

М 281490

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

ТАТАРИНОВ Евгений Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ
И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КОНДЕНСАТОРНОЙ
КОНТУРНОЙ СВАРКИ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОРПУСОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного
производства)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

ТАТАРИНОВ Евгений Александрович

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ
КАЧЕСТВА КОНДЕНСАТОРНОЙ КОНТУРНОЙ СВАРКИ УНИФИЦИРОВАН-
НЫХ КОРПУСОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

(05.04.05 - Технология и машины сварочного производства)

к

Аннотация

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М 281420

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1281420

Татаринев Е.А. Исследования

Работа выполнена в МВТУ имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель -
доцент, к.т.н. КАГАНОВ Н.Л.

Официальные оппоненты:

Д.т.н., проф. ОРЛОВ Б.Д.

К.т.н. НАЗАРОВ Г.В.

Ведущее предприятие - указано в решении Совета

Автореферат разослан " " 1976г.

Защита диссертации состоится " " 1976г.
на заседании Совета

Московского ордена Ленина и ордена Трудового Красного
Знамени высшего технического училища имени Н.Э.Баумана
по адресу: Москва, 107005, 2-я Бауманская, дом 5.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью,
просьба высылать по указанному адресу.

С диссертаций можно ознакомиться в библиотеке Училища.

Ученый секретарь Совета

● ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

М В Т У
им. Н. Э. Баумана
Библиотека

Введение

Актуальность проблемы. В современной технике используется большое количество изделий, при производстве которых приходится сваривать детали из металлов с резко различными теплофизическими свойствами и толщинами. Типичным примером такого изделия является унифицированный корпус полупроводникового прибора, удовлетворяющий требованиям СЭВ и МЭК /Международная электротехническая комиссия/. В СССР начат перевод в такие корпуса всей номенклатуры полупроводниковых приборов средней и большой мощности. В связи с этим, ежегодный выпуск полупроводниковых приборов в унифицированных корпусах будет исчисляться десятками миллионов. Перевод приборов в такие корпуса задерживается из-за отсутствия надёжного и эффективного метода герметизации. При используемой в настоящее время технологии герметизации, основанной на сочетании пайки с конденсаторной контурной сваркой, брак по герметичности корпусов достигает 10%, свыше 35% сварок сопровождается выплесками, а затраты на осуществление герметизации велики.

Цель работы. Целью настоящей работы являлись изыскание и разработка методов повышения качества и эффективности процесса герметизации унифицированных корпусов полупроводниковых приборов на базе разработки процесса конденсаторной контурной сварки в твердой фазе.

Методы исследования. Для количественной оценки прочности контурных соединений корпусов полупроводниковых приборов разработан метод и создана установка для испытаний корпусов на консольный изгиб при непрерывном их вращении. Для изучения деформаций металлов толщиной от 0,4 мм до 2,5 мм в приконтактной зоне использован метод координатных сеток. При исследовании процесса формирования соединений использованы: осциллографирование электрических параметров процесса сварки, металлографический анализ. Оптимизация режимов сварки производилась с помощью планирования эксперимента. При обработке результатов экспериментов использованы методы математической статистики.

Научная новизна. Установлено, что конденсаторная контурная сварка может обеспечить получение высококачественных сварных соединений разнородных металлов в твердой фазе. Для этого при надлежащей подготовке свариваемых поверхностей в контакте должна быть достигнута температура, равная 0,9-0,95 $T_{пл}$ менее тугоплавкого металла, а степень пластической деформации приконтактного слоя толщиной 100 мкм обоих металлов при этой температуре должна превышать 10%.

Практическая ценность. В результате проведенных исследований разработан способ и технология герметизации унифицированных корпусов полупроводниковых приборов, что повысило качество сварных соединений, резко снизило вероятность появления выплесков, уменьшило трудоемкость и стоимость изготовления приборов. Ожидаемый экономический эффект от внедрения разработки составляет 127 тыс. рублей на годовую программу приборов.

