

Особенности корпусирования герметичных интегральных схем

Для обеспечения устойчивости к термоциклическим нагрузкам силовые интегральные схемы в металлокерамических и металlostеклянных корпусах герметизируют преимущественно шовно-роликовой сваркой. Основными параметрами, влияющими на герметичность корпуса, являются усилие сжатия свариваемых элементов, амплитуда сварочного тока во вторичной обмотке трансформатора и его длительность. Для повышения стабильности качества герметизации корпусов необходимо настроить параметры установки шовно-роликовой сварки, а также обеспечить автоматическое регулирование сварочного тока.

Аркадий Турцевич
Владимир Ланин
Анатолий Керенцев

akerentsev@transistor.com.by

Типы корпусов и их особенности

Герметичные корпуса изготавливают из металлов, керамики и стекла. К ним относятся металlostеклянные и металлокерамические, которые по своим параметрам и характеристикам соответствуют требованиям ОСТ 11 0694-89 и ГОСТ РВ 5901-004-2010 (рис. 1).

Для интегральных схем (ИС) применяют шесть основных типов герметичных корпусов [1]:

- прямоугольные, с выводами в пределах основания и перпендикулярно ему в один ряд, в два, три и в большее число рядов;
- прямоугольные, с выводами, расположенными за пределами основания и перпендикулярно ему в два и в четыре ряда;
- круглые и овальные, с выводами в пределах основания, перпендикулярно ему по окружности;
- прямоугольные, с выводами за пределами основания, параллельно по двум противоположным

сторонам или отформованными по двум сторонам, а также с выводами за пределами основания, параллельно по четырем сторонам или отформованными по четырем сторонам под корпус;

- прямоугольные, с расположением выводов в пределах тела корпуса перпендикулярно по двум и по четырем сторонам;
- квадратные, с расположением выводов в пределах тела корпуса перпендикулярно в два и в большее число рядов.

Корпуса всех этих типов герметизируются посредством крышки или колпака. Причем внешние выводы корпусов также должны быть вакуумно плотными. В керамических корпусах внешние выводы, формирующие путем толстопопленочной металлизации и методов обжига, как правило, встраиваются в керамику. Для металлокерамических корпусов применяют способы герметизации с использованием стекла, пайкой припоем, а также электроконтактной и лазерной сваркой (рис. 2) [2].

Герметизация стеклом применяется для широкого диапазона металlostеклянных и керамических корпусов. В первом случае стекло образует герметичное уплотнение между стеклом и металлом для выводов корпуса. Во втором — оно используется для формирования многослойного уплотнения между керамической крышкой или колпаком и керамической подложкой, на которой размещены кристаллы. В керамических DIP-корпусах то же самое уплотнение из стекла выполняет обе эти функции.

Универсальность стекол для герметизации корпусов заключается в их химической инертности, стойкости к окислению, хороших электроизоляционных характеристиках, непроницаемости для влаги и других газов. Основными недостатками стекол являются их низкая прочность и хрупкость, что вынуждает обращать особое внимание

