

Повышение устойчивости транзисторов в корпусе D-Pak к поверхностному монтажу

Л.П. Ануфриев, А.Ф. Керенцев, В.Л. Ланин

УП "Завод Транзистор"

ул. Корженевского, 220064 Минск, Беларусь, тел./факс(017)2774141; эл. почта akerensev@transistor.com.by

Введение

Транзисторы в пластмассовом корпусе для поверхностного монтажа D-Pak характеризуются повышенной мощностью рассеивания $P_{\max} \leq 45$ Вт, поэтому для обеспечения заданного уровня мощности и низкого уровня переходного теплового сопротивления р-п переход-корпус в качестве кристаллодержателя и теплоотвода применяется медь или медный сплав с теплопроводностью не хуже 350 Вт/м*°С. Однако применение в составе корпуса транзистора материалов, не совместимых по величине коэффициента теплового линейного расширения (КТЛР), приводит к необходимости ограничения тепловых воздействий в процессе монтажа, что и отражается в технических условиях на приборы. Различные технологии пайки поверхностного монтажа: волновая, ИК - нагревом, в паровой фазе связаны с интенсивным нагревом тонкого пластмассового корпуса [1]. При высоких тепловых нагрузках возникает опасность растрескивания корпуса и активной транзисторной структуры, возможность последующего проникновения влаги внутрь корпуса и деградации характеристик транзистора [2].

Исследовано влияние конструктивных и технологических факторов (толщина паяного соединения кристалл- кристаллодержатель; наличие демпфера между кристаллом и пластмассовой частью корпуса в виде эластичного компаунда; режимы зачистки обложки на теплоотводящей поверхности кристалл-лодержателя) на устойчивость транзисторов с $P_{\max} = 30$ Вт в корпусе D-Pak к значительным температурным ударам, возникающих в процессе поверхностного монтажа на припой.

Методика исследований

Внутренние напряжения, возникающие в процессе присоединения кристалла к подложке, определяются не только физическими параметрами соединяемых материалов, температурой процесса, но также и соотношением толщины кристалла к толщине подложки.

Напряжения сжатия на поверхности кристалла рассчитывались как:

$$\delta_{\max 1} = -E_1(\alpha_1 - \alpha_2) \times \Delta t \times (n) [1 - M_1 + (1 - M_2)(h_1)] + (1 - M_2)n, \quad (1)$$

а напряжение растяжения :

$$\delta_{\max 2} = -E_1(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta t F(h_1/h_2), \quad (2)$$

где E – модуль упругости кремния, α_1, α_2 – КТЛР кремния и кристаллодержателя, Δt – перегрев кристалла, F – функция зависящая от соотношения h_1/h_2 , h_1 и h_2 толщины кристалла и кристаллодержателя.

Расчеты показывают, что при монтаже кремниевых кристаллов на основание из медного сплава, возникают внутренние напряжения, которые могут превышать допустимый уровень напряжения изгиба кремния (250 МПа). В результате этого возникают микротрещины в кристалле. Выбор оптимальной толщины кристалла в пределах 200 -- 250 мкм при $h_1/h_2 = 0,4 - 0,5$ позволяет уменьшить возникающие деформации (рис. 1).



Рис.1 Механические напряжения в кристалле

Рис.1. Механические напряжения в кристалле

Для установления влияния различия КТЛР кремниевое кристалла и кристаллодержателя из медного сплава БрХ исследовались транзисторные структуры размером 2,7x2,7x0,3 мм с напыленной на непланарную сторону системой металлизации Ti-Ni-Sn-PbSn-Sn. Оптимальное соотношение компонентов системы металлизации и припоя выбрано с учетом температуры присоединения внутренних проволочных

соединений методом термовзвучковой сваркой золотой проволокой при 250°C. Этому условию в соответствии с диаграммой состояния Pb—Sn отвечает композиция, содержащая 85% свинца. Трехслойная композиция Sn—SnPb—Sn выбрана, как наиболее эффективная система, обеспечивающая смачивание припоем поверхности никеля на непланарной стороне кристалла и серебра на кристаллодержателе. Толщина слоя олова составляет 2 мкм со стороны никеля и 1 мкм на наружной поверхности. Расчетное значение толщины свинца:

$$h_2 = \frac{A \cdot \gamma_1 \cdot h_1}{(100 - A) \cdot \gamma_2}, \quad (3)$$

где h_1 , h_2 — толщина слоя Sn и Pb соответственно; γ_1 , γ_2 — уд. вес Sn и Pb соответственно; A — требуемое содержание Pb в припое, составило 10,8 мкм.