Апробация работы. По разработанной технологии герметизации на заводе "Старт" г. Москвы сварено 40 тыс. приборов. По сравнению с существующей технологией брак по герметичности снизился с 10% до 1,5%, процент сварок с выплесками — с 35% до 1,8%, вероятность получения соединений с гарантированной прочностью повысилась с 62,8% до 99,7%.

Основные положения работы доложены на Белорусской республиканской научно-технической конференции по сварке и на научном семинаре кафедры "Машины и автоматизация сварочных процессов" МВТУ имени Баумана.

Объем работы. Диссертация состоит из трех глав, содержит 170 страниц, 60 рисунков и 24 таблицы. В списке используемой литературы 112 наименований.

Глава I. Состояние вопроса, задачи исследования и экспериментально-теоретические предпосылки к их решению.

Условия работы изделий новейшей техники обусловили резкое повышение требований к абсолютным значениям и стабильности показателей качества их сварных соединений, выполняемых контактной сваркой. Наибольшие трудности в получении высокого и стабильного качества сварных соединений возникают при контактной сварке изделий, детали которых выполняются из металлов с резко различными теплофизическими свойствами и толщинами. Типичным примером такого изделия является унифицированный корпус полупроводникового прибора, удовлетворяющий требованиям СЭВ и МЭК.

Конструкция унифицированного корпуса состоит из медного кристаллодержателя толщиной 2,5–3,7 мм и баллона из никелевого сплава 47 НД толщиной 0,4 мм и диаметром отбортовки под сварку 11–14 мм. При существующей технологии герметизации соединение кристаллодержателя с баллоном осуществляется через промежуточное никелевое кольцо толщиной 0,55 мм. При этом процесс герметизации состоит из двух последовательных операций: пайки кристаллодержателя с промежуточным кольцом серебряным припоем ИСР-72 и конденсаторной кон-

турной рельефной сварки баллона с промежуточным кольцом. Согласно статистическим данным, при такой технологии герметизации брак по герметичности сварных контурных соединений достигал 10%, по пайке кристаллодержателя с кольцом -15%. Процент сварок с выплесками достигал 35%. Для оценки стабильности прочностных показателей сварных корпусов необходима методика количественной оценки механической прочности сварных соединений. При разработке такой методики исходными соображениями являлись:

- 1/ методика должна позволять оценивать качество каждого участка сварного соединения вдоль всего его периметра;
- 2/ методика должна быть чувствительной к изменениям режима сварки.

Базируясь на этих соображениях, был разработан способ испытания на консольный изгиб вращающегося корпуса. Схема нагружения предусматривает обкатку баллона прибора под нагрузкой. Прочность сварных соединений оценивалась по количеству циклов нагружения до разрушения корпуса. При опробывании метода было установлено, что результаты испытаний сварных образцов зависят от параметров режима и условий сварки. Относительно небольшие изменения площади провара по контуру соединения или наличие в нем даже незначительных дефектов существенно изменяет число циклов нагружения, которое выдерживает соединение до разрушения. Сопоставление результатов испытаний приборов по заводской методике (на удар, вибрацию, термоциклирование) и по предлагаемой методике позволило принять, что качественными соединениями можно считать соединения, выдержавшие не менее 600 циклов нагружения.

По результатам испытания по предложенной методике 70 сваренных корпусов была построена гистограмма эмпирического распределения циклической прочности и установлена нормальность ее распределения. Расчет статистических параметров показал, что вероятность получения соединений с прочностью более 600 циклов не превышает 62,8%, т.е. недопустима мала.

Низкие показатели качества и стабильности выпускаемых приборов явились причиной нередко наблюдаемых случаев разрушения корпусов и отказа приборов в условиях эксплуатации.

Проведенный анализ существующей технологии позволил прийти к выводу, что от пайки кольца с кристаллодержателем следует отказаться и заменить ее более эффективным и надежным методом герметизации.