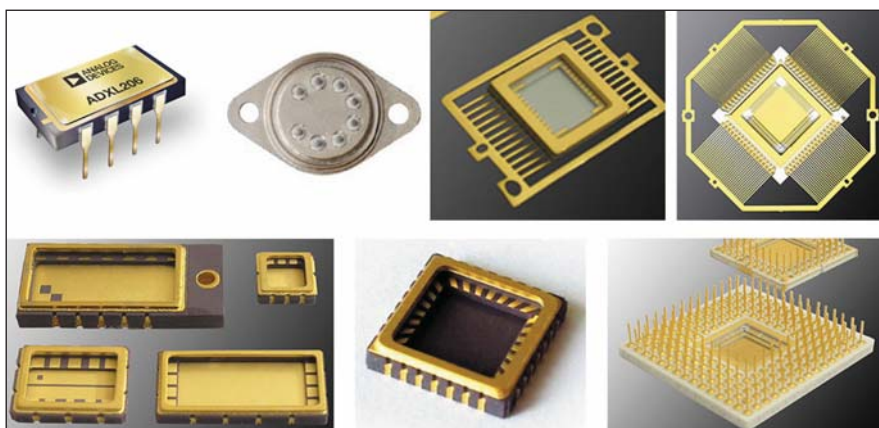


Рис. 1. Современные герметичные корпуса для ИС

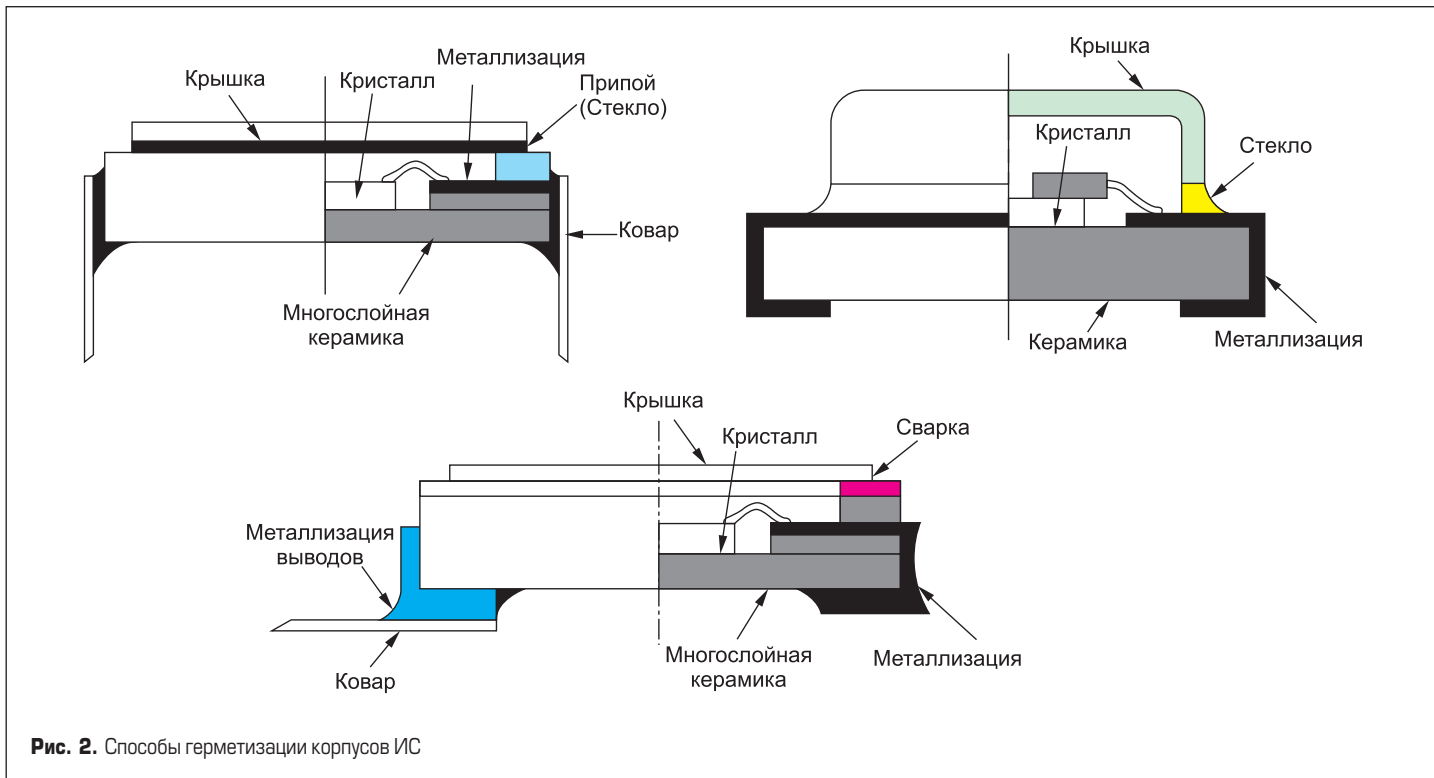


Рис. 2. Способы герметизации корпусов ИС

на конструкцию узла герметизации и выбор марки стекла для герметизации. Плохая адгезия при уплотнении стеклом является проблемой при герметизации поверхностей стекло-металл, однако стеклокерамика редко вызывает затруднения при герметизации поверхностей. При герметизации стеклом важными факторами являются газовая среда в печи и температурный профиль. Нагрев производится обычными и инфракрасными обогревателями. Рекомендуемая скорость нагрева составляет 75–125 °С/мин. Для герметизации требуется выдержка в течение 10–20 мин при максимальной температуре, после чего корпус медленно охлаждается со скоростью около 40 °С/мин. Полученные спаи имеют толщину 250–400 мкм и ширину около 1000 мкм.