Уменьшение толщины слоя Sn до 2 мкм приводит к снижению толщины слоя Pb до 7,2 мкм. Таким образом, варьирование толщиной слоев Sn в пределах 2 - 3 мкм и Pb в пределах 7,2 - 10,8 мкм позволило получить припойную композицию с температурой плавления 250 - 270° С. С учетом допуска $\pm 0,5$ мкм толщина Sn составила: 1 слой - 1,5 мкм, 2 слой - 0,5 мкм. Минимальная толщина слоя Pb составила 7,2 мкм. Таким образом, содержание Pb должно быть в пределах 7,2 - 10,8 мкм, а общая толщина припоя составляет 9,2 - 13,8 мкм.

Металлизация Ti-Ni осаждалась в установке 01НИ-7-015 непрерывного действия с магнетронной системой распыления. Использованы мишени из никеля марки Н-0 по ГОСТ 849-70, титана- ВТ1-0 лист толщиной 6...10мм по ГОСТ 22178-78. Режимы напыления: давление в камере не более $6,7 \cdot 10^{-5}$ Па; ток нагрева 3,5 А; мощность магнетрона напыления титана 2 кВт; напыления никеля 3 кВт; скорость конвейера 100 мм/мин.

После формирования системы Ti-Ni выполнялось осаждение припойной композиции в установке электронно-лучевого испарения в вакууме «Оратория-9» в последовательности: Sn- PbSn- Sn при следующих режимах: температура напыления 280°C; напряжение 6 кВ; ток эмиссии 0,5 А; время напыления $Sn_1 - 120 - 240$ с; $PbSn - 400 - 600$ с; $Sn_2 - 120 - 240$ с.

Изготовленные таким образом транзисторные структуры, после соответствующего контроля по электрическим параметрам и внешнему виду, поступали на сборку. Для сборки транзисторов применялась рамка выводная из материала БрХ с полосой серебра толщиной 7 ± 1 мкм. Монтаж транзисторных структур на легкоплавкую припойную композицию выполнялся на автомате ЭМ4085-03 при следующих технологических режимах: температура 300 - 400°C; амплитуда колебаний кристалла 25 - 200 мкм; количество периодов колебаний 2 - 10 [3].

Качество монтажа кристаллов определялось по внешнему виду до и после воздействия разрушающей нагрузки, прикладываемой перпендикулярно боковой поверхности кристалла. При этом пайка считалась удовлетворительной, если разрушение происходило по кремнию и не менее чем 80% площади кристалла

занято кремнием [4]. Это требование подтверждалось и результатами контроля переходного теплового сопротивления «р-п переход-корпус» ($R_{ТПК}$), выполненного с использованием специального зондового устройства.

Экспериментальные результаты

Активация процесса монтажа кристаллов за счет принудительного вибрационного воздействия при малых амплитудах не оказывает положительного результата. Это вызвано тем, что при малых амплитудах вибрации, в условиях выполнения процесса монтажа без применения защитной атмосферы, не происходит полного удаления окислов из зоны монтажа и образуются участки с непроаями, приводящими к росту теплового сопротивления. Это особенно заметно в случае пайки кристаллов при невысоких температурах, порядка 300° (рис.2). Увеличение температуры монтажа кристаллов до 390°C, а амплитуды колебаний до 75...150 мкм способствует эффективному удалению окислов из зоны монтажа, при этом исключаются пустоты и непроаи под кристаллом, что и позволяет получить требуемый уровень переходного теплового сопротивления. Это имеет существенное значение для мощных транзисторов.

Активация процесса монтажа кристаллов на автомате ЭМ 4085 приводит к гомогенизации паяного соединения, исключению дефектов в виде пустот и непроаев. В результате снижается уровень термомеханических напряжений в активной структуре, снижается переходное теплое сопротивление, повышается производительность монтажа [5].

