

Факторы, влияющие на герметичность мощных транзисторов

В металлокерамических и металlostеклянных корпусах

Исследованы причины негерметичности при сборке металлокерамических и металlostеклянных корпусов мощных транзисторов, предназначенных для электронных модулей силовой электроники.

Владимир Ланин

vlanin@bsuir.by

Анатолий Керенцев

akerentsev@transistor.com.by

Ярослав Соловьев

jsolovjov@transistor.com.by

Методы герметизации корпусов микроэлектронных приборов

Для защиты от воздействий внешней среды, для стабилизации параметров, повышения срока службы и надежности кристаллы полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, а также кристаллы и подложки гибридных микросхем выпускают в герметичных металлических, металlostеклянных, керамических, металлокерамических и пластмассовых корпусах. Для герметизации транзисторов в металlostеклянных и металлокерамических корпусах применяют сварку и пайку, которые создают вакуум-плотные соединения (рис. 1) [1].

При выборе способа герметизации следует помнить, что необходимо обеспечить защиту от разрушающего воздействия климатических факторов атмосферы, одновременно исключив возможное дестабилизирующее влияние герметизирующего материала или материалов конструктивных элементов.

Изделие может размещаться в полном корпусе (газообразная среда), в жидкой оболочке (корпуса, заполненные, например, теплоотводящей жидкостью или вазелинами) или быть частью монолитной герметичной конструкции. Возможны сочетания различных материалов и сред. Например, в полых корпусах могут находиться бескорпусные навесные компоненты с герметизирующим покрытием на основе органических полимерных или неорганических материалов. В монолитных пластмассовых корпусах с подслоем окружающая среда представляет собой двухслойную систему. В таких случаях необходимо предопределить возможное влияние на параметры изделия герметизирующего материала, находящегося на его поверхности, а также учесть возможное влияние на это покрытие (а в конечном итоге и на изделие) других сред (газообразной или твердой).

Конструкции металлокерамических и металlostеклянных корпусов

Основная область применения мощных транзисторов в металlostеклянном корпусе (рис. 2а) — источники электропитания, блоки кадровой и строчной разверток, регуляторы, схемы управления электродвигателями. Металлокерамический корпус (рис. 2б) применяется в блоках радиоэлектронной аппаратуры специального назначения. Основной

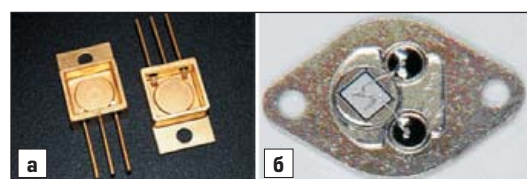
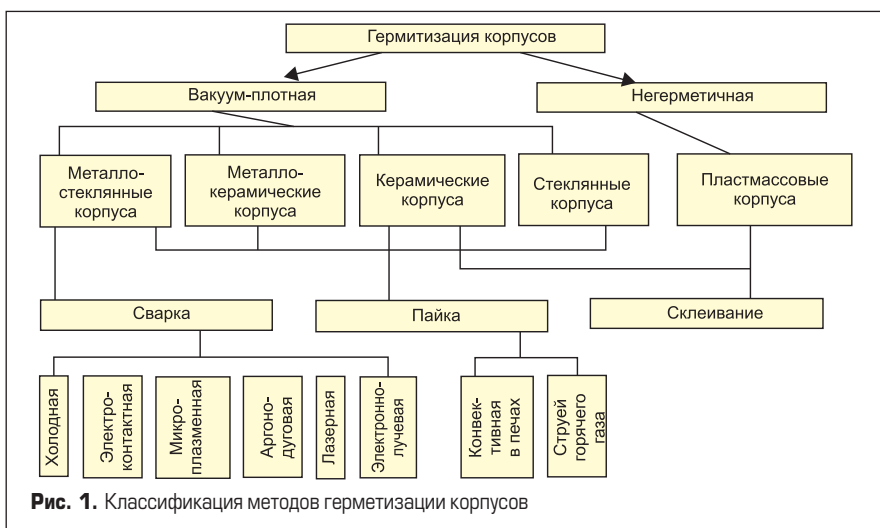


Рис. 2. Корпуса: а) металlostеклянный; б) металлокерамический

режим работы транзисторов — коммутация токов.

При коммутации токов 30–50 А транзисторы изготавливают в металлокерамическом корпусе КТ-9 или в металлокерамическом корпусе КТ-97В. Для достижения $P_{к\max} = 100\text{--}150$ Вт монтаж кристаллов выполняют на термокомпенсатор, расположенный на медном теплоотрастекателе, обладающем высокой теплопроводностью и устойчивостью к механическим воздействиям. Изоляторы изготавливаются из вакуумноплотной керамики ВК-94-1 или стеклотрусы С-45, С-76, С-95. Транзисторы должны быть устойчивы к различным климатическим воздействиям в диапазоне температур внешней среды +60...125 °С.

Внешние выводы корпусов изготавливают из материала МК (медь-ковар). Электрические соединения выполняются алюминиевой проволокой АОЦПоМ диаметром 250–300 мкм. В выходной цепи необходимо формировать не менее двух проволочных перемычек, в связи с чем поверхность траверс должна иметь расширенную площадь, что достигается путем формирования осажённой части в виде «шляпки гвоздя» для КТ-9 или чеканкой для КТ-97В. Присоединение кристалла к корпусу выполняется пайкой на легкоплавкий припой для корпуса с никелевым покрытием или контактно-реактивной пайкой с образованием эвтектики Au-Si.