Сопоставление технологических особенностей и эксплуатационных свойств различных способов герметизации корпусов полупроводниковых приборов позволил выбрать для герметизации конденсаторную

контурную сварку. Однако, при обычном способе конденсаторной контурной сварки корпусов полупроводниковых приборов с образованием литой зоны возможны выплески, происходящие вследствие доведения части расплавленного металла в сварочном контакте до температуры, значительно превышающей температуру плавления, и отсутствия уплотняющего пояса вокруг литого ядра. Часть выплесков, попадая внутрь корпуса и закорачивая р-п переход, приводят к выходу прибора из строя. Использование различных по форме подогревающих импульсов и повышенных удельных давлений с целью развития участков контактирования по всей поверхности соединения, хотя и снизило вероятность появления выплесков, одновременно привело к снижению прочностных свойств вследствие смещения литой зоны с поверхности сопряжения деталей.

Исходя из указанного, было сделано предположение, что наиболее эффективным средством устранения выплесков является выполнение сварки в твердой фазе с нагревом зоны сварки на 5-10% ниже температуры плавления более легкоплавкого из соединяемых металлов. Поэтому в качестве базового способа герметизации была выбрана конденсаторная сварка в твердой фазе. Однако известно, что по абсолютным значениям и стабильности прочностных показателей соединений контактная сварка в твердой фазе уступает сварке с расплавлением. Дальнейшая работа была направлена на разработку и исследование методов и средств повышения качества конденсаторной сварки в твердой фазе унифицированных корпусов полупроводниковых приборов.

Вопросам сварки в твердой фазе посвящено большое количество работ Рнкалина Н.П., Шоршорова М.Х., Красулина Ю.Л., Алахина В.П., Семенова А.П., Казакова Н.Ф., Horden M.J. и др. Следовало ожидать, что многие закономерности, установленные в этих работах для различных видов сварки в твердой фазе, можно отнести и к конденсаторной сварке в твердой фазе.

При изучении свариваемости различных сочетаний металлов при конденсаторной сварке в твердой фазе необходимо учитывать ее особенности:

1. Короткое время сварки, составляющее доли секунды.
 2. Степень пластической деформации металлов при сварке мала. Для металлов толщиной до 0,5 мм она составляет менее 10% от их толщины.
 3. Нагрев происходит за счет тепла, выделяемого в зоне сварочного контакта при прохождении через него униполярного импульса тока.
- Эти особенности конденсаторной сварки в твердой фазе ограничивают количество сочетаний металлов, которые могут быть успешно

сварены этим способом.

Для изучения свариваемости разнородных металлов при конденсаторной сварке в твердой фазе выбраны металлы, как широко используемые при изготовлении полупроводниковых приборов: медь для изготовления кристаллодержателей, никель, сплав 47НД, сталь Ст 3 для изготовления баллонов, так и металлы, возможные в качестве материала промежуточного кольца — латунь Л63, бронзы БрБ2 и БрА7, никель. Кроме этого для исследования включены металлы: Д16Т, Мб, W и Х18Н9Т, что позволило расширить число сочетаний металлов с резко различными теплофизическими свойствами. Теоретические соображения и результаты предварительных экспериментов позволяли предположить, что при конденсаторной сварке в твердой фазе решающее влияние на свариваемость данного сочетания разнородных металлов оказывает степень пластической деформации приконтактного слоя более твердого из этих металлов при температуре нагрева в зоне сварки, равной 0,9 Тпл менее тугоплавкого металла. Для выявления степени деформации этого слоя был использован метод координатных сеток. На торцовых поверхностях деталей, подлежащих сварке, с помощью микротвердомера ПМТ-3 наносили сетку рисок с размерами 100x200 мкм соответственно в поперечном и продольном направлениях. По данным измерения сеток после сварки образцов выявлялась относительная величина поперечной деформации приконтактного слоя толщиной 100 мкм в процентах. Для оценки степени деформации вольфрама и молибдена при сварке их с медью и сплавом 47НД использован метод реперных точек /отпечатков микротвердости/. Для выявления прочности соединений на аналогичном режиме сваривались образцы из такого же металла и тех же размеров и испытывались на отрыв.