Герметизация корпусов с большими полостями пайкой припоями очень осложняет большой объем нагретого газа внутри корпуса, имеющий тенденцию к образованию пустот в расплавленном припое или скатыванию припоя внутри в шарики. На формирование надежного уплотнения в процессе пайки влияют плоскостность подложки и крышки, профиль температуры в печи

и состояние атмосферы. Герметизация в печи с помощью сплава Au-Sn обеспечивает хороший выход годной продукции, причем потери от комбинированных мелких и крупных утечек составляют не более 2%.

Широко применяются способы герметизации пайкой в конвейерной водородной печи с помощью припоев ПОССу-0,5; ПОС-61; ПЗЛО-8,5. Недостатками этого процесса являются воздействие повышенных температур на весь корпус и вероятность попадания во внутренний объем прибора частиц припоя, способных вызвать деградацию активной структуры. Следует отметить, что режимы пайки крышек к ободку металлостеклянного корпуса оказывают существенное влияние на уровень механических напряжений. Герметизация ИС при температуре 250 °С с использованием припойных прокладок ПОССу 61–05+3%Ag толщиной 150–220 мкм выявила влияние массы припоя и особенностей техпроцесса на образование трещин в стекле (рис. 3).

Дополнительная нагрузка на крышку в процессе пайки способствует повышенному образованию галтелей припоя в области металлостеклянного узла «стеклоизолятор-ободок» и росту механических напряжений

(рис. 4). Режим гравитационной пайки (без дополнительной нагрузки), а также выбор оптимальной массы припоя позволяют существенно повысить качество герметизации пайкой и исключить появление трещин в стеклоизоляторах.

Наиболее распространенным и высокоэффективным способом герметизации корпусов ИС является электроконтактная сварка двух типов: точечная шовно-роликовая и конденсаторная. При контактной шовной сварке происходит термомеханический процесс образования неразъемных сварных швов, состоящих из ряда точечных соединений. Он осуществляется путем концентрированного местного нагрева материала электрическим током, проходящим через контакт свариваемых элементов, и пластической деформации зоны шва под действием усилия сжатия до появления расплавленной зоны (литых ядер).

На предприятиях электронной промышленности востребован полуавтомат 03КС-700-2, с помощью которого выполняется герметизация методом односторонней шовно-роликовой сварки в импульсном режиме с дискретно-регулируемой длительностью паузы между пачками

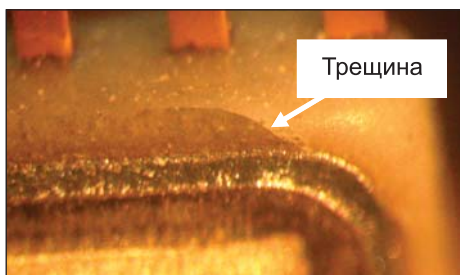


Рис. 3. Образование микротрещины в стеклоизоляторе под ободком корпуса

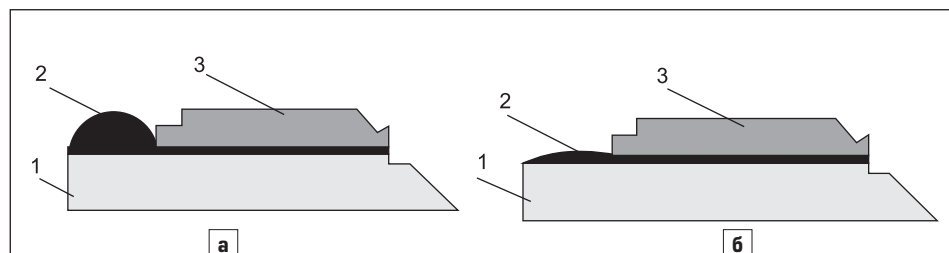


Рис. 4. Форма паяного шва: а) с прижатием крышки; б) без прижатия в процессе герметизации (1 — основание корпуса; 2 — галтель припоя; 3 — крышка)