Металлокерамические корпуса состоят из керамического основания с выводами и металлической крышки (рис. 3а), а стеклянные — из стеклянного основания и металлической крышки. Они более технологичны. В процессе формовки основание армируют выводами и металлической рамкой, а затем спекают, в результате чего образуется металлокерамический спай (рис. 3б).

Для соединения выводов с рамкой плоского керамического корпуса керамику металлизуют с помощью молибдено-марганцевых паст или металлической фольги толщиной 30–50 мкм. Металлизацию выполняют распылением через свободную маску, трафарет-

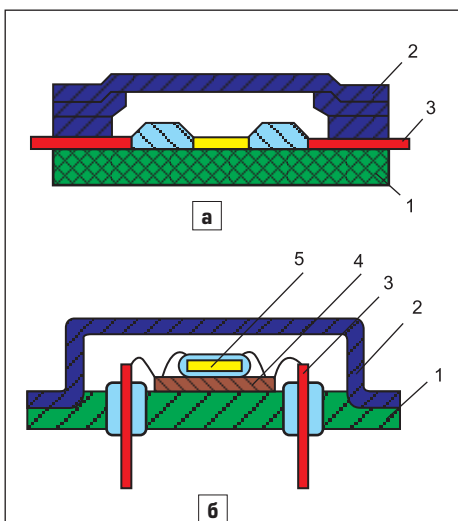


Рис. 3. Корпуса: а) металлокерамический; б) металлокерамический; 1 — основание, 2 — крышка, 3 — выводы, 4 — подложка, 5 — кристалл с герметизирующим покрытием

ной печатью либо вырубкой из фольги с последующей приклейкой. На металлизацию электролитически наносят слой никеля или меди толщиной 3–5 мкм и затем производят вжигание. Другой метод соединения металла с керамикой — через слой припойного стекла, которое в виде суспензии наносят на соединяемые поверхности и затем спекают при температуре +400...500 °С [2].

Так как из-за высокой температуры спекания керамики армировать основание металлическими выводами невозможно, их в специальной технологической рамке впаивают в него стеклом. Кроме того, к бортику керамического основания стеклом припаивают металлическую рамку, к которой сваркой или пайкой присоединяют металлическую крышку. Так как рамка и крышка должны при пайке хорошо смачиваться припоем на основе олова, их предварительно покрывают тонким слоем никеля, меди или золота. Выводы присоединяют к керамическому основанию с помощью проводящих паст.

Во избежание термических напряжений и растрескивания корпуса изготавливают из материалов, имеющих близкие по значению температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР). Кроме того, в процессе сборки и герметизации приборов при нагревании стекло не должно размягчаться. Рекомендуемые пары материалов: железо-никель-кобальтовый сплав 29НК (ковар) со стеклом С48-2 или С49-2 (температуры размягчения +570 и +585 °С); железо-никель-медный сплав 47НД со стеклом С89-8 или С90-1 (температуры размягчения +530 и +550 °С); керамика 22ХС или «Поликор» со стеклом С72-4 (температура размягчения +560 °С).

Для согласования ТКЛР металла и стекла или керамики применяют буферные материалы с промежуточным значением ТКЛР. В этом качестве используют припайные стекла, имеющие сравнительно невысокую температуру размягчения (~+500 °С). При нагреве припайное стекло размягчается и смачивает соединяемые поверхности подобно тому, как припой смачивает соединяемые металлические детали. ТКЛР припайного стекла находится в пределах $(4\text{--}12)\times 10^{-6}$ °С⁻¹. Его величина зависит от времени и температуры термообработки в процессе соединения материалов. Это обусловлено тем, что размеры кристаллов, образующихся после расплавления стекла, зависят от температуры и длительности термообработки. Кристаллизующийся спай обеспечивает высокую механическую прочность соединяемых материалов. Допускается многократный изгиб выводов без нарушения герметизации. Возникающие на поверхности стекла микротрещины оканчиваются на гранях приповерхностных кристаллов и не распространяются вглубь спаивания. Для образования герметичных соединений керамики с керамикой и керамики с металлом используют также покрытия припоем слои вожженного в керамику металла.

Корпуса не должны терять герметичность при следующих технологических воздействиях:

- Посадка кристаллов на эвтектику Au-Si при температуре +450 °С в течение 2 мин.

- Разварка проволочных межсоединений, при этом механическая прочность соединений должна быть не хуже 0,5 Н для проволоки диаметром 150–300 мкм.
- Герметизация методом шовно-роликовой сварки с показателем герметичности корпусов по скорости утечки гелия не более 5×10^{-5} Па·м³/с.

Выводы корпусов, включая их спай с керамикой, должны выдерживать воздействие растягивающей силы, направленной вдоль оси вывода, установленной по ГОСТ В 20.39.412: для вывода диаметром 1,0 мм — 20 Н, а для диаметра 1,5 мм — 40 Н.

