

И. И. РУБЦЕВИЧ, к. т. н. Л. П. АНУФРИЕВ, А. Ф. КЕРЕНЦЕВ

Дата поступления в редакцию
22.07 2004 г.

Республика Беларусь, г. Минск, Завод «Транзистор»
E-mail: AKerentsev@transistor.com.by

Оппонент к. ф.-м. н. С. Д. ВОТОРОПИН
(НИИПП, г. Томск)

ИССЛЕДОВАНИЕ MOSFET-ТРАНЗИСТОРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ КОРПУСАХ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА

Корпуса SMD-1 позволяют изготавливать приборы с минимальными внутренними напряжениями и обеспечивать их высокую герметичность и надежность.

Метод поверхностного монтажа электронных компонентов на платы является самым перспективным направлением сборки блоков РЭА, к которым предъявляются требования миниатюрности и невосприимчивости к низкочастотной вибрации. При этом в качестве активных электронных компонентов наиболее широко используются транзисторы в пластмассовых корпусах типа SOT-23, SOT-223, D-Pak, D²-Pak (SMD-220). Однако известные недостатки пластмассовых корпусов исключают возможность их использования в блоках РЭА специального назначения, в частности для авиационных и космических аппаратов. Перспективными в этом случае являются изделия в герметичных металлокерамических корпусах типа SMD-0,5, SMD-1, SMD-2, которые позволяют осуществлять дальнейшую микроминиатюризацию, уменьшение массы при обеспечении высокой рассеиваемой мощности и сохранении герметичности после длительных термоциклических нагрузок [1].

В данной работе представлены предварительные результаты опробования сборки мощных MOSFET-транзисторов в корпусе SMD-1 от двух поставщиков: А — International Rectifier (США), Б — ОАО «Завод Мар» (Россия). Особенностью конструкции корпуса SMD-1 является тщательно подобранные материалы, совместимые по температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР). Герметичный корпус состоит из трех контактных площадок, впаянных в керамическую плату (являющуюся основанием корпуса), металлического ободка и крышки (рис. 1). Были опробованы также корпуса SMD-220.

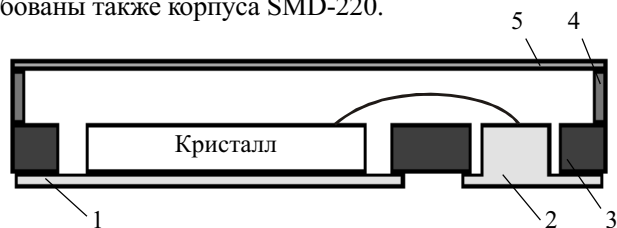


Рис. 1. Металлокерамический корпус SMD-1:
1 — кристаллодержатель; 2 — вывод; 3 — основание; 4 — ободок;
5 — крышка

Основные свойства элементов корпусов SMD-1 и SMD-220 представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, максимальное отклонение ТКЛР элементов корпуса SMD-1 относительно кристалла составляет $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, в то же время для SMD-220 это отклонение примерно на порядок выше и составляет $20,8 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Таблица 1

Корпус	Элемент корпуса	Материал	ТКЛР, $\times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
SMD-1 (поставщик А)	Кристаллодержатель и выводы	Сплав W-Cu	6,0
	Основание	Al ₂ O ₃	6,4
	Ободок	Ковар	5,1
	Крышка	Ковар	5,1
SMD-1 (поставщик Б)	Кристаллодержатель	Сплав W-Cu	6,0
	Основание	BK94	6,4
	Выводы (2 детали)	Сплав W-Cu + Cu	6,0
	Ободок	29HK	5,6
SMD-220	Крышка	29HK	5,6
	Кристаллодержатель и выводы	Cu-Sn _{0,15}	17,0
	Пластмасса	MG-40F	25,0

Примечание: ТКЛР для кремниевого кристалла $4,2 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

В экстремальных условиях эксплуатации при термоциклическом воздействии из-за различия ТКЛР элементов корпуса и кристалла в активной структуре прибора могут возникать значительные внутренние напряжения. Величину остаточных термомеханических напряжений примерно можно оценить по формуле [2]

$$\sigma = -E_1(\alpha_1 - \alpha_2)(T_1 - T_2) \cdot F(E_1, E_2, h_{кр}/h_{кд}),$$

где σ — напряжение сжатия на границе "кристалл—кристаллодержатель";

E_1, E_2 — модуль упругости кристаллодержателя и кристалла, соответственно;

α_1, α_2 — ТКЛР кристаллодержателя и кристалла, соответственно;

T_1, T_2 — температура пайки кристалла и окружающей среды, соответственно;

$F(E_1, E_2, h_{кр}/h_{кд})$ — функция, зависящая от соотношения толщины кристалла $h_{кр}$ и кристаллодержателя $h_{кд}$ и их модулей упругости.

Для снижения внутренних напряжений, обусловленных несовместимостью по ТКЛР, монтаж кристаллов в корпус SMD-220 необходимо осуществлять только на припой, а для SMD-1 допускается монтаж методом эвтектической пайки Au-Si. При этом следует отметить, что эвтектическая пайка кристаллов

на Au–Si или Au–Si–Ge является основным решением достижения энергоциклостойкости не менее 10000 циклов [3].

Для сборки MOSFET-транзисторов типа IRF540 в корпусах SMD-1 и SMD-220 были использованы кристаллы размерами 4,7×5,5 мм, содержащие на неплазменной стороне систему металлизации Ti–NiV–Ag.