Установлено, что при безрельфной сварке в твердой фазе имеют удовлетворительную свариваемость такие сочетания разнородных металлов, у которых степень пластической деформации приконтактного слоя толщиной 100 мкм более твердого металла при температуре, равной 0,9 Тпл, превышает 10%. Это условие обеспечивается, если при данной температуре нагрева приконтактных слоев сопротивления пластической деформации металлов близки и лежат в пределах 1-3 кг/мм², а удельные электросопротивления отличаются не более чем в 2 раза. Удовлетворительные результаты по свариваемости получены при безрельфной сварке таких сочетаний металлов, как Ст3-Х18Н9Т, Ст3-47НД, 47НД-М. Низкие показатели качества получены при безрельфной сварке сочетаний металлов: W-См, W-47НД, См-Мб, Мб-47НД, 47НД-Д16Т, 47НД-См, 47НД-Л63, М-См.

При сварке меди с другими металлами для повышения локали-

зации тепла в контакте и увеличения пластической деформации металлов в зоне сварки целесообразен рельеф на меди. В этом случае удовлетворительные показатели качества соединений обеспечиваются, если свариваемые с медью металлы имеют при температуре нагрева 0,9 Тпл сопротивление пластической деформации $4-6 \text{ кг/мм}^2$ и соотношение удельных электросопротивлений при этой температуре не превышает 1:7. Удовлетворительные показатели качества при рельефной сварке Cu-M обусловлены высокой степенью деформации при контактного слоя никеля вследствие локализации тепла в контакте и интенсивного радиального течения медного рельефа. Низкие показатели качества получены при рельефной сварке сочетаний металлов: Cu-W , Cu-D16T , Cu-BrB2 , Cu-L63 , Cu-BrA5 , Cu-47HД , Cu-СтЗ , Cu-X18H9T .

Согласно полученным результатам, для осуществления качественного соединения медного кристаллодержателя с баллоном из сплава 47HД необходимо использовать промежуточное никелевое кольцо. В этом случае процесс герметизации прибора будет состоять из двух последовательных операций:

- 1/ рельефной сварки в твердой фазе медного кристаллодержателя с никелевым кольцом;
- 2/ безрельфной сварки в твердой фазе баллона из сплава 47HД с никелевым кольцом.

Глава II. Оптимизация режимов и условий сварки.

Проведенные исследования свариваемости разнородных металлов при конденсаторной сварке в твердой фазе позволили выявить ряд факторов, определяющих качество сварного соединения. Вторая глава посвящена исследованию влияния этих факторов на качество сварки унифицированных корпусов и выявлению их оптимальных параметров и величин.

С целью сохранения применяемых в настоящее время конструкций деталей корпуса оптимизацию режимов и условий рельефной сварки кристаллодержателя с кольцом осуществляли при использовании рельефа на кольце.

При конденсаторной сварке в твердой фазе за счет высоких температур в зоне сварки и удельных давлений более 8 кг/мм^2 процесс образования сварного соединения происходит, в основном, на стадии высокоскоростной активной пластической деформации, которая обеспечивает интенсивное развитие значительной части физического контакта и лавинный выход дислокаций к поверхности раздела. Поэтому расчет режима конденсаторной сварки по выражением, представленным в работах Юрнорса М.Х., Красулина Ю.Л.

и др., не пригоден, поскольку эти выражения определяются скоростью установившейся ползучести.

Для определения требуемой геометрии импульса тока был использован расчетно-экспериментальный метод, разработанный Кагановым Н.Л. В расчетные схемы заложено условие достижения на свариваемых поверхностях деталей температуры, равной 0,9 $T_{пл}$ менее тугоплавкого металла. Формы кривых тока найдены геометрическим построением эквивалентных трапеций.