Исследование вакуумной плотности гермовыводов

Вакуумная плотность керамического и стеклянного изоляторов является важнейшим условием получения герметичного металлокерамического или металлокерамического гермовывода корпуса (рис. 4). Для получения паяного металлокерамического узла необходимо предварительно металлизировать керамику путем осаждения слоя молибдена с последующим нанесением никеля для улучшения условий растекания припоя. Герметичность корпуса в основном определяется надежностью металлокерамического или металлокерамического гермовывода, а также зависит от процесса присоединения крышки к основанию корпуса. Потеря герметичности металлокерамического гермовывода может быть вызвана:

- дефектами в виде микропор и пустот в объеме керамического изолятора, обусловленных составом шликера, технологическими режимами литья, а также конструкцией прессформы;

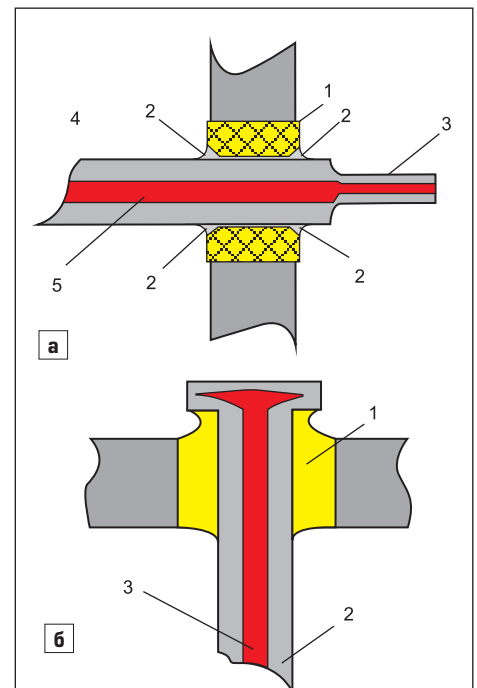


Рис. 4. Гермовыводы: а) металлокерамический: 1 — керамический изолятор, 2 — припой, 3 — траверса, 4 — вывод, 5 — медный сердечник; б) металлокерамический: 1 — стеклянный изолятор, 2 — вывод, 3 — медный сердечник

- недостаточным внутренним диаметром изолятора, снижающим капиллярный зазор при пайке, в результате чего из-за различия ТКЛР вывода и керамики возникают напряжения и микротрещины на границе керамики и металлизации;
- неудачно выбранным составом металлизационной пасты и неоптимальными технологическими режимами вжигания и обжига керамики;
- превышением допустимого уровня технологических воздействий при сборке приборов. Причинами негерметичности металlostеклянного гермовывода могут быть:
- несоответствие состава стекла, что приведет к росту ТКЛР;
- неоптимальные технологические режимы пайки стеклотаблетки, способные привести к образованию микротрещин;
- превышение давления при герметизации, что вызывает образование трещин в стекле.

Для металлокерамических корпусов исследовано влияние состава металлизации, технологических режимов вжигания, размеров капиллярного зазора, режимов высокотемпературной пайки твердыми припоями, режимов формирования финишных покрытий на устойчивость к технологическим факторам сборки. В первую очередь, необходимо обеспечить высокую адгезионную прочность сцепления металлизации с керамикой ВК-94-1.

Для металлизации керамических изоляторов использовались два варианта пасты: на основе молибдена МПЧ (до 82,5%) (вариант 1) и с добавлением керамики ВК94-1 (до 20%) (вариант 2). Вжигание металлизационной пасты проводилось в электропечи при двух режимах:

- после предварительного обжига (+1100 °С) и вжигании при +1580 °С;
- после окончательного обжига (+1580 °С) и вжигании при +1380 °С.

Полученные варианты металлизированных керамических изоляторов проведены по операциям «Никелирование», «Шлифовка торцевых поверхностей», «Отмывка» и «Пайка выводов с обечайкой», после чего выполнен экспресс-контроль герметичности. После опрессовки в гелии в течение 4 ч при 0,4 МПа была проведена проверка герметичности на установке УКГМ-2 на малые течи и в этиленгликоле — на большие течи.

Герметичность металлокерамических гермовыводов существенно увеличивается при вжигании металлизации при повышенной температуре +1580 °С. Если при +1380 °С все гермовыводы были забракованы на малые течи, то при +1580 °С брак отсутствовал. Керамическая поверхность после шлифовки торцов имеет развитую поверхность, и при этом вскрываются приповерхностные микропоры. После опрессовки в пробном газе при избыточном давлении 0,4 МПа на поверхности изделия и в приповерхностных дефектах материалов корпусов сорбируется гелий, который при испытаниях на герметичность дает фоновый поток, приводящий к ложному бракованию герметичного изделия.

Для проверки прочности сцепления металлизации с поверхностью керамики ВК-94-1 исполь-

зовались керамические крышки, изготовленные из той же партии шликера, что и керамические изоляторы. После никелирования осуществлялась пайка технологических выводов к металлизированной крышке припоем ПСр-72 в водородной печи типа СК11/16 при +820...850 °С и скорости движения конвейера 7 см/мин. После визуальной проверки качества пайки под микроскопом были проведены испытания образцов на разрывной машине 2038Р-0,05 с приложением усилия со скоростью не более 29,3 Н/с.

