УДК 621.382.3

DOI:10.36845/2073-8250-2020-256-1-57-63

БЕСПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ КОРПУС СИЛОВОГО МОДУЛЯ

А.Г. Чупрунов, В.А. Сидоров, И.А. Биларус

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

Представлена оптимальная конструкция металлокерамического герметичного корпуса силового модуля, в которой выводы корпуса смонтированы на платах из алюмооксидной керамики с проходными отверстиями, припаянных высокотемпературным припоем на основе серебра в местах прорезей в основании корпуса из псевдосплава, хорошо согласованного по тепловому расширению с алюмооксидной керамикой, а плата из высокотеплопроводной алюмонитридной керамики, предназначенная для монтажа функциональных элементов модуля, припаяна к фланцу припоем с температурой плавления 450-500 °С. Конструкция обеспечивает стойкость к циклическому изменению температур $-196+100$ °С, исключает термомеханические воздействия, приводящие к повреждению керамических плат при герметизации шовно-роликовой сваркой, и обеспечивает минимальный прогиб опорной поверхности фланца.

Ключевые слова: корпус, фланец, плата, модуль, алюмонитридная керамика, герметизация, трещина, ободок, сварка

Сведения об авторах: Чупрунов Алексей Геннадиевич; Сидоров Владимир Алексеевич, к.т.н., vlidorov@pulsarnpp.ru; Биларус Илья Александрович

POTENTIAL-FREE POWER MODULE PACKAGE

A.G. Chuprunov, V.A. Sidorov, I.A. Bilarus

JSC «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okružhnoy proezd, 27

In this paper we present an optimal design of a ceramic-metal sealed power module package. In our design the leads of the package are mounted on alumina ceramic substrates with through vias, which have been soldered by the high-temperature silver solder at the slots in the package base plate. Base plate is made of pseudoalloy, thermal expansion of which is in a good agreement with alumina ceramics. Substrate made of highly conductive aluminium-nitride ceramics, which is designed for mounting the functional elements of the module, is soldered to the flange with 450-500°C melting point solder. Suggested design provides resistance to cyclic temperature changes of $-196+100$ °C, eliminates thermomechanical effects leading to damage to ceramic substrates during sealing by roll-seam welding, and ensures minimal bending of the bearing surface of the flange.

Keywords: package, flange, substrate, module, aluminium-nitride ceramics, sealing, crack, rim, soldering

Data on authors: Chuprunov Aleksey Gennadievich, Sidorov Vladimir Alekseevich, Ph.D., vlidorov@pulsarnpp.ru, Bilarus Ilya Aleksandrovich

Силовые полупроводниковые модули [1, 2], состоящие из основной керамической платы с двусторонней металлизацией, на поверхности которой сформированы контактные площадки с установленными на них полупроводниковыми кристаллами с межкомпонентными проволочными соединениями, используются, как правило, только в составе герметичных или защищённых от влаги и пыли устройствах. Такие силовые модули, по сути, не являются самостоятельными герметичными изделиями.

Силовой интеллектуальный модуль, представленный на рис. 1, собран в ме-

Рис. 1

Силовой интеллектуальный модуль

таллокерамическом корпусе, в котором на фланец 1 из псевдосплава молибден-медь припаяна высокотемпературным припоем ПСр-72 коммутационная плата 2 из алюминитридной керамики. По периметру платы для герметизации корпуса припоем ПСр-72 припаян ободок 3 из сплава 29НК (ковар). Для электрического контакта токопроводящих элементов модуля с выводами 4 используются металлизированные переходные отверстия 5 в керамической плате [3].

Данная конструкция является герметичной и отличается минимальными габаритами и весом, низким тепловым сопротивлением, возможностью коммутировать большие токи, но при реализации её были выявлены серьёзные недостатки конструкции. Прежде всего, из-за большой разницы в термическом расширении используемых в конструкции материалов после сборки корпуса пайкой фланец, плата и обечайка изгибаются, в керамике появляются трещины. В табл. 1 приведены температурные коэффициенты линейного расширения алюминитридной керамики и ковара [4, 5, 6].

Таблица 1

ТКЛР BeO керамики, AlN керамики и кремния

Материал	BeO керамика от 25°C	Алюмооксидная керамика (22ХС) от 20°C	AlN керамика от 20 °C	Кремний	Ковар от 20°C до (°C)
ТКЛР $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ при температуре, °C	5,5 (100) 8,0 (300) 9,6 (600) 10,8 (800)	$6 \pm 0,5$ (200) $7 \pm 0,5$ (500) $7,5 \pm 0,5$ (900)	2,65 (100) 3,80 (300) 4,19 (400) 4,47 (500)	2,56 (27) 3,2 (127) 3,86 (327)	43-53 (100) 44-52 (300) 45-51 (400) 57-62 (500) 79 (600)

