УДК 621.382-213

DOI:10.36815/2073-8250-2020-257-2-15-21

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОСТЕКЛЯННЫХ И МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ КОРПУСОВ ТИПА ТО ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.Г. Чупрунов, В.А. Сидоров, И.А. Биларус, А.С. Гришаева
АО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27

Представлены результаты измерений и установлены зависимости температуры ввода и монтажной площадки на фланце корпуса от времени при пропускании через ввод тока на металло-стеклянном корпусе КТ-97В и металлокерамическом корпусе ТО-254. В корпусе КТ-97В фланец выполнен из меди, а вводы длиной 15 мм и диаметром 1 мм из проволоки МК (ковар с медной жилой). В корпусе ТО-254 фланец выполнен из псевдосплава молибден-медь, а вводы длиной 15 мм и диаметром 1 мм из медной проволоки. Измерения проводили при температуре окружающей среды $\approx 24^{\circ}\text{C}$.

Ключевые слова: корпус, фланец, ввод, температура, металлостеклянный, металлокерамический, теплопроводность

Сведения об авторах: Чупрунов Алексей Геннадиевич, chuprunov@pulsar.ru; Сидоров Владимир Алексеевич, к.т.н., vsidorov@pulsar.ru; Биларус Илья Александрович, bilarus_ia@pulsar.ru; Гришаева Александра Александровна, grishaeva_as@pulsar.ru

ANALYSIS OF THE THERMAL STATES OF GLASS-METAL AND CERAMIC- METAL TO-PACKAGES UNDER DIFFERENT OPERATION MODES

A.G. Chuprunov, V.A. Sidorov, I.A. Bilarus, A.S. Grishaeva
S&PE Pulsar JSC, 105187, Moscow, Okruzhnoy pr., 27

In this paper we present the results of measurements that reveal the dependences between the temperature of pins and pad on the flange of the package and the time factor when pins are subjected to electric current. Measurements were conducted for the KT-97V glass-metal package and the TO-254 ceramic-metal package. Flange of the KT-97V consists of copper, its pins (15 mm long and 1 mm in diameter) are made of MK wire (covar with copper core). Flange of the TO-254 consists of pseudo-alloy of molybdenum and copper, its pins (15 mm long and 1 mm in diameter) are made of copper wire. Measurements were conducted at $\approx 24^{\circ}\text{C}$ ambient temperature.

Keywords: package, flange, pin, temperature, glass-metal, ceramic-metal, thermal conductivity

Data on authors: Chuprunov Aleksey Gennadievich, chuprunov@pulsar.ru; Sidorov Vladimir Alekseevich, Ph.D., vsidorov@pulsar.ru; Bilarus Ilya Aleksandrovich, bilarus_ia@pulsar.ru; Grishaeva Aleksandra Aleksandrovna, grishaeva_as@pulsar.ru

Необходимым условием надёжной работы полупроводникового прибора является обеспечение его нормального теплового режима. Увеличение температуры полупроводникового прибора вызывает ухудшение изоляционных свойств материалов, изменение плотности и подвижности носителей тока в полупроводниках, существенное снижение теплопроводности полупроводниковых и теплоотводящих материалов и т.д. Все эти факторы могут привести к снижению параметров полупроводникового прибора или даже к выходу его из строя. Отвод тепловой энергии от полупроводникового прибора, от его активной структуры в пространство осуществляется тремя способами: теплопроводностью (кондукцией), конвекцией и теплоизлучением. Обычно все три способа переноса тепловой энергии существуют одновременно и определяют тепловой режим полупроводникового прибора. Основную роль в обеспечении нормального теплового режима полупроводникового прибора выполняет его корпус.

Обычно герметичные силовые мощные полупроводниковые приборы собирают в металlostеклянных и металлокерамических корпусах. Корпуса металlostеклянные предлагают и производят как предприятия РФ, так и зарубежные. Массовым производителем металlostеклянных корпусов в Российской Федерации является АО «Марс», г. Торжок. В каталоге этого завода представлена большая номенклатура металlostеклянных корпусов типа КТ-97В, выпускаемых в массовом производстве, с медным фланцем, стальным ободком, вводами из проволоки МК и корпусов типа КТ 107А с медным фланцем, стальным ободком, вводами из сплава 38НЖД.

АО «СКТБ РТ» (Специальное конструкторское технологическое бюро по релейной технике, г. Великий Новгород) занимается изготовлением металlostеклянных корпусов типа КТ-97 ИДЯУ.432254.014 ТУ для силовых полупроводниковых приборов.