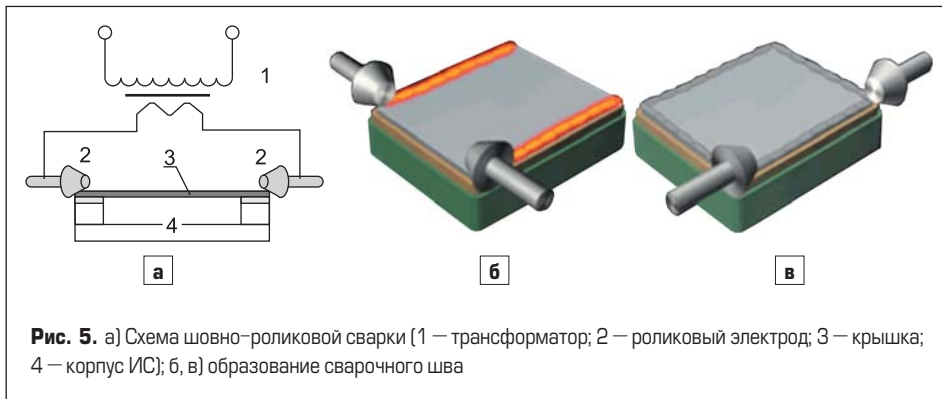


Рис. 5. а) Схема шовно-роликовой сварки (1 — трансформатор; 2 — роликовый электрод; 3 — крышка; 4 — корпус ИС); б, в) образование сварочного шва

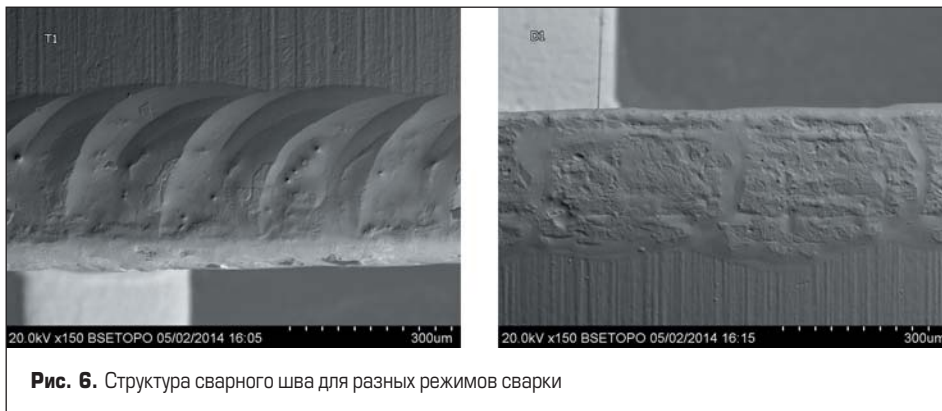


Рис. 6. Структура сварного шва для разных режимов сварки

сварочных импульсов. В процессе сварки выводы вторичной обмотки трансформатора 1 подсоединены через токоподводы к роликовым электродам 2, выполняющим сварку крышки 3 по длинной и по короткой стороне корпуса 4 микросхемы (рис. 5).

В результате конвейерного перемещения герметизируемых корпусов и прохождения электрического тока через две пары роликовых электродов происходит мгновенный нагрев до 1450 °С (температура плавления ковара) локальной области крышки и ободка корпуса с образованием сварного шва в виде перекрывающихся сварных зон по наружному периметру крышки (рис. 6).

Особенности формирования сварного соединения контактной шовно-роликовой сваркой

Процесс формирования сварного соединения является многостадийным. На пер-

вой стадии процесса крышка прижимается электродами к ободку основания корпуса с образованием контакта электрической цепи. При этом площадь контакта и его сопротивление в значительной степени зависят от шероховатости поверхности, наличия поверхностных оксидов и других загрязнений. Контактное сопротивление

$$R_{\text{конт}} = R_0 / F_{\text{св}}^\alpha \quad (1)$$

где R_0 — сопротивление контакта при силе сжатия поверхностей; $F_{\text{св}}$ — сварочная сила; α — коэффициент, зависящий от типа металла крышки и ободка.

