева прибора, нагрева только рабочего инструмента или одновременно рабочего инструмента и прибора. Время сварки зависит от соединяемых материалов и определяется экспериментальным путем, исходя из заданной прочности соединений.

Соединение может выполняться внахлест и встык. При сварке внахлест проволочный вывод накладывают на металлизированную контактную площадку (при этом ось вывода располагается параллельно плоскости контактной площадки). При сварке встык конец проволочного вывода (ось вывода перпендикулярна плоскости контактной площадки) предварительно оплавляют, образуя шарик диаметром, равным удвоенному диаметру привариваемой проволоки. Прочность сварных соединений, выполненных встык, значительно выше прочности соединений внахлест и равна (при оптимальных параметрах режима) прочности привариваемого проводника. Это объясняется отсутствием участков, образующихся при деформации присоединяемой

проволоки в ходе сварки, в которых повышено напряжение надрывов. Тип образующегося микросварного соединения зависит от формы инструмента. Размер его торца должен быть не менее двух диаметров привариваемой проволоки.

Исследовалось качество микросварных соединений алюминиевых ленточных выводов, выполненных термокомпрессионной сваркой в разных технологических режимах: времени от 1 до 8 с, температуре +480...+560 °C. Давление при сварке выбиралось из условия получения деформируемой части вывода в пределах 0,23–0,25 мм, что соответствует степени деформации 57–62%. Установлено, что при опускании инструмента на свариваемые элементы в процессе термокомпрессионной сварки при 480 °C происходит понижение температуры столика на 6–8 °C (рис. 6).

Повышение температуры до 560 °C приводит к большему прогреву инструмента восходящими потоками воздуха от нагретого предметного столика. Поэтому влияние инструмента меньше, и температура столика снижается на 3–4 °C. Контроль качества приварки ленточных выводов проводился после диффузионной термовыдержки при 500 °C. Результаты контроля механической прочности на отрыв под углом 90° представлены на рис. 7.

Как показано на рис. 7, во всем допустимом температурном диапазоне (+480...+560 °C) механическая прочность сварных соединений соответствует действующим требованиям. Однако при температурах менее 560 °C и времени сварки менее 6 с отмечается повышенное отслаивание соединений при проверке прочности на отрыв (рис. 8).

Так как реальные поверхности соединяемых материалов шероховаты, то сближение их происходит не одновременно по всей площади контакта. Поэтому в процессе сварки на одних участках контакта процесс соединения может закончиться, а на других только начинаться. В результате пластической деформации происходит активация контактных по-

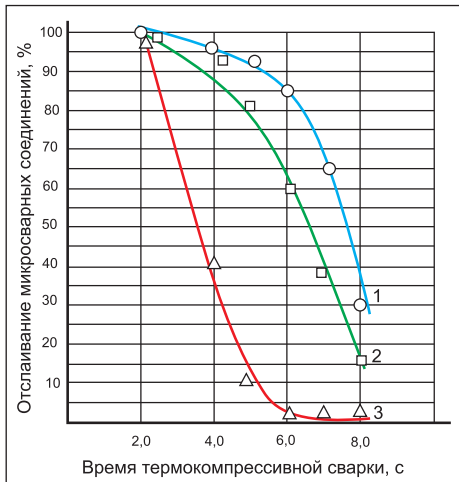


Рис. 8. Влияние температуры термокомпрессии на количество отслоений при проверке прочности на отрыв: 1 — 480 °C; 2 — 520 °C; 3 — 560 °C

верхностей за счет образования дефектов кристаллической решетки в виде дислокаций.

С момента образования активных центров на контактных поверхностях наступает стадия развития взаимодействия соединяемых материалов — как в плоскости контакта, так и в объеме зоны контакта. Это создает условия для возникновения химических связей между контактными материалами, однако они еще недостаточны, что и приводит к отслаиванию соединений. Для увеличения числа активных центров по всей площади взаимодействия и с целью минимизации отслоений необходимо увеличивать не только температуру до 560 °C, но и время сварки до 6–9 с.

При этом необходимо учитывать время выдержки выводов после химической обработки до термокомпрессионной сварки. Этот фактор важен, поскольку при хранении уже протравленных выводов со временем начинает расти пленка Al_2O_3 .