При выборе никелевого кольца в качестве промежуточной прокладки между медным кристаллодержателем и баллоном из сплава 47НД была использована идея рационального применения эффекта Пельтье. При исследованиях влияния полярности импульса тока на процесс сварки установлено, что при направлении тока от кристаллодержателя к кольцу энергия, выделявшаяся в контакте деталь-деталь, $Q^+ = 360$ дж, а число циклов нагружения до разрушения сварного соединения $M_c = 1500$ циклов; при обратном направлении тока $Q^- = 270$ дж; а $M_c = 150$ циклов.

При сварке баллона с кольцом при направлении тока от баллона к кольцу $Q^+ = 230$ дж, а $M_c = 1400$ циклов; при обратном направлении тока $Q^- = 180$ дж, а $M_c = 640$ циклов.

Поэтому сварка деталей корпуса должна производиться всегда при одном и том же направлении тока: от кристаллодержателя к кольцу и от баллона к кольцу.

Исследовалось влияние длительности действующей части импульса тока и усилия сжатия на процесс формирования соединения на примере сварки баллона с кольцом. Испытания образцов, сваренных при различных длительностях действия тока, а также анализ микрошлифов позволили установить; что процесс формирования соединений практически заканчивается к 30 мс. К этому времени рост прочности соединений, в основном, заканчивается. На большей части стыка исчезает линия раздела. Дальнейшее увеличение длительности действия тока не приводит к ее заметному изменению. Несмотря на малые значения общей деформации металлов, которые к 30 мс не превышают 3,5%, деформация приконтактных слоев достигает большой величины. Так, при усилии сжатия 400 кг к этому времени деформация первого приконтактного слоя 47НД, измеренная на базе 50 мкм, составила 16%, никеля - 14%. Очевидно, деформации металлов, измеренные в приконтактных слоях на меньшей базе, будут достигать еще больших значений. Интенсивная пластическая деформация приконтактных областей способствует тому, что в физический контакт вступает множество атомов, энергетически подготовленных к образованию разно-

образных химических /металлических/ связей. Это приводит к увеличению результирующей скорости химического взаимодействия, что выражается в интенсивном росте прочности. По этой причине прочность соединений при конденсаторной сварке в твердой фазе, предопределяется значением деформации, накопленной за это время. Увеличению металлических связей способствует и термическая активация, обусловленная высокой температурой в зоне сварки /0,9Тпл менее тугоплавкого металла/. Дальнейшее увеличение длительности действия тока не приводит к росту прочности.

Установлено, что развитие физического контакта при сварке 47НЦ-М определяет прочность и длительность формирования соединения. Для изучения развития физического контакта разработана методика, основанная на измерении "холодного" сопротивления на участке деталь-деталь после сварки. По уменьшению контактного сопротивления после сварки можно судить о развитии физического контакта, а следовательно, и о качестве соединения. Процесс формирования соединения зависит от величины усилия сжатия. С ростом усилия сжатия от 250 до 400 кГ растет скорость формирования и прочность соединения. Дальнейшее увеличение усилия сжатия до 800 кГ приводит к уменьшению скорости формирования соединения, площади физического контакта и прочности. Такой характер зависимости прочности от усилия сжатия связан с тем, что при увеличении усилия сжатия свыше определенной величины в результате снижения роли контактного сопротивления в тепловыделении зона максимального нагрева смешивается со стыком, что ухудшает условия формирования соединения и приводит к уменьшению показателя прочности. Экспериментально найденные значения усилий сжатия, обеспечивающие приемлемые показатели качества за время 50-70 мс, для сварки баллон-кольцо лежат в пределах 250-500 кГ, для сварки кристаллодержатель-кольцо - в пределах 250-300 кГ. Соответствующие этим усилиям удельные давления составляют 8,3-16,6 кГ/мм² и 8,3-10,0 кГ/мм², что значительно превышает рекомендуемые удельные давления /1,0-2,5 кГ/мм²/ при сварке давлением с подогревом. Сварка деталей корпуса за время 50-70 мс не приводит к нагреву активных элементов полупроводникового прибора выше максимально допустимой температуры.