Для обезжиренных низкоуглеродистых сталей $R_0 = 0,005-0,006$ Ом и $\alpha = 0,65-0,75$. Правильный выбор диаметра рабочей поверхности электрода создает оптимальную площадь контакта «электрод-крышка» и оптимальную плотность тока в зоне сварки, от которой зависит удельное выделение тепла в единице объема металла по закону Джоуля—Ленца.

В процессе сварки необходимо поддерживать оптимальное распределение выделяемой теплоты. Наибольшее количество ее должно появляться в контакте «крышка-ободок корпуса», а в контакте «электрод-крышка» она должна быть минимальной. В противном случае происходят сильное окисление металла электрода и его локальное расплавление, что приводит к перегреву, наружным выплескам и повышенному износу электродов. Тщательная очистка электродов и поверхностей деталей от оксидов и загрязнений, а также оптимальная сила сжатия $F_{\text{св}}$ и нормальный режим охлаждения электродов являются обязательными условиями снижения выделения теплоты в контакте «электрод-крышка».

Выделяемую теплоту Q в контакте «крышка-ободок корпуса» можно определить по закону Джоуля—Ленца, используя выражение:

$$Q = I_{\text{св}}^2 \times R_{\text{к-о.ср}} \times t, \quad (2)$$

где $I_{\text{св}}$ — сварочный ток; $R_{\text{к-о.ср}}$ — среднее сопротивление контакта «крышка-ободок корпуса»; t — время существования контакта.

Вторая стадия процесса сварки начинается с момента протекания сварочного тока через участок цепи «крышка-ободок корпуса». В месте их контакта выделяется основное количество теплоты, поскольку его сопротивление наибольшее. Смятие микрощероховатостей и частичное разрушение оксидных пленок на контактируемых поверхностях деталей, возникающее в результате интенсивного нагрева приконтактных слоев металла и их пластического деформирования под действием силы $F_{\text{св}}$, уменьшают контактное сопротивление. Оно полностью исчезает после появления в области контакта жидкого металла. В зоне расплавленного металла плотность тока снижается, а в зоне контакта твердого металла — увеличивается, способствуя росту ядра в радиальном направлении.

Третья стадия процесса — кристаллизация жидкого металла, начинающаяся после выключения сварочного тока. Она происходит в замкнутом объеме ядра под действием сжатия и охлаждения, осуществляемого электродами. При кристаллизации атомы металла в пределах отдельных зерен или кристаллов упорядоченно располагаются в кристаллической решетке, взаи-