ОАО «Воронежский завод полупроводниковых приборов» в своём каталоге выпускаемых изделий представляет производимые заводом металlostеклянные корпуса КТ-97А (ТО-257АА), КТ-97В (ТО-254АА) и большую номенклатуру собранных в них диодных сборок и полевых транзисторов по АЕЯР 432140.273-01 ТУГК.

АО «НПП «Завод Искра» (г. Ульяновск) выпускает транзистор 2П7152А в металlostеклянном корпусе КТ-97 В (рис. 1) [1].

В аналогичном корпусе унитарное предприятие «Завод Транзистор» (г. Минск) выпускает мощный МОП транзистор 2П7172А

Рис. 1

Металlostеклянный корпус КТ-97В
(АО «НПП «Завод Искра»)

Рис. 2
Транзистор 2П172А
(«Завод Транзистор»)

АЕЯР.432140.398ТУ (рис. 2) с максимально допустимым импульсным током сток-исток 130 А при $t_{и} \leq 80$ мкс, $Q \geq 20$ [2].

В настоящее время АО «Фрязинский завод мощных транзисторов» выпускает биполярные и полевые транзисторы в металlostеклянных корпусах КТ-97А, В, С (рис. 3).

Рис. 3
Корпус металlostеклянный КТ-97С
АО «ФЗМТ»

Одним из основных недостатков металlostеклянных корпусов является существенное ограничение вводов по пропускаемому току, т. к. в таких конструкциях вводы из-за необходимости согласования по тепловому расширению материалов со стеклом во многих случаях делают из специальных сплавов (29НК, 38НКД) [4], имеющих высокое электрическое сопротивление, превышающее сопротивление меди более чем в 30 раз. При прохождении тока через ввод на нём выделяется мощность, равная $I^2 \cdot R$, где I – ток, проходящий через ввод, а R – его электрическое сопротивление. Электрическое сопротивление ввода длиной 15 мм и диаметром 1 мм из сплава 29НК ориентировочно составляет 0,01 Ом. При прохождении через ввод тока 10 А на вводе выделяется мощность 1 Вт, которая может нагреть ввод при непрерывном токе до температуры, превышающей температуру плавления припоя ПОС 61. При прохождении через ввод тока 20 А на вводе выделяется мощность 4 Вт. Металlostеклянный корпус КТ-97В-1.05 (чертёж КУШ Р432 264.001), серийно выпускаемый АО «Завод «МАРС», содержит теплоотводящий фланец из меди, стальной ободок с вводами из проволоки МК, впаянными стеклом в отверстиях ободка. Данную конструкцию металlostеклянного корпуса можно считать наиболее удачной. Через вводы такого корпуса можно пропускать несколько больший ток, чем у предыдущих аналогов, поскольку у проволоки МК электрическое сопротивление в 6-8 раз ниже, чем у проволоки из сплавов 29НК и 38НКД. Ободок выполнен из стали, теплопроводность которой существенно больше, чем у сплавов 29НК и 38НКД, а фланец выполнен из высокотеплопроводной меди. Электрическое сопротивление ввода длиной 15 мм и диаметром 1 мм из

проволоки МК равно примерно 0,0012 Ом. При прохождении через ввод тока 10 А на вводе выделяется мощность 0,12 Вт, которая может нагреть ввод при непрерывном токе до температуры, превышающей 100°C. При прохождении тока 20 А на вводе выделяется мощность 0,5 Вт, которая может нагреть ввод при непрерывном токе до температуры, превышающей температуру плавления припоя ПОС-61. От ввода тепло на корпус плохо отводится из-за низкой теплопроводности стекла. При измерении температур на внутреннем конце ввода и на фланце внутри корпуса в качестве теплоотвода использовали алюминиевый брусок с размерами 80x30x10 мм. Ток задавали инверторным источником тока UNIV-50A/12В Р, а температуру измеряли температурным пробником модели ТР-01. Измерения проводили на металlostеклянных корпусах с фланцем из меди с вводами длиной 15 мм и диаметром 1 мм из проволоки МК при температуре окружающей среды $\approx 24^\circ\text{C}$. Ток пропускали через последовательно соединённые ввода (рис. 4). Были установлены

Рис. 4

Корпус КТ-97В с проводами, подводящими ток к выводам

зависимости (рис. 5) температуры ввода и монтажной площадки на фланце от времени пропускания тока через ввод.

По результатам измерений был построен график (рис. 5), представляющий зависимость роста температур на вводе и фланце от времени при пропускании тока 10 А и 20 А через ввод металlostеклянного корпуса ТО-97В с медной жилой без теплоотвода и с теплоотводом.