Неблагоприятное влияние на равномерность распределения давления по контуру соединения оказывает часто наблюдаемая неодинаковая толщина свариваемых деталей по контуру в местах сварки. Для уменьшения влияния этой причины снижения качества соединений применены "плавающие" электроды.

При сварке деталей корпуса, выполненных из металлов с резко

различными теплофизическими свойствами, одним из возможных методов локализации тепла в свариваемом контакте является использование никелевых покрытий. Исследовано влияние химического, матового и блестящего гальванических никелевых покрытий различной толщины. В результате исследований установлено, что с ростом толщины химического и гальванического матового покрытий, благодаря уменьшению отвода тепла в медный образец и увеличению омического сопротивления покрытий увеличивается тепловыделение в зоне сварки и создаются более благоприятные условия для пластической деформации приконтактных слоев металлов и формирования соединений. Так, например, при использовании гальванического матового покрытия толщиной 2 мкм степень деформации рельефа на никелевом кольце при сварке составила около 45%, а прочность соединений — 600 циклов. При использовании такого же вида покрытия толщиной 24 мкм степень деформации рельефа — 67%, а прочности — 4200 циклов. Более прочные соединения получаются при использовании химического покрытия вследствие более высокого удельного сопротивления покрытия. При использовании гальванического блестящего покрытия сварка полностью отсутствует из-за сплошной цепочки непровара в стыке, вызванной органическими добавками в покрытие. При сварке баллона из сплава 47НД и никелевого кольца использование химического и гальванического матового покрытий приводит к снижению тепловыделения в зоне сварки и прочности соединений, что обусловлено меньшим удельным сопротивлением покрытий по сравнению со сплавом 47НД.

Выявление оптимальных условий подготовки поверхности сводилось к следующему:

1/ к оценке роли окисной пленки и выбору способов ее удаления до сварки и в процессе сварки;

2/ к изучению влияния степени шероховатости соединяемых поверхностей на механические свойства соединения.

Установлено, что тонкие окисные пленки, образовавшиеся на деталях на открытом воздухе при комнатной температуре, не оказывают существенного влияния на качество соединения. При сварке значительные деформации деталей в приконтактной зоне способствуют разрушению этих пленок. При напайке термокомпенсатора на кристаллодержатель, предварительно сваренного с кольцом, на воздухе при температуре 180–270°C на поверхности кольца образуется толстая окисная пленка. Средняя прочность соединений баллона с кольцом, сваренных при наличии этой окисной пленки, не превышает 660 циклов, а относительная прочность соединений, характеризующая разброс

прочности относительно среднего значения, составляет 240%. Установлено, что наиболее эффективным средством устранения неблагоприятного влияния окисных пленок является применение рационального метода механической очистки. Было исследовано 6 методов механической очистки. Это – картовка стальной щеткой, ультразвуковая очистка, шлифовка, обработка на абразивных шкурках с разным классом обработки, полировка, позволявшие получать микровыступы с высотой от 0,5 до 10 мкм. Наиболее высокие и стабильные показатели прочности достигнуты при шлифовке и зачистке абразивными шкурками разного класса, позволяющими получать микровыступы со средней высотой от 3 до 10 мкм. Предварительная полировка приводит к некоторому увеличению контактного сопротивления на участке деталь-деталь и степени его разброса относительно среднего значения. При сварке образцов с полированными контактными поверхностями незначительная деформация пологих микровыступов является причиной снижения прочности соединений на 20–25% по сравнению с использованием шлифовки и обработки абразивными шкурками.

Для выбора оптимальных режимов сварки использован один из математических методов планирования эксперимента – метод Бокса-Уилсона. Оптимизация параметров режима сварки позволила повысить прочность сварных соединений в 2,6–2,7 раза по сравнению с прочностью, получаемой до оптимизации режимов сварки.