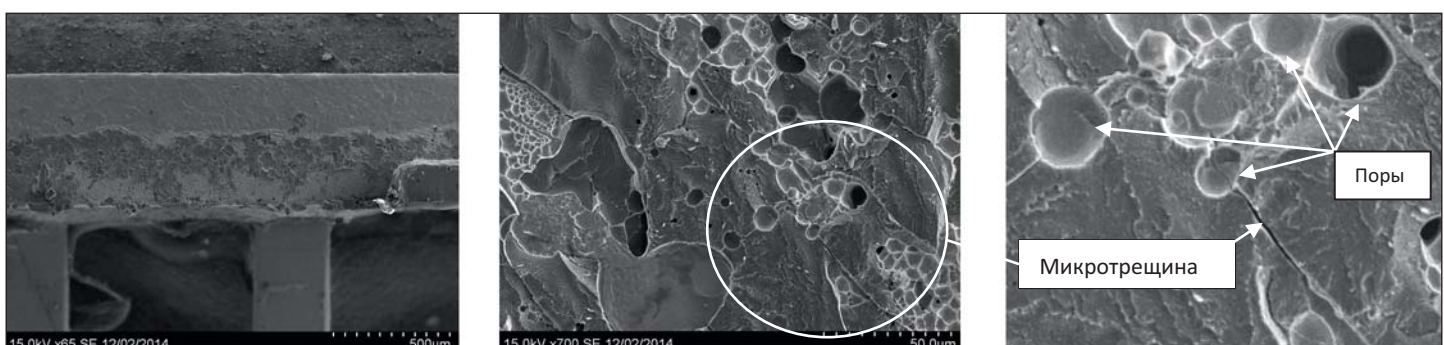


Рис. 7. Образование пористости сварного шва

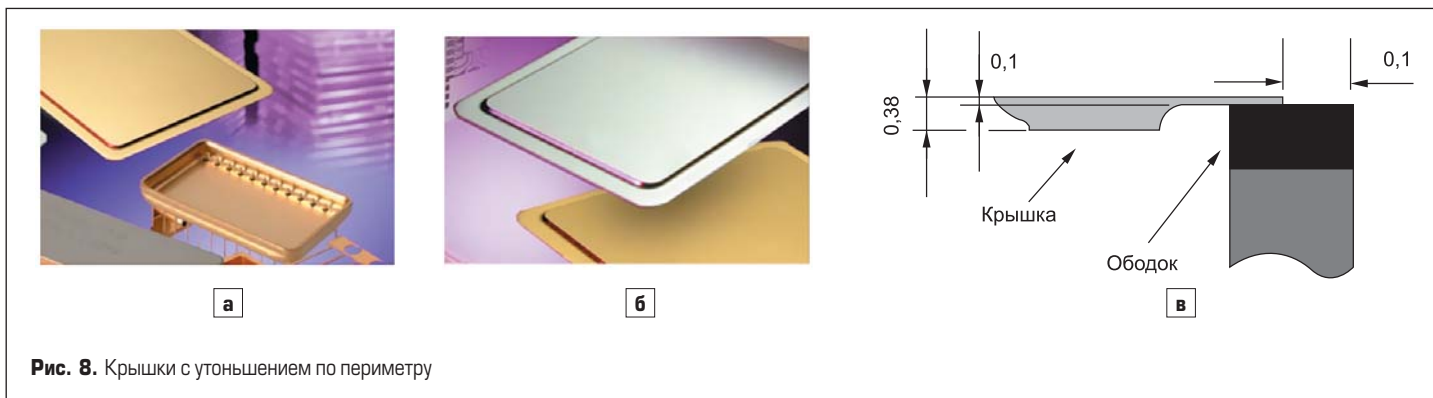


Рис. 8. Крышки с утоньшением по периметру

модействуя друг с другом с образованием металлических связей между собой. Таким образом, во время точечной и шовной сварки соединение формируется из жидкой фазы в процессе кристаллизации. При этом кристаллиты растут в направлении, обратном теплоотводу, образуя столбчатую литую структуру. В центральной зоне ядра, где кристаллиты сращиваются вершинами, могут возникать усадочные раковины, поры и пустоты.

Также следует учитывать, что в процессе герметизации контактной шовной сваркой шов образуется в результате локального плавления соединяемых поверхностей крышки и ободка корпуса. При этом растворенные газы в коваре, а также водород в никелевом покрытии выделяются, способствуя образованию газовой микропористости в сварном шве (рис. 7).

Требования к конструкции крышки

Для данного способа герметизации применяются плоские крышки и с утоньшением по периметру [3] (рис. 8).

Утоньшение крышек по периметру позволяет осуществлять сварку в «мягких» режимах. Это существенно снижает риск возникновения микротрещин и повышает наработку микросварочного электрода.

Внешние габариты крышки не должны превышать внешние размеры ободка основания корпуса (рис. 8в). Рекомендуется использовать крышки, у которых внешние размеры равны размерам монтажного кольца или меньше на 0,1 мм. Толщина края крышки для сварки должна составлять $0,10 \pm 0,03$ мм.

Крышки и ободок корпуса изготавливаются из следующих материалов:

- ковар (Fe — 53%, Ni — 29%, Co — 18%) — температура плавления 1450 °C;
- фени 42 (Fe — 58%, Ni — 42%) — температура плавления 1427 °C;
- никель — температура плавления 1454 °C;
- низкоуглеродистая сталь типа КП08.

Для получения металлокерамических узлов, согласованных по коэффициенту температурного линейного расширения (КТЛР) при температуре 25–400 °C, широко применяется ковар (для ковара $\alpha = 6,2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для керамики $\alpha = 6,8 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для стекла $\alpha = \text{от } 6,8 \times 10^{-6} \text{ до } 7 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Рекомендуется использовать крышки и ободки корпусов с предварительно нанесенным на них слоем следующих материалов: гальванический никель толщиной от 1,2 до 3,8 мкм и гальваническое золото толщиной 1,2 мкм.