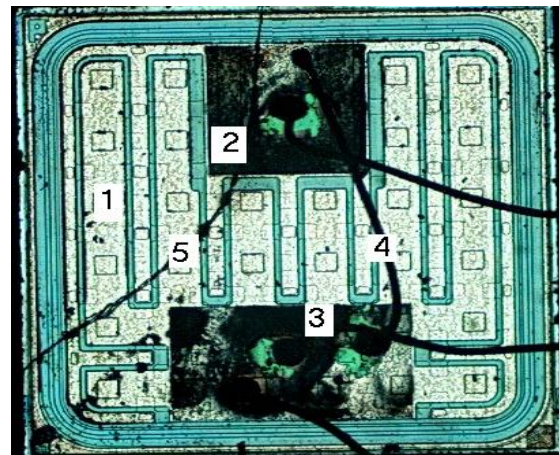


Рис.3. Внешний вид кристалла, где 1- кристалл, 2,3 – контактные площадки, 4 – проволочное соединение, 5 – трещина

В процессе монтажа кристаллов был опробован вариант с увеличенной толщиной паяного соединения за счет использования дополнительной прокладки припоя ПОС-10 толщиной 50 мкм. Нанесение эластичного демпфирующего слоя компаунда СИЭЛ 159-322Б на поверхность кристалла после

формирования проволочных перемычек, выполнялось на автомате ЭМ-4085 с применением стандартного дозатора. После выполнения каждой технологической операции проводился контроль кристаллов по внешнему виду на наличие трещин.

После герметизации на рамках осуществлялось удаление перемычек микрофрезой и освобождение эмиттерного и базового выводов от связующей кромки рамки, с последующим контролем ВАХ каждого прибора и после каждой операции. В результате последовательного операционного анализа установлено, что трещины возникают в процессе герметизации.

Анализ характерного расположения трещины на кристалле (рис.3) указывает на то, что растрескивание кристаллов происходит при герметизации в процессе смыкания прессформы на отдельных гнездах матрицы из-за несоответствия величины перепада на формованной части рамки и матрицы прессформы. При глубине формовки коллекторного вывода $1 \pm 0,07$ мм на рамке выводной фактическое несоответствие глубины перепада на элементах матрицы прессформы достигает $\Delta_{\max} = 0,25$ мм. Это приводит к тому, что в процессе смыкания верхней и нижней частей прессформы происходит деформация плоскости кристаллодержателя и пластическая деформация зоны пайки кристалла с последующим образованием трещины в кристалле.

Трещины выявлены даже для вариантов с защитой кристалла и с дополнительным демпфирующим слоем припоя. В варианте с тонким припоем, но с защитой, трещин не возникло, что объясняется тем, что рамка попала на хорошую позицию матрицы прессформы.

Также следует отметить, что на теплоотводе корпуса образуется облой повышенной толщины, достигающей 40 - 50 мкм. Это создает значительные трудности по его удалению шлифовальным кругом на плоско-шлифовальном станке и может являться причиной возникновения дополнительных механических напряжений в кристалле [6]. В процессе зачистки облоя необходимо исключить возможность грубого заглабления шлифовального круга в материал выводной рамки. В этом случае происходит перегрев кристаллодержателя, что заметно по изменению его цвета, а механическая деформация поверхностного слоя, передаваемая в кристалл, приводит к возникновению механических напряжений, способных привести к его растрескиванию. Неоднократные эксперименты при различных режимах зачистки облоя шлифовальным кругом показали высокую эффективность применения дополнительного защитного эластичного компаунда, наносимого на поверхность кристалла.

В результате проведенных исследований по совершенствованию конструктивно-технологического исполнения приборов и доработки оснастки были изготовлены контрольные партии приборов с последующим испытанием в условиях поверхностного монтажа на плату: полное погружение в припой при температуре $260 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 10 с. Гистограмма