Рис. 5

Зависимость роста температур на вводе и фланце от времени при пропускании тока через ввод металlostеклянного корпуса ТО-97

Металлокерамические корпуса

Металлокерамические корпуса, в которых на теплоотводящий фланец припаян изолятор из алюмонитридной керамики, в отверстиях которого размещены медные вводы, отличаются от металlostеклянных более высокими значениями тока, пропускаемого через вводы. Это объясняется низким электрическим сопротивлением меди и большей теплопроводностью алюмооксидной керамики. Удельное сопротивление меди $1.67 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ [5], а у алюмооксидной керамики 22ХС, из которой сделаны изоляторы, $\lambda = 11,5\text{-}13 \text{ ккал/м}\cdot\text{час}\cdot\text{град}$, в то время как у стекла $\lambda \leq 0,9 \text{ ккал/м}\cdot\text{час}\cdot\text{град}$ [6], а у проволоки МК удельное сопротивление примерно $7 \text{ Ом}\cdot\text{см}$.

На металлокерамическом корпусе типа ТО-254 (рис. 6) с медными вводами так же, как и в случае металlostеклянного корпуса, были проведены измерения температур

Рис. 6

Металлокерамический корпус ТО-254
с проводами, подводящими ток к выводам

на внутреннем конце ввода и на фланце внутри корпуса. Корпус ТО-254 и ТО 97В по геометрическим размерам вводов идентичны. Были установлены зависимости (рис. 7) температуры ввода и монтажной площадки на фланце от времени пропускания через ввод тока. Измерения проводились при температуре окружающей среды $\approx 24^\circ\text{C}$.

Рис. 7

Зависимость роста температур на вводе и фланце от времени при пропускании тока через ввод корпуса ТО-254

Рис. 8

График зависимости среднеарифметических значений внутреннего теплового сопротивления от площади источника тепла для металлокерамического корпуса ТО-254

Проверка внутреннего теплового сопротивления основания металлокерамического корпуса проводилась на установке измерения теплового сопротивления ИВТС-1 в соответствии с руководством по эксплуатации ЛРПА 25207.00002 (АО НПП «НИИТАЛ») и ГОСТ 57967-2017. Сущность методики заключается в пропускании теплового потока от нагревателя через последовательно установленные на нём исследуемый образец и образцовое тепловое сопротивление с замером падения температур на концах образцов.

Результаты измерений температур на стыках теплового тракта и расчёта внутреннего теплового сопротивления основания корпуса представлены на рис. 8.

Среднеарифметические значения величины внутреннего теплового сопротивления основания корпуса от различных источников тепла:

$$S = 0,64 \text{ см}^2 - 0,375^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$S = 0,49 \text{ см}^2 - 0,489^\circ\text{C}/\text{Вт};$$

$$S = 0,64 \text{ см}^2 - 0,64^\circ\text{C}/\text{Вт}.$$

Заключение

Металлокерамические корпуса типа ТО с медными вводами способны работать при значениях тока, в 3-5 раз превышающих значения тока, допустимого для металло-стеклянных корпусов. При этом электрическое сопротивление вводов в металлокерамических корпусах в 5-30 раз меньше, чем в металlostеклянных корпусах с вводами из проволоки МК примерно в 5 раз, а с вводами из сплава 29 НК примерно в 30 раз.

Литература

1. Каталог завода АО «Марс», г. Торжок. – 2019. – С. 40-41.
2. Каталог АО «НПП «Завод Искра», г. Ульяновск. – 2016. – С. 28.
3. ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ. Электронная компонентная база». – Каталог 2018.
4. Максимов, А. Корпуса для полупроводниковых приборов металlostеклянные и металлокерамические / А. Максимов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2010. – № 6. – С.112-114.

5. Таблицы физических величин / Справочник. Под ред. акад. И.К. Киконина. – М.: Атомиздат, 1976. – 328 с.
6. Рот, А. Вакуумные уплотнения / Пер. с англ. М.: Энергия, 1971. – 112 с.
3. Product catalogue of Integral LLC, 2018.
4. Maksimov A. Korpusa dlya poluprovodnikovyykh priborov metallosteklyannyye i metallokeramicheskiye [Metal-glass and metal-ceramic packages for semiconductor devices]. ELEKTRONIKA: Nauka, Tekhnologiya, biznes, 2010, iss. 6.
5. Reference book of tables of physical quantities. Ed. by Kikonin I.K., Moscow, Atomizdat, 1976, p. 328.
6. Roth A. Vakuumnnyye uplotneniya [Vacuum Sealing Techniques], Moscow, Energiya, 1971, p. 112.

References

1. Product catalogue of Mars LLC, Torzhok, 2019, pp. 40-41.
2. Product catalogue of “NPP Zavod Iskra” LLC, Ulyanovsk, 2016, p. 28.