УДК 621.382-213

DOI: 10.36845/2073-8250-2019-255-4-65-72

СПОСОБЫ ГЕРМЕТИЗАЦИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОРПУСОВ СВЧ МОДУЛЕЙ

А.С. Соневицкий, В.С. Жуков

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

Описаны существующие способы герметизации крупногабаритных корпусов СВЧ модулей и способы, разработанные и применяемые в АО «НПП «Пульсар». Рассмотрены их преимущества и недостатки. Приведены принципиальные схемы конструкторских решений, используемых для обеспечения герметичности крупногабаритных корпусов в АО «НПП «Пульсар», с анализом их положительных и отрицательных аспектов.

Ключевые слова: герметичность, способы герметизации, вакуумплотное соединение, индиевая проволока, резиновая прокладка, уплотнение, корпус блока, канавка

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

METHODS OF SEALING THE PACKAGES OF LARGE-SIZED MICROWAVE MODULES

A.S. Sonevitskiy, V.S. Zhukov

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

This paper reviews the conventional methods of package sealing for the large-sized microwave modules and the methods developed and used at S&PE Pulsar. Advantages and disadvantages of these methods are described. Design concepts for sealing the large-sized module packages used at S&PE Pulsar are presented and an estimation of their effectiveness is given.

Keywords: sealing capability, sealing methods, leak-tight connection, indium wire, rubber gasket, seal, package, groove

Authors: Sonevitskiy Anatoly Stepanovich, sonevickij_as@pulsarnpp.ru; Zhukov Viktor Sergeevich

Одним из ключевых направлений инновационного развития перспективных систем радиолокации, навигации и связи является замещение вакуумных источников излучения сигналов твердотельными транзисторными СВЧ усилителями мощности. Достижимая в рамках этих работ миниатюризация создаваемых изделий последовательно привела к повсеместному применению в её составе бескорпусных комплектующих изделий, что возможно только при надёжной общей герметизации создаваемой аппаратуры. Таким образом, в число важнейших задач, решаемых при разработке и последующем производстве современных твердотельных СВЧ модулей, входит и обеспечение надёжной герметичности используемой конструкции.

В статье рассмотрены основные варианты решения задачи обеспечения герметичности крупногабаритных корпусов твердотельных СВЧ модулей с большим количеством рабочих элементов.

Способы герметизации, применяемые при изготовлении СВЧ модулей с крупногабаритными корпусами блоков

Известно, что одной из причин отказов элементной базы, входящей в состав современных твердотельных СВЧ модулей, является наличие влаги в корпусе. При этом потери, вызванные отказами элементной базы из-за неудовлетворительного качества герметизации, значительно превосходят затраты, связанные с увеличением надёжности герметизации и качества корпусов. Поверхностные утечки тока, коррозия межвыводных соединений и металлизации на платах начинают интенсивно протекать при влажности уже в 1,5 %, а коррозия

алюминия, повсеместно используемого в качестве конструкционного материала, начинается при влажности уже в 1 % [1].

Проблемы обеспечения герметичности давно и успешно решены в вакуумной технике, но использованные там конструкции вакуумплотных соединений невозможно просто скопировать при решении вопросов герметичности корпусов СВЧ модулей. К модулям предъявляются жёсткие требования по ограничению массы и габаритов, поэтому все конструкции выполняются максимально облегчёнными, тонкостенными усиленными ребрами жесткости, со строго дозированным использованием крепёжных элементов. При этом модули эксплуатируются в условиях вибраций, больших перепадов температуры и внешнего давления. В результате возможны слабовыраженные трудновывяемые деформации деталей корпусов, что приводит к размыканию и сдвигам соприкасающихся поверхностей корпуса и крышки.

Учитывая эти моменты, разработаны оригинальные конструкции меньших габаритов, сохраняющие надёжность и долговечность их работы.

Выбор способа герметизации крупногабаритного корпуса с большим количеством рабочих элементов определяется условиями эксплуатации, конструкцией корпуса, применяемыми материалами и покрытиями, требованиями к электрическому монтажу. К таким способам относятся:

- герметизация пайкой;
- герметизация лазерной сваркой;
- герметизация индиевой проволокой;
- герметизация резиновыми прокладками.