Во всех случаях, когда прочность сцепления была менее 60 Н, при проверке внешнего вида под микроскопом обнаруживалось отслаивание металлизации от крышки. Положительные результаты, когда прочность сцепления составила 120–140 Н, получены на образцах, у которых вжигание металлизации проводилось при +1580 °С.

Причины низкой адгезии металлизации к керамике могут быть следующие:

- неоптимальный режим вжигания +1380 °С;
- резкий подъем температуры (более 20 °С/мин) в процессе вжигания, приводящий к интенсивному испарению связки из пасты;

- взаимодействие расплава припоя ПСр-72 с металлизационной пастой;
- межзеренное проникновение через слой металлизации к керамике;
- различие в ТКЛР, приводящее к отслаиванию керамики.

Это возможно также в случае нанесения слишком тонкого слоя никеля. Его толщину рекомендуется выбирать в пределах 10–12 мкм, что позволяет исключить полное растворение никеля в медном припое и повысить таким образом термостойкость металлизации. Припой, содержащий 28% меди, может проникать сквозь тонкий слой никеля и по границам зерен металлизационной пасты под действием капиллярных сил и за счет разности ТКЛР приводит к растрескиванию металлизационной пасты и снижению адгезионных связей на пограничном слое керамики. Последующие термические операции в процессе пайки корпуса окончательно приводят к отслаиванию металлизации от керамики. Механические напряжения в системе «керамика-вывод» в случае капиллярного зазора менее 10 мкм также приводят к разрушению металлизационного покрытия внутри керамического изолятора.

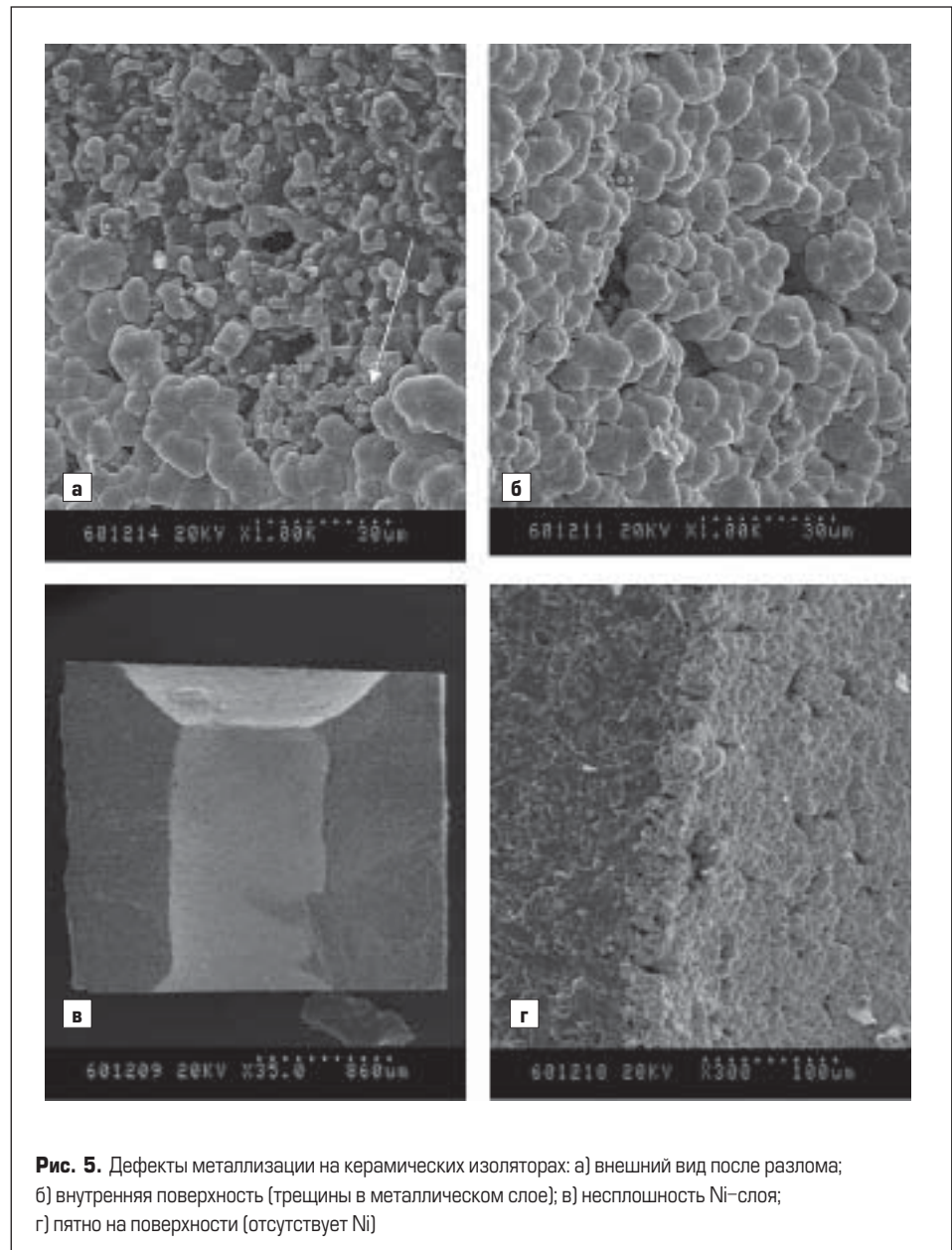


Рис. 5. Дефекты металлизации на керамических изоляторах: а) внешний вид после разлома; б) внутренняя поверхность (трещины в металлическом слое); в) несплошность Ni-слоя; г) пятно на поверхности (отсутствует Ni)

