

УДК 621.791.3

DOI: 10.36845/2073-8250-2020-259-4-37-42

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ПАЙКОЙ РАЗЪЁМОВ В КОРПУСАХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ СВЧ МОДУЛЕЙ. ПРОБЛЕМЫ И ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕШЕНИЯ

А.С. Соневицкий, В.С. Жуков

АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

Рассмотрена разработанная и внедренная на предприятии АО «НПП «Пульсар», перспективная технология герметизации запаиванием оловянно-свинцовым припоем токопередающих элементов: разъёмов, соединителей, выводов и др. элементов используемых в современных твердотельных СВЧ модулей. Рассмотрены преимущества и недостатки представленного метода, схемы конструкций используемых в данном методе.

Ключевые слова: герметичность, корпус блока, припой, соединитель, флюс, пайка, смачивание, поверхностное натяжение, запаивание

Сведения об авторах: Соневицкий Анатолий Степанович, sonevickij_as@pulsarnpp.ru; Жуков Виктор Сергеевич

SOLDER SEALING OF CONNECTORS IN SOLID-STATE MICROWAVE MODULES. PROBLEMS AND SOLUTIONS

A. S. Sonevitskiy, V. S. Zhukov

S&PE Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy pr., 27

This article presents the study of a promising technology utilizing the tin-lead solder for the sealing of current-transmitting components of modern solid-state microwave modules: connectors, leads and others. This technology was developed and implemented at the S&PE Pulsar JSC. The article highlights the advantages and disadvantages of the technique, presents the diagrams of the structures used.

Keywords: tightness, module case, solder, connector, flux, soldering, wetting, surface tension, sealing

Data on author: Sonevitskiy Anatoliy Stepanovich, sonevickij_as@pulsarnpp.ru; Zhukov Viktor Sergeevich

В число важнейших задач, решаемых при разработке и последующем производстве современных твердотельных СВЧ модулей, входит обеспечение надежной герметичности конструкции, т.к. известно, что одной из причин отказов элементной базы, входящей в состав современных твердотельных СВЧ модулей, является наличие влаги в корпусе.

Поверхностные утечки тока, коррозия межвыводных соединений и металлизации на платах начинает интенсивно протекать при влажности уже в 1,5%, а коррозия алюминия, повсеместно используемого в качестве конструкционного материала, начинается при влажности уже в 1% [1]. Следовательно, чтобы не допустить проникновения влаги в корпус модуля, конструкции всех соединителей, разъёмов, переходов, выводов и других элементов блока, передающие рабочие электрические сигналы в блок и за пределы блока, должны быть герметичными и герметично монтироваться в корпус.

Один из способов герметичной установки токопередающих элементов в корпус – установка в корпус блока с запаиванием припоем, герметичного нанесения расплавленного припоя на сопрягаемые поверхности монтируемого элемента и корпуса. Такое запаивание можно обеспечить соединителям, конструкции которых разработаны под установку с механическим креплением в корпусе, т.е. вкручиванием по резьбе (на соединителе нанесена резьба для вкручивания в корпус) или запрессовываем. Между корпусом соединителя и корпусом блока, припоем формируется герметичный шов, назначение которого – герметизация узла крепления.

В работе будет рассмотрена методика качественного, герметичного запаивания

устанавливаемых в корпуса СВЧ модулей токопередающих элементов, на примере широко используемых в изделиях АО «НПП «Пульсар» соединителей радиочастотных коаксиальных СРГ-50-884ФВ.

Рассматриваемый нами соединитель, конструктивно состоит из стального трубчатого корпуса с наружной поверхностью изменяющегося диаметра. На этой поверхности выполнены проточки для использования гаечного ключа и нарезаны резьбы. Резьба с одного конца предназначена для вкручивания соединителя в корпус блока при его монтаже, а с другого, для навинчивания кабельной вилки. Внутри корпус заполняет фторопласт, изолирующий токопроводящую жилу, проходящую по центральной оси корпуса соединителя. Часть корпуса, не вступающая в контакт с кабельной вилкой при её накручивании, покрыта сплавом олово-висмут, хорошо смачиваемым оловосодержащими припоями.