Керамические держатели с напыленным слоем алюминия, а также ленточные алюминиевые выводы в количестве по 60 шт. для удаления толстого оксидного слоя под-

вергались обезжириванию с последующей химической обработкой в течение 100 с в растворе на основе фтористого аммония. Затем указанные детали были разделены на четыре группы по 15 шт. в каждой. Термокомпрессионное присоединение ленточных выводов к керамическому держателю выполнялось при оптимальных режимах и с различным сроком хранения после химической обработки: 1 вариант — 1 сутки; 2 вариант — 10 суток; 3 вариант — 20 суток; 4 вариант — 30 суток.

Механическая прочность микросварных соединений контролировалась на отрыв вывода под углом 90° на каждом варианте после проведения диффузионной термовыдержки при $+500 \pm 20$ °C и $V_k = 30$ мм/мин. На выборке по 2 шт. из каждого варианта проведены исследования состояния поверхностного слоя алюминия, а также лазерный фотоакустический контроль качества монтажа внешних ленточных выводов. Как показал эксперимент, наибольший процент отрыва сварного соединения у выводов без обработки (83,3%), а самый малый — у исходных и с выдержкой 1 сутки. Для выводов с выдержкой 10, 20 и 30 суток характерен пропорциональный рост отказов, обусловленный увеличением времени выдержки (рис. 9).

Это можно объяснить тем, что непротравленные выводы имеют больший слой оксидной пленки, что очень сильно ухудшает качество термокомпрессионных соединений. Внешний вид термокомпрессионного соединения вывода с напыленным слоем алюминия показан на рис. 10.

Чтобы выяснить влияние этой оксидной пленки на качество формирования микросварных соединений, был проведен лазерный фотоакустический контроль качества монтажа внешних ленточных выводов на керамические платы, результаты которого представлены на рис. 11. Анализ лазерной фотоакустической топограммы показывает, что часть площади физического контакта изолирована оксидной пленкой (светлые зоны в области сварных соединений). Таким образом, видно, что площадь физического контакта микро-

сварных соединений уменьшается с увеличением длительности хранения до 30 суток.

Так, для образца № 1.1 с длительностью хранения 1 сутки после травления площадь физического контакта составляет в среднем 53%, для образца № 3.2 через 20 суток хранения она снижается в среднем до 43%, а для образца № 4.1 через 30 суток составляет 27%. Полученные результаты исследований указывают на присутствие дополнительной оксидной пленки в области микросварного соединения.

Проведены испытания по оценке надежности микросварных соединений, выполненных термокомпрессионной сваркой. С целью выявления приборов с механическими или структурными дефектами, которые проявляются при циклической смене температуры в изменении электропараметров или механических нарушениях, режимы испытаний выбраны следующие: температура в камере тепла $+175 \pm 5$ °C; температура в камере холода $+60 \pm 3$ °C; количество циклов — 10; время выдержки в камере — 30 мин.

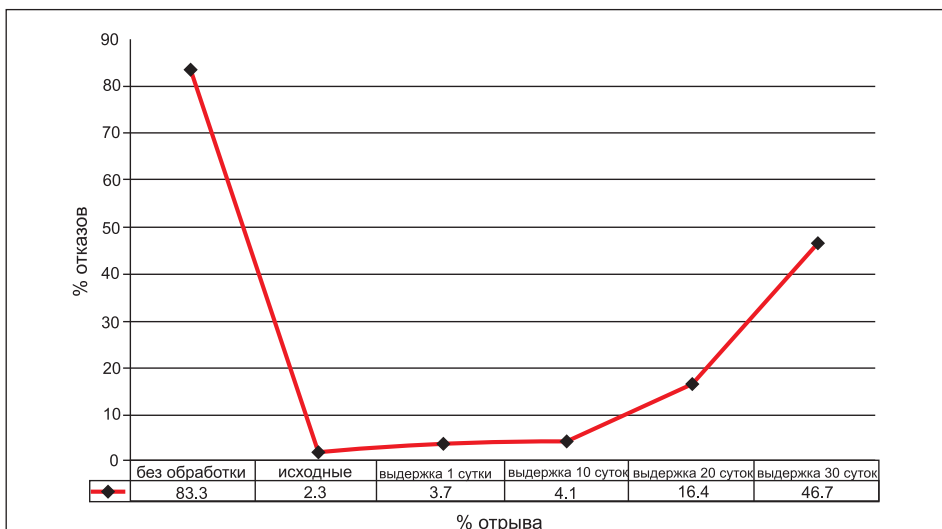


Рис. 9. Отказы приборов при различном времени выдержки до термокомпрессионной сварки