На рис. 5а–г показаны некоторые виды дефектов металлизации на керамических изоляторах. На рис. 6а–г представлены снимки металлокерамического спаев с дефектами пайки. При выборе оптимального режима пайки руководствовались следующими основными требованиями: полное расплавление и растекание припоя по соединяемым деталям; отсутствие трещин в керамическом вкладыше после пайки выводов; отсутствие дефектов пайки, обусловленных температурно-временным режимом. Подобранный оптимальный режим пайки обеспечивает эффективное растекание припоя за счет предварительного прогрева кассеты с деталями при температуре $+700\dots750$ °С в течение 10 мин, затем подъем температуры до $+815$ °С в течение 2 мин, выдержка для полного расплавления припоя и его растекания в течение 3 мин и охлаждение паяного соединения со скоростью примерно 10 °С/мин до температуры $+550$ °С, после чего скорость охлаждения возрастала до 25 °С/мин. Использование такого режима позволило исключить трещины в металлокерамическом спае.

Исследование устойчивости корпусов к технологическим факторам сборки

Необходимость проведения такого испытания обусловлена тем, что в процессе сборки приборов с использованием монтажа кристаллов на эвтектику Au-Si температурные

режимы достигают $+450$ °С. При меньшей температуре корпус не прогревается до заданной температуры и качество пайки кристалла резко снижается. Монтаж кристаллов на автомате ЭМ4085 повышает эффективность образования эвтектики Au-Si за счет активации процесса присоединения в результате принудительного движения кристаллов по криволинейной замкнутой траектории, обеспечиваемой программируемыми параметрами вибрации. При амплитуде колебаний кристалла $250\text{--}500$ мкм за $8\text{--}10$ периодов колебаний происходит эффективное удаление оксидных пленок и шлаков за пределы активной зоны, что обеспечивает равномерную толщину эвтектики в соединении. Металлокерамический корпус фиксировался в ленточной кассете с помощью фиксаторов. Для повышения эффективности автоматического процесса присоединения кристаллов и быстрого прогрева соединяемых деталей конструкция нагревательного столика установки доработана введением дополнительных повторяющихся выступов диаметром $7,5$ мм и высотой до $1,5$ мм.

Перед запуском на сборку исходные ножки были проверены по внешнему виду на соответствие требованиям ТУ, затем проведен контроль герметичности на установке ТИ1-15. Перед проведением посадки кристаллов на автомате ЭМ-4085 измерили температуру предварительного подогрева ножки и температуру в зоне посадки с помощью цифрового измерительного термометра и термопары ХК. Посадку кристаллов размером $4,7\times4,3$ мм осу-

ществляли на автомате ЭМ-4085 в следующих режимах: T на столике $+450$ °С; количество колебаний — 10 , пауза — 100 усл. ед., прогрев — 40 усл. ед., усилие на инструменте — $1,5$ Н.

Чтобы обеспечить температуру корпуса КТ-97 равной $+450$ °С, необходимо задать на поверхности нагревательного столика температуру порядка $+580$ °С. Это обусловлено тем, что поверхность нагревательного столика имеет нерегулярную структуру — в форме меандра. Выступающая часть столика после перемещения ЗРУ на шаг прижимается к нижней части корпуса, находящегося в фиксированном положении на специальной ленточной кассете.

Образование эвтектики происходит равномерно по всему периметру кристалла. После снятия корпусов с загрузочного устройства установки и остывания их до комнатной температуры проводили контроль по внешнему виду с использованием оптической микроскопии. Установлено, что на корпусах, содержащих функциональные покрытия Хим.Н.6 и Зл.4, цвет покрытия не изменился, что свидетельствует об устойчивости к температурному воздействию при $+450$ °С в течение 2 мин.

Ультразвуковая сварка соединений выполнялась на автомате ЭМ-4340АМ, проволокой АОЦПоМ: одна перемычка 250 мкм — затвор, две перемычки 300 мкм — исток. Прочность проволочных соединений составила $2,5\text{--}3,0$ Н. После проведения разварки приборы подвергались термовыдержке в течение 2 часов при $+150$ °С. После температурного воздействия механическая прочность соединений осталась без изменений. Таким образом, выборочный контроль межсоединений на механическую прочность показал высокую устойчивость конструкции корпуса и функционального покрытия к УЗ разварке выводов.

Для металлокерамических корпусов перед выполнением герметизации осуществлялась предварительная «прихватка» крышки с основанием, а затем термовыдержка при температуре $+150\pm5$ °С в течение 48 ч. Герметизация шовной контактной сваркой проводилась на полуавтомате ОЗКС-700-02 в следующих режимах: I сварка — ток 115 А, II сварка — 125 А, усилие — $8,8$ Н. Для металлокерамических корпусов герметизация выполнялась на установке контактной сварки МРН-4100. Загерметизированные корпуса подвергались воздействию термоциклов при следующих режимах: $-60\dots+150\pm5$ °С; количество циклов — 5 ; время выдержки — 30 мин.