Электроды для шовно-роликовой сварки

При оптимизации параметров сварочного процесса следует ответственно относиться к выбору таких параметров сварочных электродов, как диаметр ролика и угол наклона боковой поверхности.

Максимальный диаметр ролика подбирается исходя из минимального размера герметизируемого корпуса. Из-за постоянного контакта с герметизируемой поверхностью со временем рабочая поверхность ролика подвергается неравномерной эрозии. Диаметр ролика подбирается так, чтобы обеспечить однородность эрозии рабочей поверхности ролика и, тем самым, продлить срок его службы. Углы наклона влияют на концентрацию тепла и распространение теплового фронта.

При углах электродов более 30° концентрация тепла происходит на краю сборки, а при малых углах увеличивается площадь контакта и тепло распределяется более равномерно по всей крышке. Угол боковой поверхности ролика может колебаться от 7 до 45°, но для большинства применений он составляет 7–15°. Чтобы улучшить отвод тепла, электро-



Рис. 9. Массивные электроды для герметизации ИС шовно-роликовой сваркой

ды во многих случаях делают массивными (рис. 9).

Настройка сварочного процесса

Основными параметрами процесса шовно-роликовой сварки являются [4]:

- сварочный ток, А;
- усилие сжатия электродов, Н;
- длительность импульсов сварочного тока, с;
- продолжительность пауз между сварочными импульсами, с;
- скорость сварки, мм/с;
- диаметр, ширина рабочей части и угол конусности электродов.

Для установок ОЗКС700-2 ток сварки регулируется в пределах 30–200 А, а для установок фирмы MIYACHI — 50–2500 А при регулировании длительности в диапазоне 0,1–99 мс и шаге 0,1 мс. Качество сварки обеспечивается регулированием амплитуды и длительности сварочного тока, а также степенью перекрытия сварочных точек.

Для ОЗКС700-2 скорость сварки составляет 8–10 мм/с, а для современного оборудования фирмы MIYACHI — 2,5–38 мм/с. Путем регулирования скорости перемещения свариваемой поверхности относительно электродов можно оптимизировать скорость распространения теплового фронта по свариваемому корпусу. Если в процессе герметизации на крышке появляются цвета побежалости, то по ним можно определить, что корпус перегревался в момент сварки. Следовательно, необходимо регулировать параметры процесса сварки. Кроме того, следует иметь в виду, что распространение теплового фронта зависит не только от скорости сварки, но и от мощности сварочного импульса, а также от расстояния между сварными точками.

Для установки ОЗКС700-2 статическая нагрузка на электроды, составляющая 0,5–20 Н, ступенчато регулируется вручную. А для установок фирмы MIYACHI она равна 2,5–50 Н, причем здесь осуществляется плавная сенсорная регулировка. Статическая нагрузка на электроды подбирается в зависимости от размеров корпуса ИС таким образом, чтобы исключить паразитное контактное сопротивление «электрод-крышка» и обеспечить его стабильное значение. Например, для корпуса 401.14-5М шовно-роликовая сварка выполняется при статической нагрузке, равной 0,5 Н.

Заключение

Герметичные и высоконадежные металло-керамические корпуса широко применяются для изготовления микроэлектронных изделий специального применения. Основными факторами, влияющими на качество герметизации металлокерамических корпусов, 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).

Изменяющееся контактное сопротивление в зоне сварки вызывает изменение плотности тока, что приводит к выплескам металла и образованию трещин в сварном шве. Для повышения стабильности качества герметизации корпусов необходимо осуществлять соответствующую настройку параметров установки шовно-роликовой сварки, а также автоматическое регулирование сварочного тока.

Литература

1. Солодуха В. А., Турцевич А. С., Керенцев А. Ф. Металлокерамические корпуса мощных

полупроводниковых приборов. Гомель: УО «ГТУ им. Ф. Скорины», 2010.

2. Tummala R. R., Rymaszewski E. I., Klopfenstein A. E.. Microelectronics Packaging. Handbook: Semiconductor Packaging. New York, 1999.
3. Солодуха В. А., Турцевич А. С., Соловьев Я. А., Керенцев А. Ф. Шовно-роликовая сварка для повышения надежности интегральных микросхем // Материалы 11-й Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка». Минск, 2014.
5. Оборудование для герметизации. www.miyachiunitek.com