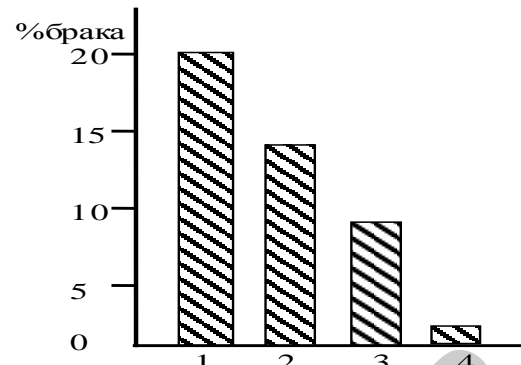


Рис.4. Гистограмма распределения приборов по отказам

распределения приборов с различным конструктивно-технологическим исполнением по отказам в условиях поверхностного монтажа приведена на рис.4, где 1 - малая толщина паяного соединения (≤ 5 мкм), 2 - на прессформе несоответствие глубины формовки 0,25 мм, 3 - защита компаундом отсутствует, 4 - оптимальный вариант.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлен оптимальный вариант конструктивно-технологического исполнения мощных транзисторов в корпусе D-Pak (толщина паяного соединения не менее 8 мкм, защита компаундом, глубина формовки в пределах не хуже $\pm 0,07$ мм), обладающий высокой надежностью в условиях поверхностного монтажа.

Литература

1. **Технология** поверхностного монтажа / С.П. Кундас, А.П. Достанко, Л.П. Ануфриев и др. - Мн.: Армита, 2000. - 350 с.
2. **Omi S., Fujita K.** Causes of cracks in SMD and type specific remedies // IEEE Trans.Comp. Hybr., Manuf. Technology, 1991, №14, pp 818-823.
3. **Исследование** процесса монтажа кристаллов мощных транзисторов вибрационной пайкой / Л.П. Ануфриев, В.Л. Ланин, А.Ф. Керенцев, А.М. Иваш // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2000.-№4. С. 32-34.
4. **ГОСТ 20.57.406-81.** Изделия электронной техники. Методы испытаний.
5. **Ануфриев Л.П., Керенцев А.Ф., Ланин В.Л.** Электрические и тепловые параметры контактов при монтаже кристаллов в приборах силовой электроники// Elektronika ir Elektrotechnika.- Kaunas: Technologija, 2002. - №1 (36). - P. 74-77.
6. **Лурье Г.Б.** Шлифование металлов. М.: Машиностроение, 1989. - 172 с.

L.P. Anufriev, A.F. Kerencev, V.L. Lanin . D-PAK korpusinių tranzistorių paviršinio montažo stabilumo padidinimas // Elektronika ir elektrotechnika. -Kaunas: Technologija, 2003. – No. 7 (49). –P. 20-23.

Aprašomi D-PAK konstrukcijų tranzistorių galimybės juos naudojant paviršiniame montaže. Įrodomas jų padidintas atsparumas smūgiams ir temperatūriniams pokyčiams. Patikimumo padidinimui naudoti mažesni negu 8 μ m litavimo sluoksnį, o taip pat of $1 \pm 0,07$ mm kompaundinį padengimą Siūloma šiam technologiniam procesui originali metodika bei matematinės priklausomybės. Pateikiami eksperimentiniai duomenys. Fig. 4, bibl. 6 (rusų kalba; santraukos lietuvių, rusų ir anglų k.

L.P. Anufriev, A.F. Kerencev, V.L. Lanin .Stability Augmentation D-Pak Package Transistors to Surface Mounting // Electronics and Electrical Engineering. -Kaunas: Technologija, 2003. – No. 7(49). –P. 20-23.

The effect design and technology factors on stability D-Pak package transistors to considerable temperature impacts arising during surface mounting is researched. For a reliability augmentation of devices it is necessary to supply soldering connection width not less than 8 microns, protection with a compound and depth of a molding within the limits of $1 \pm 0,07$ mms. Fig. 4, bibl. 6 (in Russian; summaries in Lithuanian, English, Russian).

Л.П. Ануфриев, А.Ф., Керенцев. В.Л.Ланин. Повышение устойчивости транзисторов в корпусе D-Пак к поверхностному монтажу// Электроника и электротехника.- Каунас: Технология, 2003. - № 7 (49). –С. 20-23.

Исследовано влияние конструктивных и технологических факторов на устойчивость транзисторов в корпусе D-Пак к значительным температурным ударам, возникающим в процессе поверхностного монтажа. Для повышения надежности приборов необходимо обеспечить толщину паяного соединения не менее 8 мкм, защиту компаундом и глубину формовки в пределах 1 ± 0.07 мм. Ил.4, библи. 6 (на русском языке; рефераты на литовском, английском и русском яз.).