Для установки соединителя в корпус блока с качественным, герметичным запаиванием необходимо выполнить определённые требования:

1. Необходимо подобрать припой, который, с одной стороны, не будет плавиться при нагреве блока во время его эксплуатации, а с другой стороны, нагрев до температуры плавления припоя не будет повреждать соединитель и покрытие корпуса блока.

2. Для образования качественного шва при запаивании необходимо, чтобы контактируемые с припоем поверхности соединителя и корпуса блока хорошо смачивались припоем и соприкасались между собой.

3. Технология запаивания должна обеспечить формирование визуально гладкого, без пор, раковин, трещин герметичного шва.

Рассмотрим выполнение выше указанных требований применительно к нашему примеру.

Учитывая требования пункта один, следует отметить, что элементная база, входящая в конструкции разрабатываемых и изготавливаемых в АО «НПП «Пульсар» блоков, исправно функционирует до температуры нагрева, как правило, не выше +60°C. Технические условия ВРО.364.039 ТУ, по которым производят рассматриваемые нами соединители, указывают, что их разрешено применять при температуре до +155°C. Исходя из этого, чтобы не повредить при запаивании соединитель и покрытие О-Ви, которое наносится на корпуса блоков для улучшения СВЧ характеристик, а также избежать расплавления припоя во время эксплуатации блока, используется припой, наиболее подходящий по температуре плавления. В данном случае используют оловянно-свинцовый припой ПОСК 50-18, ГОСТ21931-76 (температура начала плавления 142°C, температура полного расплавления 145°C) [2].

Рассматривая требования пункта два, следует отметить, что корпуса всех используемых нами соединителей имеют покрытия, хорошо смачиваемые оловянно-свинцовыми припоями (О-Ви, Ni). Покрытие О-Ви также наносится на корпуса блоков для улучшения СВЧ характеристик. Это позволяет применять для запаивания, указанный выше припой ПОСК 50-18.

При выполнении пункта три, наиболее простой и доступной выглядит классическая технология пайки в электропечи. Соединители вкручиваются в корпус, укладывается необходимое количество припоя с флюсом, корпус устанавливается в печь и нагревается до температуры плавления припоя. Теоретически метод выгоден тем,

что он позволяет запаивать соединители в нескольких корпусах блоков, количество корпусов ограничивается только объемом электропечи. Но этот метод не нашел применения, т.к. не удалось получить качественные спаи.

Мы отработывали технологию запаивания в электропечи, используя макеты стенок корпуса в виде дюралевых пятаков с резьбовым отверстием, покрытые О-Ви. В пятаки вкручивали и запаивали вышедшие из строя соединители. Были произведены пайки с различной дозировкой припоя и флюса, использовались разные марки флюса, пайки производились при температуре 150°C, с выдержками различной продолжительности, но получить качественные поверхности спаев не удалось. Даже при получении герметичного спаивания его внешний вид, практически всегда, не соответствовал ГОСТ 24715-81 «Соединения паяные. Методы контроля качества». На поверхности шва присутствовали поры, раковины, шов имел неровную, шероховатую поверхность. Вероятно, к образованию пор и раковин в поверхности спаивания приводит протекание расплавленного припоя в неконтролируемые зазоры между поверхностью корпуса и поверхностью вкрученного в корпус соединителя.

Согласно статической теории жидкостей, находящихся на поверхности твердого тела, растекание жидкостей и смачивание ими поверхности твердого тела сопровождается увеличением поверхности и происходит в результате работы преодоления сил поверхностного натяжения. Эта работа совершается разностью давлений между вогнутой и выпуклой стороной поверхности смачивающей жидкости:

$$A = \sigma \Delta S, \quad (1)$$

где A – работа преодоления сил поверх-

ностного натяжения; σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с газовой средой; ΔS – приращение поверхности припоя при его расплавлении.