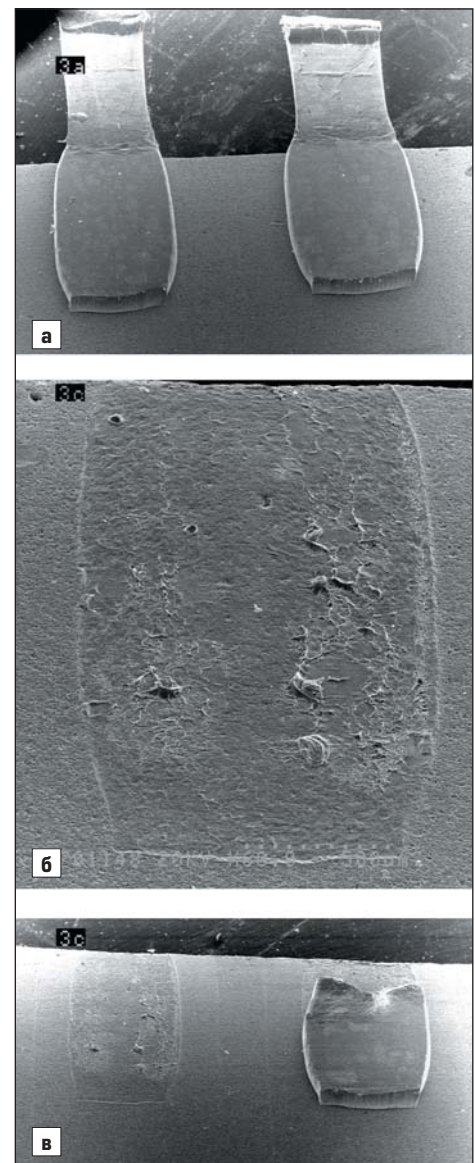


Рис. 10. Внешний вид соединения вывода с напыленным слоем алюминия: а) после термокомпрессионной сварки; б) после проверки прочности на отрыв; в) отслоение сварного соединения

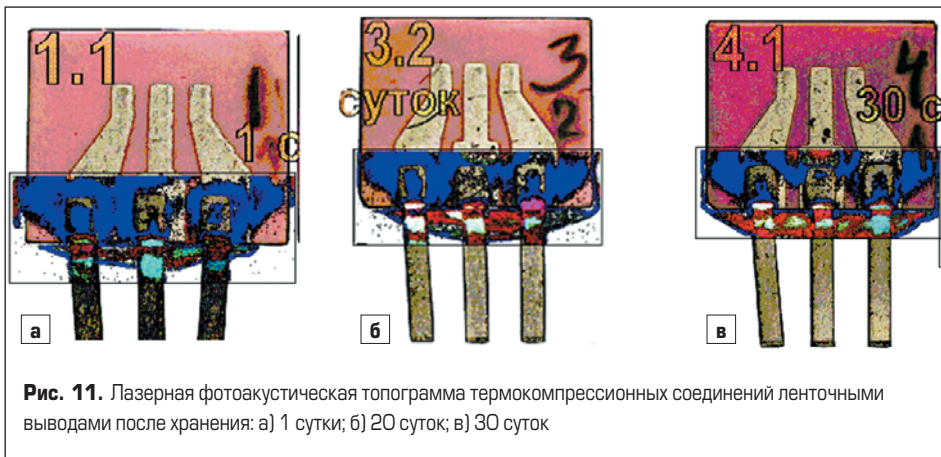


Рис. 11. Лазерная фотоакустическая топограмма термокомпрессионных соединений ленточными выводами после хранения: а) 1 суток; б) 20 суток; в) 30 суток

Чтобы оценить важность конструктивно-технологического (толщины напыленного слоя алюминия) и технологического (температуры и времени термокомпрессии) факторов, были испытаны образцы, в которых сварка проводилась на подложки с толщиной слоя алюминия 4,5 и 10 мкм при времени 1 и 6 с. Видно, что надежность термокомпрессионных соединений

возрастает при увеличении толщины напыленного слоя алюминия до 10 мкм и увеличении времени сварки до 6 с (рис. 12).

