

## ОСОБЕННОСТИ СБОРКИ ТРАНЗИСТОРОВ В КОРПУСЕ D-ПАК

Анатолий Керенцев, Владимир Ланин  
[akerentsev@transistor.com.by](mailto:akerentsev@transistor.com.by), [vlanin@bsuir.unibel.by](mailto:vlanin@bsuir.unibel.by)

Авторы статьи, имея многолетний опыт в области сборки и монтажа изделий электроники, разрабатывают новые автоматизированные процессы монтажа кристаллов транзисторов вибрационной пайкой в защитной атмосфере. Для обеспечения высокой устойчивости мощных транзисторов в корпусе D-Пак к условиям поверхностного монтажа необходимо обеспечить высокое качество посадки кристаллов на кристаллоноситель. Разработан оптимальный вариант конструктивно-технологического исполнения транзисторов в корпусе D-Пак, отличающийся стабильностью и воспроизводимостью тепловых параметров. Представленная информация будет полезна специалистам, работающим в области сборки изделий электроники.

### Особенности корпуса D-ПАК

При сборке транзисторов в пластмассовом корпусе для поверхностного монтажа с повышенной мощностью рассеивания (discrete power device package) (D-Пак ) применяют посадку кристалла с помощью припойной прокладки. Для обеспечения заданной мощности  $P_{\max} \leq 45 \text{ Вт}$  и низкого переходного теплового сопротивления р-п переход–корпус в качестве кристаллодержателя и теплоотвода применяют медные сплавы с теплопроводностью не хуже  $350 \text{ Вт/м}^{\circ}\text{C}$  [1]. Однако использование 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 изделия. Различные технологии пайки поверхностного монтажа: волновая, ИК-нагревом, в паровой фазе связаны с интенсивным нагревом тонкого пластмассового корпуса. При высоких тепловых нагрузках возникает опасность растрескивания корпуса и кристалла, возможность последующего проникновения влаги внутрь корпуса и деградации характеристик транзистора [2].

Корпуса транзисторов для поверхностного монтажа (D-Пак ) относятся к XIV группе по ГОСТ 20.39.405-84, и к ним предъявляются жесткие требования по воздействию режимов пайки и паяемости выводов:

1. Конструкция изделий должна обеспечивать трехкратное воздействие групповой пайки и лужения выводов горячим способом без теплоотвода при температуре пайки не выше 265 °С в течение 4 с.

2. Изделия должны выдерживать групповую пайку одноразовым погружением корпуса в расплавленный припой (волну припоя) при температуре до 265 °С в течение до 4 с.

3. Выводы и контактные площадки изделий должны иметь гарантированную паяемость с использованием спиртоканифольных неактивированных и некоррозионных слабоактивированных флюсов.

Методы монтажа кристаллов на выводные рамки: пайкой эвтектическими сплавами или легкоплавкими припоями, приклеиванием, посадкой на токопроводящую композицию должны обеспечить высокую прочность соединений при термоциклировании и механических нагрузках, низкое электрическое и тепловое сопротивление, минимальное механическое воздействие на кристалл и отсутствие загрязнений.

Если кристаллы приборов имеют значительную мощность рассеяния (более 0,5 Вт), то между подложкой кристалла и посадочной площадкой выводной рамки необходимо создать токопроводящий электрический контакт с незначительным электрическим и тепловым сопротивлением, что достигается использованием методов пайки. Для тех приборов, в которых мощность рассеяния кристалла невелика, а электрическое сопротивление между подложкой кристалла и рамкой незначительно влияет на работу прибора, то кристалл приклеивают на токопроводящую композицию[3].

Посадка кристалла на эвтектические сплавы помимо технологических трудностей (высокие температуры, золотое покрытие) имеет и другие недостатки. Ввиду малой пластичности эвтектики Au-Si и разницы в коэффициентах термического расширения кристалла и рамки в напаянном кристалле возникают значительные механические напряжения, что приводит к сколам кристаллов при пайке, последующих технологических операциях и механических испытаниях, а также к снижению надежности приборов.

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 [4]:

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

а напряжения растяжения :

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

где  $E$  – модуль упругости кремния,  $\alpha_1, \alpha_2$  – КЛТР кремния и кристаллодержателя,  $\Delta t$  – перегрев кристалла,  $F$  – функция зависящая от соотношения и толщины кристалла  $h_1$  и кристаллодержателя  $h_2$ .

Расчеты показали, 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 чего 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).