Из формулы (1) видно, чтобы припой растёкся при его расплавлении, необходимо преодолеть поверхностное натяжение на границе с газовой средой после перехода его в жидкое состояние. Чем больше поверхностное натяжение, тем большая работа требуется для его растекания:

$$\Delta S = A / \sigma \quad (2)$$

где A – работа преодоления сил поверхностного натяжения; σ – поверхностное натяжение жидкости на границе с газовой средой; ΔS – приращение поверхности припоя при его расплавлении.

При повышении температуры блока корпуса до температуры плавления припоя, полученная при этом энергия совершает работу по расплавлению припоя и разрушению поверхностного натяжения расплава (1). Припой растекается, затекает в зазоры, и чем больше зазор, тем дольше он будет затекать, одновременно с этим энергия расходуется на работу по увеличению площади пятна спая [2]. Предположительно, пятно спая приобретает определённую площадь, при которой, энергии получаемой при нагреве уже не хватает на разрушение поверхностного натяжения поверхности пятна, стенок воронок, пор и раковин, образованных при затекании припоя в большие зазоры и эти дефекты сохраняются при последующем охлаждении корпуса.

Нами опробован и внедрён способ, который гарантирует высокое качество запаивания без нагрева до температуры, приводящей к разрушению покрытия корпуса и выходу из строя соединителя.

В корпус блока, в посадочные места, монтируются соединители, и корпус на-

гревается в электропечи до температуры, на 3-5 градусов ниже температуры плавления припоя. Далее, чтобы свести время запаивания к минимуму, корпус извлекается из печи и устанавливается на нагревательное устройство (например, электроплиту), помещённое в короб, изготовленный из теплоизоляционного материала. Короб необходим, чтобы обезопасить от ожогов работника, уменьшить теплоотдачу корпуса блока и замедлить его охлаждение. Нагревательное устройство предназначено, также, не допустить или максимально замедлить остывание корпуса. Мощность нагревательного устройства, в идеале, должна обеспечить поддержание температуры корпуса блока, извлеченного из печи. Но мощность, при этом, не должна быть избыточной и приводить к дальнейшему нагреванию корпуса, во избежание разрушения соединителя.

Запаиваемый соединитель или соединители размещаются сверху корпуса (рис. 1).

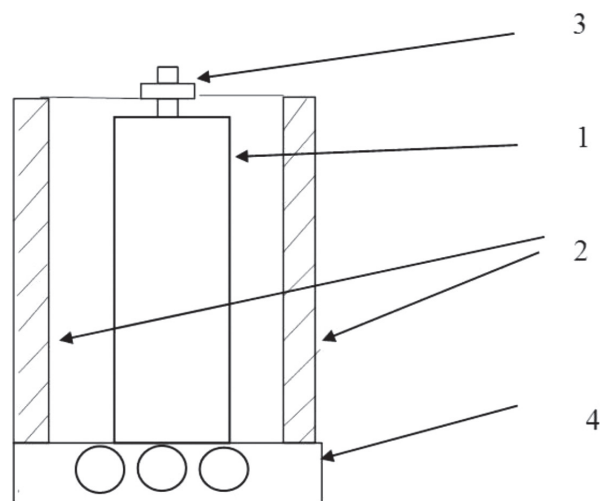


Рис. 1

Размещение корпуса блока на электроплите для запаивания соединителя:

1 – корпус блока; 2 – теплоизоляционный короб; 3 – вкрученный соединитель; 4 – электроплита

Затем, в зону формируемого шва, вручную, подаётся флюс и припой (трубка с канифолью ГОСТ 21931-76) и зона локально нагревается другим нагревательным устройством, например промышленным электрическим феном, газовой горелкой и др. (рис. 2). Флюс и припой можно укладывать на место формируемого шва до нагрева корпуса в печи, но для этого необходимо отработать дозировку флюса и припоя для каждого типа соединителей.