Проверка герметичности осуществлялась гелиевым течеискателем на установке УКГМ-2. Давление гелия в опрессовочной камере 392264 Па, время опрессовки — не менее 4 ч, термодесорбция гелия — в течение 10 ± 1 мин при $+125\pm5$ °С. Результаты проверки герметичности корпусов на разных стадиях воздействия представлены на рис. 7.

Сравнительный анализ показал, что наименее устойчивы к технологическим факторам сборки корпуса, имеющие вывод из композиционного материала медь-ковар (МК). Использование выводов из МК обусловлено необходимостью получения выходных токов мощного транзистора на уровне 30 А, так как

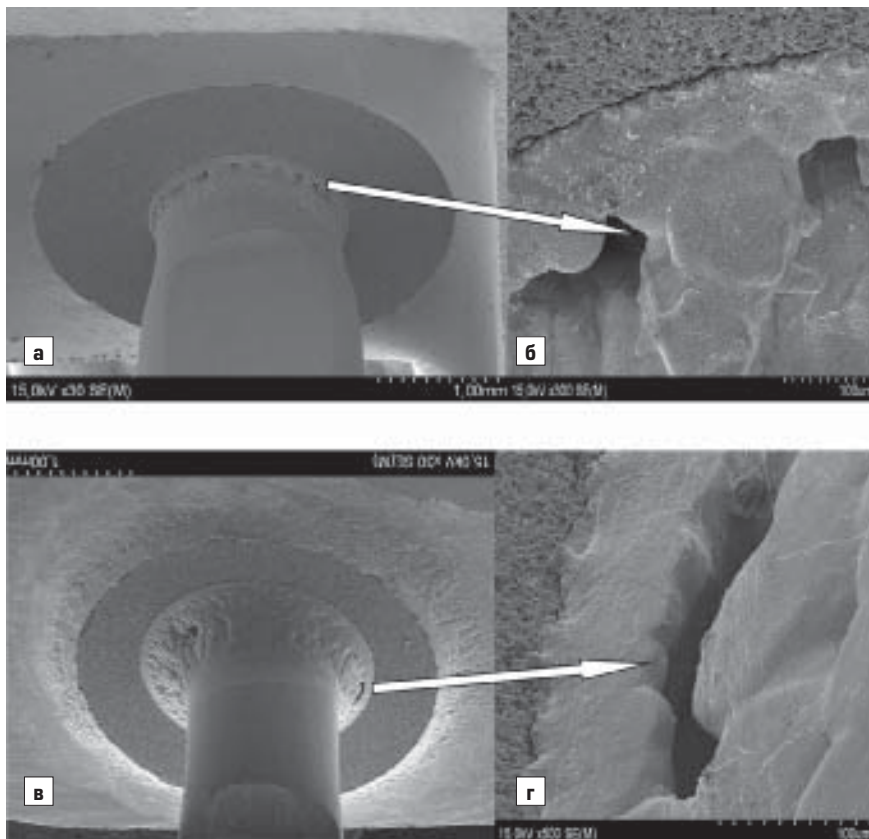


Рис. 6. Внешний вид металлокерамического спаев с дефектами пайки: а, в) увеличение в $30\times$; б, г) увеличение в $300\times$

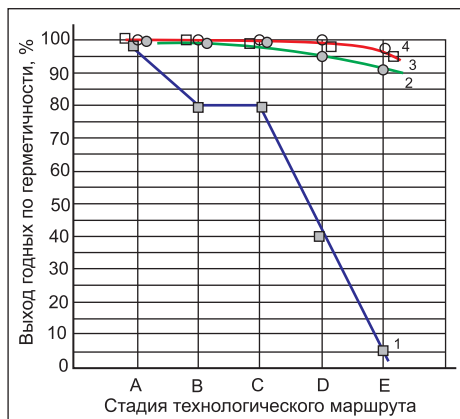


Рис. 7. Влияние технологических факторов на выход годных по герметичности корпусов КТ-9 (1,4) и КТ-97 (2,3):
 А — входной контроль; В — после пайки;
 С — после УЗ-сварки; D — после герметизации;
 E — после термоциклирования

выводы из материала 38НКД можно использовать только до 20 А.

В производстве используются различные варианты корпусов, содержащие коаксиальные траверсы из материала 38НКД без расплющивания торца (рис. 8а), а также с осаженой траверсой (рис. 8б, в). Увеличение контактной площади траверсы позволяет присоединять несколько проволочных или ленточных проводников.

Опробование корпусов с различными вариантами металлоглазьяного узла показало, что наиболее устойчив по герметичности вариант, приведенный на рис. 8а. На рис. 8в показан самый неустойчивый вариант: стеклоизолятор имеет наибольшую площадь взаимодействия с выводом, в результате чего из-за различия в ТКЛР после термического воздействия происходит образование трещины в стеклоизоляторе и отмечается негерметичность по стеклу.

Для уменьшения растрескивания стеклоизолятора целесообразно использовать стекло С-95, ТКЛР которого наиболее близок к ТКЛР материала фланца корпуса КТ-9 (рис. 9). Уменьшение соотношения медь-ковар до 1:3 в выводе повышает устойчивость к термическим воздействиям.