Герметизация пайкой

Этот метод применяется для герметизации корпусов, изготавливаемых из алюминиевых сплавов, с дальнейшим покрытием сплавом олово-висмут. Соединяемые поверхности облуживаются, между корпусом и крышкой размещается резиновое уплотнение. Рядом с уплотнением укладывается стальная проволока с выводом концов за пределы блока, а стык крышки и корпуса запаивается. Резиновое уплотнение обеспечивает герметичность при запаивании и препятствует попаданию в корпус флюса и паров припоя. Откачка внутреннего объема корпуса производится через специальную обжимаемую трубку (штенгель). Вскрытие блока производится разрезанием слоя припоя проволокой при её вытягивании за концы.

Недостатком этого метода является то, что при многократном вскрытии и пайке покрытие олово-висмут стирается, что делает невозможным более чем 3-4-кратное количество вскрытий. Кроме того, узел герметизации занимает в конструкции корпуса относительно большой объём, а сама процедура герметизации требует значительных трудозатрат.

Герметизация лазерной сваркой

Применяется при использовании корпусов из материалов, при сваривании которых удаётся получить прочный герметичный шов (сталь, титан). Герметизация осуществляется привариванием к корпусу крышки.

Главным достоинством этого решения является отсутствие необходимости использования при герметизации корпуса винтов, а также каких-либо прокладок, что помогает минимизировать размеры конструкции.

Тем не менее способ герметизации лазерной сваркой не нашёл широкого применения. Главной причиной является то, что вскрытие блоков происходит путём механического снятия сварного шва, а это ограничивает ремонтпригодность блока из-за ограниченных размеров поверхностей, предназначенных для формирования шва. Практика показала, что вскрыть и заварить блок можно не более 4-5 раз. При этом механическое снятие шва часто приводит к попаданию металлической стружки на бескорпусные элементы внутри изделия и может вызывать их отказ. Этот метод целесообразен в случаях, когда нет других путей решения поставленной задачи.

Герметизация индиевой проволокой

В конструкцию, в канавку, между соединяемыми винтами корпусом и крышкой помещают прокладку в виде проволоки из индия диаметром 1-2 мм. При выполнении процедуры герметизации винты затягиваются, прижимая крышку к корпусу, а пластичный металл проволоки относительно легко деформируется, создавая хорошее вакуумплотное соединение.

Условием непроницаемости этого герметичного соединения является сохранение контактного давления между уплотняющей прокладкой и соприкасающимися поверхностями.

Несмотря на очевидность и отработанность в вакуумной технике, этот метод имеет свои ограничения. Они связаны с тем, что в случае эксплуатации изделия при вибрации и перепадах температуры весьма вероятна деформация деталей изделия, что приводит к размыканию и сдвигам соприкасающихся поверхностей корпуса и крышки, нарушению контактного давле-

ния элементов корпуса на индиевую прокладку и разгерметизации изделия. В этих случаях прокладка из индия не всегда может обеспечить надёжную герметизацию.

Герметизация резиновыми прокладками

На данный момент – это наиболее перспективный способ герметизации крупногабаритных СВЧ модулей. Он экономичен, не требует применения дорогих материалов и сложного специализированного оборудования.

Обеспечение герметичности

При использовании резиновых прокладок уплотнение достигается действием упругих деформаций резины. Давление на прокладку со стороны корпуса и крышки при креплении крышки к корпусу деформирует прокладку, и возникающее упругое

противодействие резины плотно прижимает её к деталям корпуса. Для вакуумного уплотнения прокладка должна сжиматься на определённую долю её начальной высоты, и эта степень сжатия меняется в зависимости от твёрдости резины и может колебаться от 20 до 40 % [2]. Превышение допустимых значений деформации прокладки приводит к ускоренному старению резины, вызывающему потерю эластичности, необратимое изменение формы, разрушение (расслаивание и растрескивание) поверхности, и, как следствие, преждевременному нарушению герметичности изделия.

Из приведённого на рис. 1 графика видно, что чем выше твёрдость резины, тем меньшая степень сжатия необходима для вакуумного уплотнения [2].