Устройство для локального нагрева позволяет увеличивать температуру нагрева только зоны запаивания. Удалением или приближением сопла устройства нагрева к поверхности нагрева или регулировкой мощности устройства можно доводить температуру зоны нагрева до температуры плавления припоя и, визуально контролируя, поддерживать её с высокой точностью, недоступной при других способах нагрева. Это позволяет не перегреть соединитель.

Когда температура в зоне локального нагрева достигает температуры плавления припоя, и он начинает растекаться, шов спая формируется вручную жалом электропаяльника, путём распределения припоя по поверхности корпуса и соединителя, устраняя (сглаживая) дефекты и добиваясь высокого качества спая. Мощность паяльника, в данном случае, значения не имеет. Паяльник используется как рабочий инструмент, не охлаждающий расплавленный припой. Для быстрого распределения припоя при формировании спая, подбираются удобные размер и форма жала.

Благодаря визуальному контролю всех этапов процесса и возможности его корректировки на всех стадиях, мы легко формируем шов высокого качества, с идеально гладкой и ровной поверхностью без пор, раковин, шероховатостей.

Изготовители, выполняющие аналогичные работы используют метод нагрева корпуса, исключив применение электропе-

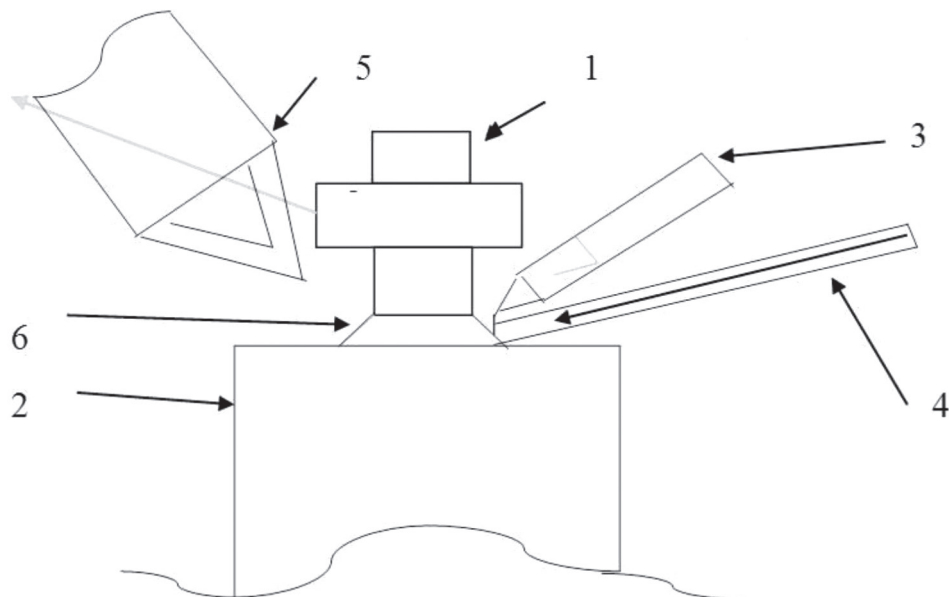


Рис. 2

Запаивание соединителя, установленного в корпус:

*1 – вкрученный соединитель; 2 – корпус; 3 – жало паяльника; 4 – трубка припоя с флюсом;
5 – газовая горелка; 6 – формируемый шов*

чи. Корпус помещают между двумя специально изготовленными нагревателями с регулируемой мощностью и нагревают до температуры, близкой к температуре плавления припоя как показано на рис. 3. Далее производится формирование шва вручную способом, показанным на рис. 2.