Выводы

Таким образом, оценка всех факторов процесса термокомпрессионной сварки показы-

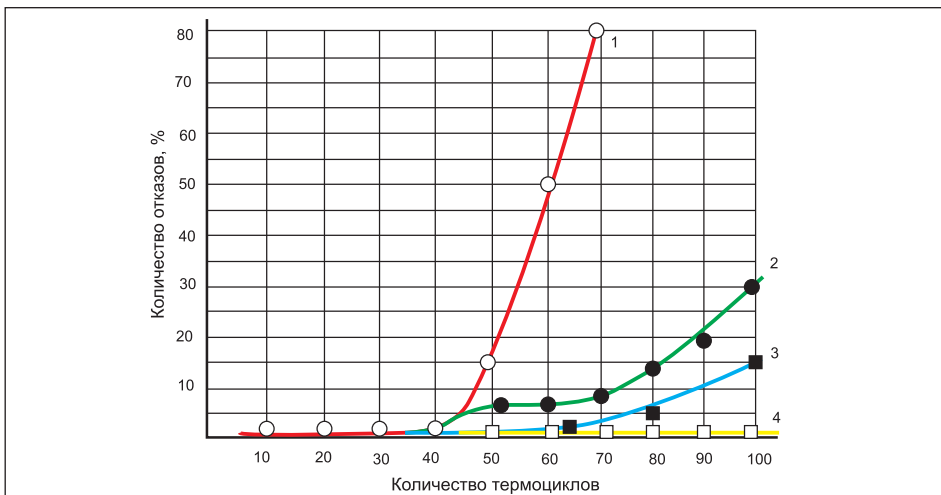


Рис. 12. Влияние конструктивно-технологических факторов на количество отказов термокомпрессионных соединений: 1, 2 — толщина напыления 4,5 мкм, время сварки 1 — 1 с и 2 — 6 с; 3, 4 — толщина напыления 10 мкм, время сварки 3 — 1 с и 4 — 6 с

вает, что оптимальными режимами являются: температура $+550 \pm 10$ °С и время не менее 6 с. По мере возможности следует использовать выводы для сварки сразу же после травления; толщина напыленного слоя алюминия должна быть не менее 10 мкм. Надежность термокомпрессионных соединений ленточных выводов возрастает при увеличении толщины напыленного слоя алюминия до 10 мкм и увеличении времени сварки до 6 с.

Литература

1. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е. А. Ладыгина. М.: ЦНИИ Электроника. 1980.
2. Агаханян Т. М., Аствацатурьян Е. Р., Скоробогатов П. К. Радиационные эффекты в интегральных микросхемах / Под ред. Т. М. Агаханяна. М.: Энергопромиздат. 1989.
3. Бойченко Д. В., Никифоров А. Ю. Исследование влияния технологии на радиационную стойкость операционных усилителей // Радиационная стойкость электронных систем. Научно-технический сборник. СПЭЛС. 2000.
4. Мустафаев А. Г. Воздействие ионизирующих излучений на биполярные транзисторы. Электронный научный журнал. <http://zhurnal.ape.relarn.ru>.
5. Костюков Н. С., Муминов М. И., Атраш С. М. и др. Радиационная электропроводность. М.: Наука. 2001.
6. Виноградов Б. А., Костюков Н. С., Харичева Д. Л. Герметичные металлокерамические соединения. М.: Наука. 2004.
7. Яковлев Г. А., Чистяков Ю. Д., Сальников В. М., Сергатский В. И. Бесфлюсовая пайка в технологии сборки полупроводниковых приборов и интегральных схем / Обзоры по электронной технике. Вып. 9 (963). М.: ЦНИИ Электроника. 1983.
8. Кундас С. П., Ланин В. Л., Достанко А. П. и др. Ультразвуковые процессы в производстве изделий электронной техники. Т.2. Минск: Бестпринт. 2003.