Исследование герметичности корпусов приборов

Динамика электротепловых процессов при точечной шовно-роликовой сварке корпусов очень сложна. Процессы выделения джоулевой теплоты в металле при формировании точечного сварного соединения проходят при изменяющихся сопротивлениях и при изменяющемся сварочном токе, вызывая локальное расплавление металла крышки и ободка корпуса. На поверхности сварного шва видны равномерные наплывы металла, по границам которых происходит, как правило, образование микротрещин. Возможными причинами образования микротрещин могут быть как режимы сварки, так и использование крышки, изготовленной из высокопрочных материалов. В этом случае

(исходная лента нагартована) требуется увеличивать мощность сварочного импульса, что достигается подачей тока большой амплитуды. Однако из-за неравномерного прижатия жесткой крышки к ободку корпуса (шероховатость на микроуровне) изменяется электрическое сопротивление контакта «электрод-крышка-ободок», что может приводить к мгновенному расплавлению металла крышки и даже выбросу расплава. Такой вид дефекта, выявленный РЭМ-анализом, а также наличие микротрещин по периметру крышки в сварном шве приведены на рис. 10а, б. Проверкой в этиленгликоле на большие течи визуально заметны пузырьки воздуха, выходящие из внутреннего объема корпусов в области расположения сварного шва.

В результате измерения микротвердости материала крышки по Виккерсу установлено, что она составляет 264 НВ. Это указывает на то, что исходная лента нагартована. Поэтому были изготовлены крышки с дополнительным отжигом при +600 °С и +800 °С в водородной среде. После герметизации был осуществлен контроль ее качества. Оказалось, что крышки в результате отжига становятся более пластичными и герметичность значительно повышается.

Таким образом, металлокерамический корпус устойчив к процессу герметизации шовно-роликовой сваркой, однако использование крышки из нагартованного материала приводит к потере герметичности из-за образования микротрещин в сварном шве по контуру корпуса. Дополнительный отжиг при +600 °С позволил повысить пластичность материала крышки и обеспечить воспроизводимость качества герметизации.

При изготовлении металлоглазьянных корпусов основными факторами, влияющими на их герметичность, являются: усилие сжатия свариваемых элементов; сварочный ток во вторичной обмотке трансформатора; плоскостность крышки по всему периметру основания корпуса; состояние поверхности крышки (чистота, микротвердость, пластичность никелевого покрытия).

Осмотр внешнего вида герметизированных приборов выявил вмятины на обратной стороне фланца от верхнего электрода. При смыкании электродов без подачи сварочных импульсов вмятина не образовывалась. Это говорит о том, что при сварке на ножку оказывается значительное термомеханическое воздействие, что приводит к образованию трещин стеклоизоляторов.

Сварочное давление в установке контактной сварки МРН14001 определяется ходом штока верхнего электрододержателя и набором тарельчатых пружин. Варьирование хода штока приводит к незначительному изменению сварочного давления, в связи с чем корректировка усилия сжатия проводилась за счет комбинации количества тарельчатых пружин. При их установке (по 3 в комплекте) машина развивает максимальное сварочное усилие, однако с таким набором пружин на обратной стороне фланца остается значительная вмятина. Снижение мощности сварки за счет уменьшения длительности и количества импульсов привело к от-

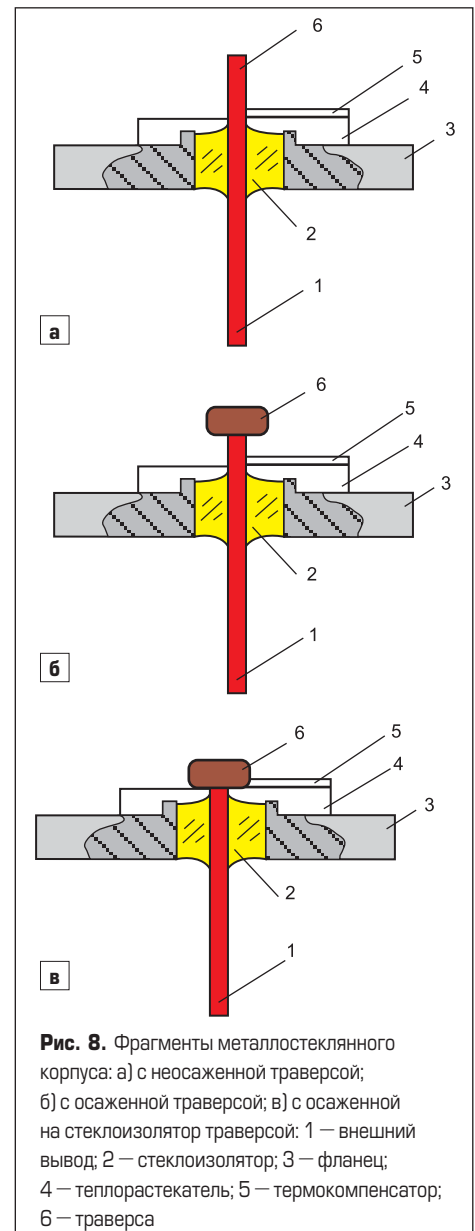


Рис. 8. Фрагменты металлоглазьянного корпуса: а) с неосаженной траверсой; б) с осаженой траверсой; в) с осаженой на стеклоизоляторе траверсой: 1 — внешний вывод; 2 — стеклоизолятор; 3 — фланец; 4 — теплорастекатель; 5 — термокомпенсатор; 6 — траверса