Степень сжатия, К %

Рис. 1

Зависимость степени сжатия резиновой прокладки от уплотнения

Конструкции уплотнений

В приборостроении для вакуумных уплотнений широко используют резиновые прокладки круглого сечения, т. к. технология изготовления резиновых изделий в виде шнуров круглого сечения, из которых затем и изготавливаются прокладки с круглым сечением, освоена в России многими предприятиями.

Чаще всего в конструкциях блоков используют наиболее простые в производстве канавочные уплотнения с прямоугольной канавкой. В них одна из сочленяемых деталей имеет прямоугольную точёную выемку – канавку, в которой размещается прокладка. Размеры и профиль канавки выбираются исходя из требований к уплотнению:

- глубина канавки определяется степенью сжатия прокладки, т. к. оптимальная степень деформации резины, исходя из приведённого выше графика, для разных сортов напрямую зависит от твёрдости резины [2];

- т. к. резина под нагрузкой меняет только форму, а объём остаётся постоянным [2], то при условии плотного прилегания крышки к корпусу поперечное сечение

канавки нужно выбирать с учётом размещения в ней необходимого объёма резины прокладки;

- весь процесс герметизации должен быть технологичен, прокладка легко устанавливаться и фиксироваться в канавке, а при необходимости свободно извлекаться.

На рис. 2-5 представлены разные варианты конструкции вакуумных уплотнений с резиновыми прокладками.

Приведённая на рис. 2 конструкция, несмотря на ряд достоинств, не нашла широкого применения. К достоинствам можно отнести простоту изготовления канавки, установленная в ней прокладка находится в комфортных условиях, т. к. глубиной канавки можно задать оптимальную степень сжатия. Прокладка максимально защищена от воздействия света, влаги и пыли, что замедляет процесс старения резины.

К недостаткам относятся трудности монтажа. Разместить и зафиксировать прокладку в канавке, которая шире диаметра прокладки, невозможно. Поэтому для крепления прокладки используется клей, наносимый на дно канавки. При замене прокладки (при проведении ремонтных работ) клей необходимо удалять, что является достаточно трудоёмким процессом.

Рис. 2

Конструкция узла уплотнения с оптимальной деформацией прокладки с использованием клея:

1 – детали корпуса; 2 – резиновое уплотнение до и после герметизации; 3 – клей

Широкое распространение получила конструкция, представленная на рис. 3. Канавка проста в изготовлении, прокладка легко вставляется, свободно извлекается из неё и за счёт упругих свойств резины надёжно удерживается, поскольку ширина канавки меньше диаметра прокладки. Максимальная деформация прокладки в данной конструкции после установки крышки гарантирует высокое качество герметизации.

К недостаткам такого решения можно отнести наличие зазора между корпусом и крышкой, т. к. расплюснутая прокладка препятствует их полному смыканию. Из-за зазора снижается электрогерметичность корпуса, что ухудшает технические характеристики блока. Прокладка при таком конструктивном решении подвергается воздействиям внешних климатических факторов (на неё попадают пыль, влага, солнечный свет), что ускоряет процесс старения резины [2].

Результаты процесса старения резины прокладок, установленных в такой конструкции, просматриваются уже через относительно небольшой промежуток времени. Так, визуальный анализ прокладок пришедших в ремонт блоков после пятилетней эксплуатации под открытым небом выявил изменение геометрии прокладки (сплющивание), появление шероховатости на резине, что в дальнейшем неизбежно приведёт к трещинам и потере работоспособности прокладок. Срок годности такого рода прокладок из смесей марки ИРП на основе силоксановых каучуков ограничен. По этой причине для обеспечения долговременной герметичности конструкции проведение текущих регламентных или контрольно-восстановительных работ блоков необходимо предусматривать до момента потери работоспособности прокладок с обязательной их заменой при проведении данных работ.