Однако, сварка корпусов в производственных условиях показала, что, вследствие нестабильности размеров и формы применяемого рельефа на никелевом кольце, возможно получение некачественных соединений. Поэтому дальнейшие исследования были направлены на выявление наиболее приемлемой формы и местоположения рельефа при сварке, что позволило бы, наряду с уменьшением трудностей при его изготовлении, обеспечить достаточно высокую прочность соединений при возможных отклонениях формы. Для исследований было выбрано 6 типов рельефов: 3 типа на никелевом кольце и 3 типа на медном кристаллодержателе.

Как показали результаты испытаний образцов, сваренных с использованием всех типов исследуемых рельефов, наиболее целесообразно располагать рельеф на медном кристаллодержателе. При таком расположении рельефа зона максимального нагрева смещается к поверхности сопряжения деталей и создаются условия для совместной пластической деформации обеих деталей.

Из параметров рельефа наиболее сильное влияние на качество соединения оказывает его высота. С ростом высоты рельефа увеличивает-

ся температура в зоне контакта и создаются более благоприятные условия для пластической деформации рельефа. При недостаточной высоте рельефа по истечении небольшой части импульса сварочного тока возможны случайные соприкосновения участков свариваемых деталей за пределами рельефа. Рациональная геометрия рельефа на медном кристаллодержателе характеризуется шириной основания 0,42 мм, высотой 0,25 мм и углом скоса 60° .

Глава III. Разработка технологии и результаты производственного применения.

На основе проведенных исследований разработана технология сварки унифицированных корпусов КД-14, КД-15 и КД-16, проведена модернизация электрической схемы сварочной машины МТК-8002.

Важной задачей повышения качества сварки корпусов являлась разработка оперативного метода контроля за ходом процесса герметизации, позволяющего через короткие интервалы времени /15-20 мин/ выявлять степень его стабильности и своевременно вносить необходимые коррективы в этот процесс. Для осуществления оперативного контроля использована установка для испытаний сварных корпусов на изгиб при непрерывном их вращении /гл. I/. В производственных условиях периодически через каждые 15-20 мин из партии сваренных корпусов отбираются 3-5 корпусов и подвергаются испытаниям на указанной установке. Если в результате испытаний один или несколько приборов выдерживают менее 600 циклов нагружения, то процесс сварки приостанавливается, выясняются причины снижения прочности соединений и принимаются соответствующие меры к устранению этих причин. Приборы, выдержавшие испытания, считаются годными и направляются дальше по технологическому маршруту. Разработанные на основе проведенных исследований технология герметизации унифицированных корпусов полупроводниковых приборов и оперативный метод контроля доведены до производственного применения.

ВЫВОДЫ

1. Высокие и стабильные показатели прочности и герметичности соединений унифицированных корпусов полупроводниковых приборов при минимальной вероятности возникновения выплесков и допустимом нагреве активных элементов достигаются при использовании конденсаторной сварки в твердой фазе с нагревом металлов в зоне сварки до температуры, равной 0,9-0,95 температуры плавления более легкоплавкого металла.

2. Для достижения удовлетворительного качества конденсаторной контурной сварки в твердой фазе унифицированных корпусов необходи-

мо использование:

а/ промежуточного никелевого кольца, при этом процесс герметизации состоит из двух операций:

- конденсаторной рельефной сварки в твердой фазе медного кристаллодержателя с никелевым кольцом;

- конденсаторной безрельфной сварки в твердой фазе баллона из сплава 47НД с никелевым кольцом;

б/ полезного действия эффекта Пальтье; сварка деталей корпуса должна производиться всегда при одном направлении тока: от кристаллодержателя к кольцу и от баллона к кольцу;

в/ рациональной геометрии рельефа на медном кристаллодержателе, характеризуемой шириной основания 0,42 мм, высотой 0,25 мм и углом склоа 60° ;