У псевдосплава МД-40 ТКЛР в направлении прокатки $(7,5-8,4) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ и поперёк прокатки $(9,1-9,9) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ [7]. В соответствии с приведённой конструкцией корпуса была разработана серия корпусов для модулей с различными функциональными

параметрами. После проведения каждого технологического этапа изготовления корпуса были исследованы на наличие изгиба, на появление трещин на керамике. После пайки платы с выводами на фланец имел место изгиб паяной конструкции, в то вре-

мя как трещины на керамическом основании имели эпизодический характер. После пайки ободка припоем ПСр-72 при температуре 820°C систематически на керамиче-

ской плате появлялись трещины. Трещины на керамике появлялись также и при пайке ободка эвтектическим припоем золото–германий при температуре 450°C (рис. 2).

Рис. 2

Трещина после припайки ободка и фланца

Некоторые положительные результаты были получены при изготовлении ободка с минимально возможной жёсткостью, что обеспечивалось посредством выполнения ободка с профилированным сечением, представленным на рис. 3. В данной

конструкции снижены возникающие из-за разницы ТКЛР в материалах напряжения в корпусе после пайки ободка, но заметный изгиб конструкции имеет место.

При использовании ободка с профилированным сечением было получено свыше 70 % герметичных корпусов после пайки. После герметизации корпусов посредством приварки крышки шовно-роликовой сваркой негерметичными оставались от 50 до 65 % корпусов в основном из-за появления трещин на коммутационной плате (рис. 4).

Рис. 3

Профилированное сечение ободка

Рис. 4

Трещина после приварки крышки

Причинами такого малого выхода годных являются:

- существенные остаточные механические напряжения в деталях корпуса после пайки;

- усилия со стороны роликов на ободок, прикладываемые на не опирающиеся на фланец участки керамического основания при шовно-роликовой сварке.

При контактной шовной сварке на герметизируемый прибор воздействуют не только механические нагрузки. Шовно-роликовая сварка представляет собой термомеханический процесс, осуществляемый концентрированным местным нагревом материалов электрическим током, проходящим через контакт свариваемых деталей, и пластической деформацией зоны шва под действием усилия сжатия. При герметизации приборов шовно-роликовой сваркой возможно возникновение сварочного тока свыше 50 А, что согласно закону Джоуля-Ленца $Q = I^2 R t$ создаёт нагрев свариваемых металлов. При этом возникающие термомеханические воздействия способствуют возникновению механических напряжений в системе «керамика-ободок», которые приводят к образованию трещин в керамике. Шовно-роликовая сварка выпол-

Рис. 5

Схема герметизации ИС односторонней шовно-роликовой сваркой

няется с помощью вращающихся электродов-роликов, между которыми с усилием сжаты и прокатываются соединяемые детали (рис. 5) [8].

Как указывалось выше, трещины в плате также возникают после проведения испытаний на термоциклирование и на устойчивость к воздействию удара и вибрации (рис. 6, 7).

С учётом проведённого анализа была разработана базовая надёжная герметичная конструкция (рис. 8) беспотенциального полумостового силового модуля, в которой на фланце 1 (рис. 9) размещено основание 2 из такого же материала, из какого изготовлен фланец, т. е. из псевдосплава

Рис. 6

Трещина после термоциклирования

Рис. 7
Трещины после воздействия вибрации и удара

Рис. 8
Корпус беспотенциального полумостового силового модуля

Рис. 9
Фланец с основанием

Рис. 10
Плата из алюмооксидной керамики для припайки внешних выводов

молибден-медь. Внешние размеры основания соответствуют внешним размерам ободка. Основание имеет выступ для припайки дополнительного ободка для герметизации прибора. Ободок выполнен из сплава 29НК (ковар), никеля или из стали, поскольку псевдосплав шовно-роликовой сваркой не варится.

В основании выполнены прорезы со сторон выхода из корпуса выводов модуля через переходные отверстия в платах из хорошо согласованной по тепловому расширению с псевдосплавом алюмооксидной керамики (рис. 10).

На плате по периметру выполнена металлизация 1 со стороны внутренних контактных площадок 2, которая предназна-

чена для герметичной припайки платы к основанию. Контактные площадки 2, расположенные внутри корпуса, электрически соединены переходными металлизированными отверстиями с внешними контактными площадками 3, предназначенными для присоединения выводов корпуса.

В разработанной конструкции корпуса беспотенциального полумостового силового модуля за счёт того, что выводы корпуса перенесены на платы из алюмооксидной керамики, хорошо согласованной с псевдосплавом по тепловому расширению, коммутационная плата из высокотеплопроводной алумонитридной керамики выполнена с существенно меньшими размерами и припаяна к основанию всей плоскостью.