Преимущество такого приспособления в том, что не требуется перемещение горячего корпуса из печи на нагревательное устройство. Наличие в расположенной снизу, теплоизоляционной плите, необходимых технологических углублений позволяет запаивать соединители с противоположных сторон. Приспособление повышает безопасность процесса, но позволяет работать с корпусами только одного размера.

Для предотвращения возможного перегрева корпуса и соединителя целесообразно установить датчики, регистрирующие их температуру, но нами это пока не реализовано.

В результате проведённых работ мы убедились, что метод с локальным нагревом места установки и запайки соединителя и ручным формированием шва, является оптимальным и был внедрён на предприятии.

Литература

1. Коваленко, А.А. Влага в корпусах полупроводниковых приборов и микросхем / А.А. Коваленко, А.А. Теверовский, Г.И. Епифанов // *Обзоры по электронной технике. Серия 2. Полупроводниковые приборы.* – М.: ЦНИИ «Электроника», Выпуск 2(858), 1982.
2. *Справочник по пайке* / Под ред. С.Н. Лоцманова, И.Е. Петрунина, В.П. Фролова. – Москва: Машиностроение, 1975. – 407 с.
3. Калининченко, Н.П. *Атлас дефектов паяных соединений: учеб. пособие* / Н.П. Калининченко, М.О. Викторова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 83 с.
4. *Руководство по пайке металлов (подготовлено комитетом пайки американского общества сварщиков)* / под ред. С.Н. Лоцманова. – Москва: Оборонгиз, 1969. – 191 с.

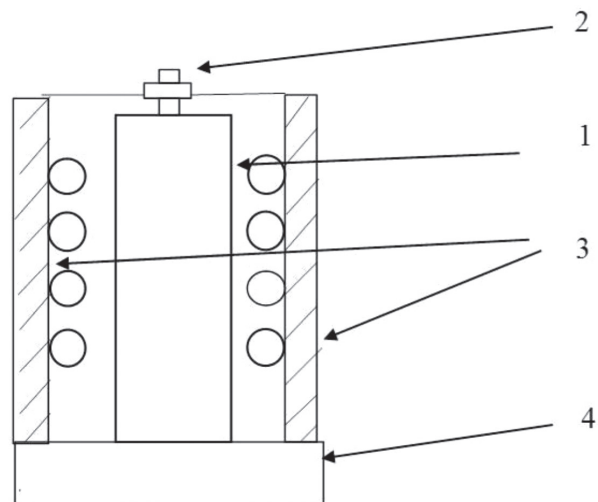


Рис. 3

Размещение корпуса блока в приспособлении для нагрева корпуса:

- 1 – корпус; 2 – вкрученный соединитель;
3 – приспособление для нагрева корпуса;
4 – теплоизоляционная плита

Эта технология обеспечивает 100% качество запаивания. При её применении нет необходимости в проверке шва на герметичность. Дефекты, приводящие к не герметичности спая, легко определить визуально и не допустить их возникновения или ликвидировать при формировании шва.

References

1. Kovalenko A. A., Teverovskiy A. A., Epifanov G. I. Vлага v korpusakh poluprovodnikovyykh priborov i mikroskhem [Moisture in cases of semiconductor devices and microcircuit]. *Reviews on electronic engineering. Series 2. Semiconductor devices*, Moscow, TsNII Elektronika, 1982, iss. 2(858).
2. *Handbook on soldering*. Ed. Lotsmanov S. N., Petrunin I. E., Frolov V. P., Moscow, Mashinostroyeniye, 1975, 407 pp.
3. Kalinichenko N. P., Viktorova M. O., *Atlas defektov payanykh soyedineniy* [Solder joints defect atlas], a manual. Tomsk, Tomsk Polytechnic University, 2012, 83 p.
4. *Soldering Guide to Metals* (by the Soldering Committee of the American Welding Society). In Russian, ed. Lotsmanov S. N., Moscow, Oborongiz, 1969, 191 p.