г/ оптимальной геометрии импульса сварочного тока и величины усилия сжатия, характеризуемыми

- при сварке кристаллодержателя с промежуточным кольцом: амплитудой импульса тока $-45 \pm 48,5$ кА, количеством электричества -1640 ± 1780 К, временем нарастания тока -8 ± 10 мс, скоростью нарастания -4800 ± 5000 кА/с, общей длительностью действия тока -40 мс и усилием сжатия электродов -300 ± 360 кГ;

- при сварке баллона с промежуточным кольцом: амплитудой импульса тока $-21,6 \pm 23,8$ кА, количеством электричества -1050 ± 1180 К, временем нарастания тока -15 ± 18 мс, скоростью нарастания -2200 ± 2300 кА/с, общей длительностью действия тока -75 мс и усилием сжатия электродов -400 ± 500 кГ;

д/ механизированной зачистки от окислов промежуточного кольца перед его сваркой с баллоном; рекомендуемая средняя высота микрорельефов поверхности после обработки лежит в пределах от 3,0 до 10 мкм;

е/ гальванического матового никелевого покрытия толщиной 8 мкм на медном кристаллодержателе перед его сваркой с промежуточным кольцом.

3. Целесообразным методом оценки качества контурных соединений унифицированных корпусов является испытание на знакопеременный изгиб при непрерывном вращении корпусов. Этот метод использован в производственных условиях для оперативного контроля качества сварки.

4. Для оптимизации режимов сварки целесообразно использование математического планирования эксперимента по методу Бокса-Уилсона.

5. Удовлетворительную свариваемость при конденсаторной кон-

турной безрельфной сварке в твердой фазе имеют такие сочетания металлов, у которых при надлежащей подготовке свариваемых поверхностей температура в контакте равна 0,9–0,95Тпл менее тугоплавкого металла, а степень пластической деформации приконтактного слоя толщиной 100 мкм обоих металлов при этой температуре превышает 10%. Такая деформация обеспечивается, если при указанной температуре нагрева сопротивления пластической деформации свариваемых металлов близки и лежат в пределах 1–3 кГ/мм², а их удельные электросопротивления отличаются не более чем в 2 раза.

6. При конденсаторной контурной рельефной сварке в твердой фазе меди с другими металлами целесообразно наличие рельефа на меди. Удовлетворительные показатели качества соединений при этом достигаются, если свариваемые с медью металлы имеют при температуре нагрева, равной 0,9 Тпл, сопротивление пластической деформации 4–6 кГ/мм², а удельные электросопротивления^{их} отличаются не более чем в 7 раз.

7. Достижение приемлемого качества соединений при конденсаторной сварке в твердой фазе за время 50–80 мс обеспечивается в результате использования удельных давлений более 8 кГ/мм² при температуре в сварочном контакте, равной 0,9 Тпл менее тугоплавкого металла.

8. Локальный нагрев зоны сварки предопределяет сосредоточение пластической деформации в узком приконтактном слое соединяемых металлов. Благодаря этому степень деформации металлов толщиной менее 0,5 мм не превышает 10%.

9. По предложенной технологии герметизации сварено 40 тыс. приборов. По сравнению с существующей технологией брак по герметичности снизился с 10% до 1,5%, процент сварок с выплесками с 35% до 1,8%, вероятность получения соединений с гарантированной прочностью повысилась с 62,8% до 99,7%.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Каганов Н.Л., Татаинов Е.А. Методика оценки качества конденсаторной контурной сварки корпусов полупроводниковых приборов. "Известия вузов. Машиностроение", №4, 1975г.

2. Каганов Н.Л., Татаинов Е.А. Конденсаторная контурная сварка корпусов полупроводниковых приборов. "Известия вузов. Машиностроение", №8, 1975г.

3. Каганов Н.Л., Татаинов Е.А. О свариваемости разнородных металлов при конденсаторной сварке в твердой фазе. Общ. механизация и автоматизация сварочного производства. Могилев, 1975.