Рис. 3

Конструкция узла уплотнения с максимальной деформацией прокладки:

1 – детали корпуса; 2 – резиновое уплотнение до и после герметизации

Конструкции, изображённые на рис. 4 и 5, несколько сложнее и дороже в изготовлении, но они лишены главного недостатка предыдущих. В них объём материала прокладки при уплотнении полностью помещается в канавке и позволяет прижать крышку к корпусу. Благодаря этому у таких конструкций высокий уровень электрогерметичности корпуса, что часто является

обязательным для обеспечения технических параметров изделия. В них создаются более комфортные условия эксплуатации резиновых прокладок – необходимая и достаточная степень сжатия, изоляция от пыли, света и влаги (зазор между крышкой и корпусом на рис. 4 обращён в середину прибора) [3], что решает задачу герметизации изделия, обеспечивает её надёжность

Рис. 4

Вариант конструкции узла уплотнения с оптимальной деформацией прокладки:

1 – детали корпуса; 2 – резиновое уплотнение до и после герметизации

Рис. 5

Вариант конструкции узла уплотнения с оптимальной деформацией прокладки:

1 – детали корпуса; 2 – резиновое уплотнение до и после герметизации

и повышает долговечность. Но острые грани канавок создают зоны высокой степени сжатия, что иногда приводит к механическому повреждению прокладки (надрезанию), это не влияет на её работоспособность, но ускоряет процесс старения и уменьшает срок её эксплуатации. Поэтому при проведении текущих регламентных или контрольно-восстановительных работ блоков необходимо обращать внимание на состояние прокладок и в случае потери их работоспособности предусматривать замену.

Заключение

История создания СВЧ модулей в АО «НПП «Пульсар» начинается с 70-х годов прошлого века, и с тех пор были опробованы и применены в большей или меньшей степени практически все перечисленные выше способы герметизации крупногабаритных блоков. Накопленный опыт позволяет сделать вывод, что из всех рассмотренных методов, применяемых при герметизации крупногабаритных СВЧ модулей, наиболее целесообразно использование метода герметизации резиновыми прокладками. Этот метод по сравнению с другими рассмотренными имеет ряд неоспоримых преимуществ:

1. Обеспечивает необходимый уровень герметичности, что позволяет сохранять в закрытом корпусе газовую среду требуемого состава и давления.

2. Не требует сложных конструкторских решений узлов герметизации, а следовательно, существенных дополнительных затрат при изготовлении деталей корпусов.

3. Обеспечивает возможность повторов операций герметизации и вскрытия корпуса неограниченное количество раз без

отрицательных последствий для начинки прибора.

4. Не требует высокой квалификации работников, т. к. операции по герметизации этим методом просты и доступны.

5. Не требует сложного оборудования и специальных технологий

Литература.

1. Коваленко, А.А. Влага в корпусах полупроводниковых приборов и микросхем / А.А. Коваленко, А.А. Тверовский, Г.И. Епифанов // Обзоры по электронной технике. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – М.: ЦНИИ «Электроника», 1982. – Вып. 2 (858).
2. Рот, А. Вакуумные уплотнения / А. Рот; перевод с английского. – М: Энергия, 1971.
3. Жуков, В.С. Результаты отработки метода герметизации СВЧ модулей с использованием силиконовых прокладок / В.С. Жуков, К.Г. Кутин, А.С. Соневицкий, Н.А. Требоганов // Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки РЭА: Материалы XII научно-технической конференции, 24-25 октября, Москва, 2013. – С. 281-283.

References

1. Kovalenko A.A., Teverovskiy A.A., Epifanov G.I., Vлага v korpusakh poluprovodnikovyykh priborov i mikroskhem [Moisture in the packages of semiconductor devices and microcircuits]. *Reviews on electronic engineering. Series 2. Semiconductor devices*, Moscow, TSNII Elektronika, 1982, iss. 2(858).
2. Roth A. Vacuum sealing technology. Moscow, Energiya, 1971
3. Zhukov V.S., Kutin K.G., Sonevitskiy A.S., Treboganov N.A. Rezul'taty otrabotki metoda germetizatsii SVCH moduley s ispol'zovaniyem silikonovykh prokladok [Results of testing the method of sealing microwave modules using silicone gaskets]. *Tverdotel'naya elektronika. Slozhnyye funktsional'nyye bloki REA: materialy XII nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow, 2013, pp. 281-283.