Монтаж кристаллов на припой PbInAg выполнялся в конвейерной водородной печи типа ЖК4007А при $T=400_{-20}^{\circ}\text{C}$. Качество присоединения кристаллов оценивалось методом оптического контроля, методом неразрушающей рентгенотелевизионной диагностики, методом фотоакустического контроля и лазерной микроинтерферометрии. Дополнительно состояние паяного соединения оценивалось путем снятия кристалла с кристаллодержателя горячим методом (отпайка) и химическим травлением в растворе KOH.

В результате исследований установлено, что дефекты паяного соединения под кристаллом в виде пустот и непропаев составляют 9—10% площади кристалла для SMD-1 и 12—18% для SMD-220. Наличие указанных дефектов обусловлено пассивным процессом монтажа, при котором кристалл находится в состоянии пассивного равновесия действия сил поверхностного натяжения расплава припоя и статической нагрузки. Методом лазерной интерферометрии определен уровень напряженно-деформированного состояния напаянных кристаллов, который составил 28—32 МПа для SMD-1 и 30—48 МПа для SMD-220.

Внутрикорпусный проволочный монтаж осуществлялся проволокой АОЦПоМ-250 на автомате УЗ-сварки типа ЭМ4020Б. Соединение между истоком на кристалле и истоковым выводом корпуса выполнялось двумя проволочными перемычками, а затвор соединялся одной перемычкой. После полного технологического цикла изготовления проводились измерения электрических и тепловых параметров (табл. 2, где $I_{c\text{max}}$ — ток стока максимальный; $R_{\text{си отк}}$ — сопротивление открытого транзистора в цепи "сток-исток"; R_{thjc} — тепловое сопротивление "p-n-переход—корпус" транзистора).

Таблица 2

Тип корпуса	$I_{c\text{max}}$, А	$R_{\text{си отк}}$ мОм ($I_c=17\text{A}$)	R_{thjc} , °С/Вт ($U_c=10\text{ В}$, $I_c=17\text{ А}$)
SMD-1 (А)	40...41	55...57	2,2...2,3
SMD-1 (Б)	39...41	56...58	2,2...2,4
SMD-220	40...42	53...56	0,8...0,9

Для определения конструктивных запасов по устойчивости к термоциклическим нагрузкам проводились испытания на воздействие термоударов при $T=-196^{\circ}\text{C} \dots +200^{\circ}\text{C}$ (перепад температур составляет 396°C) с контролем герметичности и теплового сопротивления до и после испытаний. Динамика отказов по указанным критериям представлена на рис. 2. Приборы в корпусе SMD-1 поставщика А (1) выдержали испытания на воздействие термоударов без отказов, при использовании корпусов SMD-1 постав-

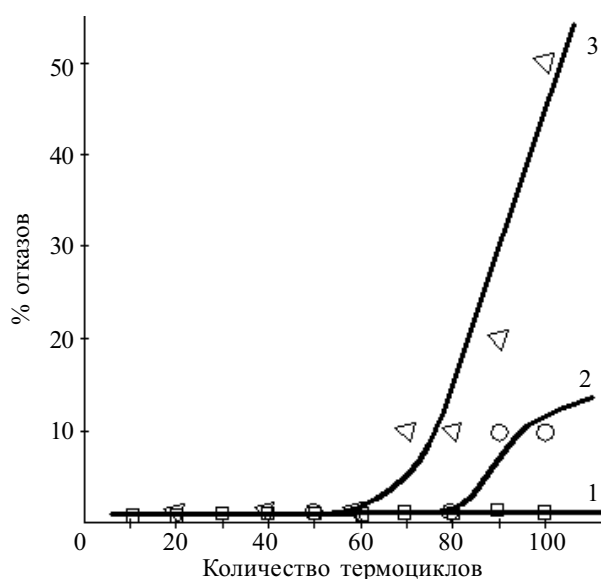


Рис. 2. Динамика отказов после испытаний на термоудары

щика Б (2) доля отказов составила 5% (1 шт. из 20), а для пластмассового корпуса SMD-220 — 50%.

В результате проведенного анализа установлены причины отказов:

- в корпусе SMD-1 (поставщик Б) — нарушение сплошности паяного соединения по границе “ободок—керамика”;
- в корпусе SMD-220 — растрескивание кристаллов и образование микротрещин на границе “пластмасса—кристаллодержатель”.

Таким образом, в результате опробования сборки MOSFET-транзисторов в металлокерамических корпусах SMD-1 разных изготовителей в сравнении с металлопластиковым корпусом SMD-220 установлено, что тепловое сопротивление «переход—корпус» R_{thjc} выше для SMD-1 из-за меньшей теплопроводности кристаллодержателя. Однако согласованность по ТКЛР элементов корпуса SMD-1 позволяет изготавливать приборы с минимальными внутренними напряжениями и обеспечивать их высокую герметичность и надежность в условиях воздействия значительных перепадов температур.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. New Materials and technologies Solve Hermetic SMD Integration. Tiva Bussarakons, International rectifier, Inc., El Segundo, California. December, 1999 / http: www.pcim.com.
2. Eifert R., Maslov A. Deformationen und innere spannungen beim bonden von festkörperschaltkreisen // Feingerätetechnik.— 1976.— Bd 25, N 5.— S. 198—200.
3. Кузин А. Г., Лучков Е. Н., Рыбалов Е. И. Малоцикловая термоустойчивость паяных соединений микроселектронных компонентов при поверхностном монтаже/ Обзоры по электронной технике. Сер. Микроэлектронные устройства.— 1988.— Вып. 1.