сутствию сварного соединения. При установке тарельчатых пружин (по 2 в комплекте) удалось практически исключить механический дефект на обратной стороне фланца и, используя измененную конструкцию электродов (верхний с молибденовой накладкой и нижний — мед-

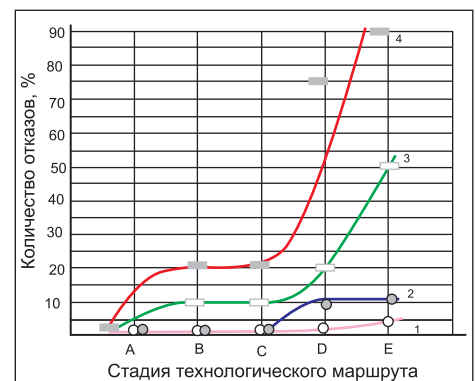


Рис. 9. Влияние материалов вывода и стеклоизолятора на количество отказов по герметичности: 1 — С-76 (вывод МК); 2 — С-95 (вывод МК); 3 — С76 (вывод 38НКД); 4 — С-95 (вывод 38НКД)

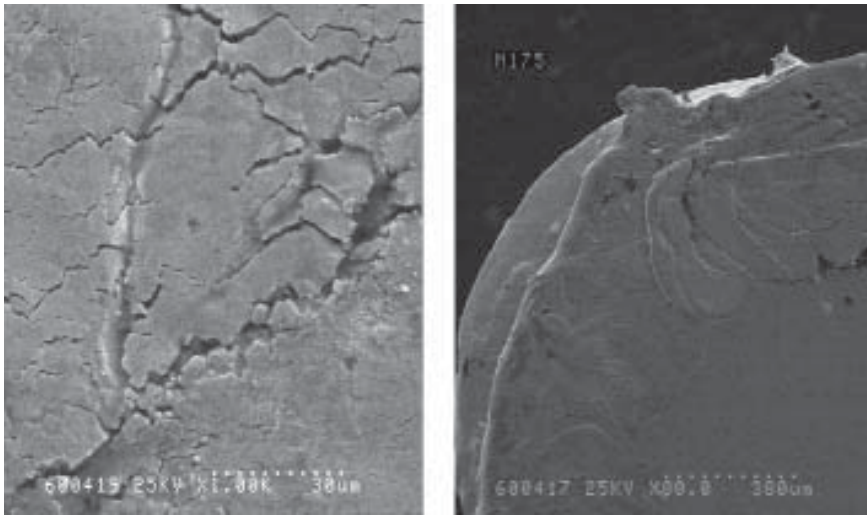


Рис. 10. Внешний вид сварного шва на поверхности крышки корпуса

ный), добиться отсутствия больших течей в 100% приборов и малых течей — в 50%.

В процессе герметизации корпусов наблюдалась нестабильная работа установки при подаче сварочных импульсов разной длительности. В связи с этим была опробована сварка на одном импульсе, однако пришлось повысить его мощность путем повышения фазового регулирования, увеличения длительности сварочного импульса и сварочного усилия за счет установки трех тарельчатых пружин в комплекте. В результате были подобраны режимы, обеспечивающие 100%-ное отсут-

ствие малых течей: количество импульсов — 1; фазовое регулирование — 75%; длительность импульса — 10 мкс; время проковки — 100 мкс; время гашения — 2 мкс; степень регулирования — 4; сварочное усилие — тарельчатые пружины по 3 в комплекте.

Выводы

Для исключения возможности образования микротрещин в металлокерамическом спае оптимизирован режим пайки, обеспечивающий эффективное растекание припоя в зоне форми-

рования соединения гермовывода за счет предварительного прогрева кассеты с деталями при температуре +700...750 °С в течение 10 мин. Определены основные факторы, влияющие на герметичность металlostеклянных корпусов: усилие сжатия свариваемых элементов; сварочный ток во вторичной обмотке трансформатора; плоскостность крышки по всему периметру основания корпуса; состояние поверхности крышки (чистота, микротвердость, пластичность никелевого покрытия). Оптимизированы режимы контактной сварки металlostеклянных корпусов, обеспечивающие 100%-ное отсутствие в приборах малых течей за счет увеличения мощности и длительности сварочного импульса, а также увеличения усилия, прилагаемого к крышке корпуса.

Литература

1. Емельянов В. А. Корпусирование интегральных схем. Минск: Полифакт, 1998.
2. Батыгин В. Н. Вакуумно-плотная керамика и ее спаи с металлами / Под ред. Н. Д. Девяткова. М.: Энергия, 1973.
3. Греков А. Г., Левина Л. Е. Характерные размеры и предельные величины течей в полупроводниковых приборах // Электронная техника. Сер. Технология, организация производства и оборудование. 1978. Вып. 5(90).
4. Ходкин В. Н., Лукашов А. И., Плескина С. Н. Контроль герметичности интегральных схем по большим и средним течам // Электронная техника. Сер. Технология и организация производства и оборудования. 1977. Вып. 6.