Рис. 11

Интеллектуальный силовой ключ:

1 – драйвер; 2 – датчик температур; 3 – МОП транзистор; 4 – площадка для заземления

В результате после сборки корпуса пайкой какой-либо существенной деформации конструкции не наблюдалось. Кроме того, при герметизации прибора в корпусе данной конструкции шовно-роликовой сваркой исключено термомеханическое воздействие на керамику. Было изготовлено 10 корпусов рассматриваемой конструкции, в которых может быть собран, например, интеллектуальный силовой ключ (рис. 11). Четыре корпуса были загерметизированы шовно-роликовой сваркой.

После пайки коммутационной платы эвтектическим сплавом германий–золото во всех модулях неплоскостность опорной поверхности фланца была не более 9 мкм. После герметизации шовно-роликовой сваркой и испытаний на термоциклирование, воздействие удара и вибраций появление трещин на платах из алюмооксидной и керамики на основе нитрида алюминия после удаления крышки не наблюдалось. Межсоединения элементов коммутационной платы с внутренними контактными площадками платы из алюмооксидной ке-

рамики можно выполнять гибкими золотыми или алюминиевыми проводниками.

Заключение

Конструкция корпуса беспотенциального полумостового силового модуля, в которой выводы корпуса перенесены на платы из алюмооксидной керамики с проходными отверстиями, припаянные высокотемпературным припоем на основе серебра в местах прорезей в основании корпуса из хорошо согласованного по тепловому расширению псевдосплава с керамикой, а коммутационная плата из высокотеплопроводной алюмонитридной керамики для монтажа функциональных элементов модуля припаяна к фланцу припоем с температурой плавления 450-500°C, обеспечивает стойкость к циклическому изменению температур $-196+100^{\circ}\text{C}$, исключает термомеханические воздействия, приводящие к повреждению керамических плат при герметизации шовно-роликовой сваркой, и обеспечивает минимальный прогиб опорной поверхности фланца.

Литература

1. Патент на полезную модель № 184560, опубл. 2018.30.10.
2. Патент РФ № 2 656 302, опубл. 2018.06.04.
3. Ивашко, А.И. Металлокерамический корпус для силовых полупроводниковых модулей / А.И. Ивашко, М.М. Крымко // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2017. – Вып. 4 (247). – С. 61-67.
4. Сидоров, В.А. Алюмонитридная керамика в СВЧ транзисторах / В.А. Сидоров // Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 2008. – Вып. 1(220). – С. 58-66.
5. Рот, А. Вакуумные уплотнения / Пер. с англ. – М.: Энергия. – 1971. – С. 112.
6. Физические свойства электровакуумных стёкол, ситаллов и керамики / Под ред. А.И. Колбасниковой и др. – НИИЭС, ОНТИ, 1967. – С. 28.
7. Пономарёв, В.А. Порошковые композиционные материалы для изделий электронной техники / В.А. Пономарёв, Н.В. Яранцев // Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2014. – С. 41.
8. Солодуха, В.А. Мониторинг технологического процесса герметизации интегральных схем / В.А. Солодуха, А.С. Турцевич, Я.А. Соловьёв, И.И. Рубцевич, А.Ф. Керенцев, А.А. Довженко, И.В. Чирко // Приборы и методы измерений. – 2013. – №1 (6). – С. 106.

References

1. Utility patent, Russian Federation patent no. 184560 (2018).
2. Russian Federation patent no. 2 656 302 (2018).
3. Ivashko A.I., Krymko M.M. Metallokeramicheskiy korpus dlya silovykh poluprovodnikovyykh moduley [Ceramic-metal package for power semiconductor modules]. Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices, 2017, iss. 4 (247), pp. 61-67.
4. Sidorov V.A., Alyumonitridnaya keramika v SVCH tranzistorakh [Aluminum-nitride ceramics in microwave transistors]. Electronic Engineering. Series 2. Semiconductor Devices, 2008, iss. 1 (220), pp. 58-66.
5. Roth A. Vakuumnyye uplotneniya [Vacuum sealing techniques]. Moscow, Energiya, 1971, 112 p.
6. Fizicheskiye svoystva elektrovakuumnykh stokol, sitallov i keramiki [Physical properties of electron-tube glasses, sitalls and ceramics]. Ed. Kolbasnikova A.I. et al., NIIES, ONTI, 1967, 28 p.
7. Ponomarev V.A., Yarantsev N.V. Poroshkovyye kompozitsionnyye materialy dlya izdeliy elektronnoy tekhniki [Powder composites for the production electronic equipment]. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet imeni N.E. Bauman, 2014, 41 p.
8. Solodukha V.A., Turtsevich A.S., Solovyev Ya.A., Rubtsevich I.I., Kerentsev A.F., Dovzhenko A.A., Chirko I.V. Monitoring tekhnologicheskogo protsessa germetizatsii integral'nykh skhem [Integrated circuits sealing process monitoring]. Pribory i metody izmereniy, 2013, no. 1 (6), 106 p.