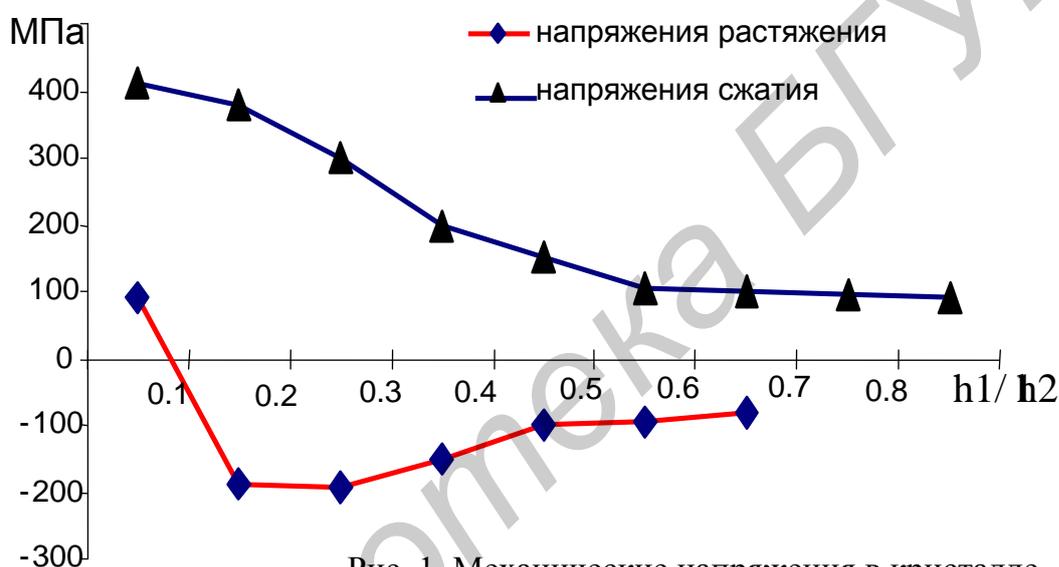


Рис. 1. Механические напряжения в кристалле

Для установления влияния различия КЛТР 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 термозвуковой 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;  $\gamma_1, \gamma_2$ — уд. вес Sn и Pb соответственно;  $A$ — требуемое содержание Pb в припое.

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, толщина слоя Pb 7,2 - 10,8 мкм, а общая толщина припоя 9,2 - 13,8 мкм.

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 облоя на теплоотводящей поверхности кристаллодержателя) на устойчивость транзисторов с  $P_{\max} = 30$ Вт в корпусе D-Пак к значительным температурным ударам, возникающих в процессе поверхностного монтажа.

### **Монтаж кристаллов вибрационной пайкой**

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 толщиной листа 6–10 мм 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.

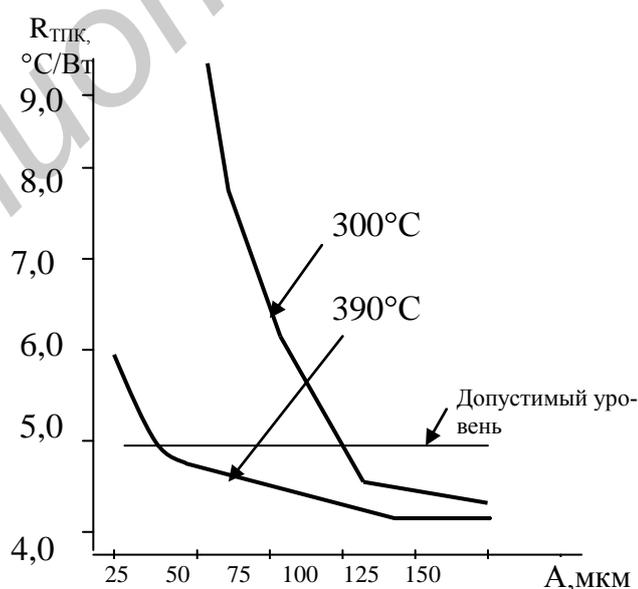
После формирования системы Ti-Ni осаждалась припойная композиция в установке электронно-лучевого испарения в вакууме «Оратория-9» в последовательности: Sn- PbSn- Sn при следующих режимах: температура напыления 280°С; напряжение 6 кВ; ток эмиссии 0,5 А; время напыления Sn<sub>1</sub> – 120 – 240 с; PbSn – 400 – 600 с; Sn<sub>2</sub> – 120 – 240 с.

Изготовленные таким образом транзисторные структуры, после соответствующего контроля по электрическим параметрам и внешнему виду, поступали на сборку. Для сборки транзисторов применялась выводная рамка из материала БрХ с полосой серебра толщиной  $7 \pm 1$  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 [5].

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

Активация процесса монтажа кристаллов за счет принудительного вибрационного воздействия при амплитудах 25–50 мкм 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 непропаями, приводящими к росту теплового сопротивления. Это особенно заметно в случае пайки кристаллов при температурах до 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 непропаи под кристаллом, что и позволяет получить требуемый уровень переходного теплового сопротивления. Это имеет существенное значение для мощных транзисторов.



Монтаж кристаллов кристаллов на уровне теплового сопротивления

Рис. 2. Влияние режимов монтажа кристаллов на уровень теплового сопротивления

пайкой на автоматическом уровне термомеханического воздействия

нических напряжений в активной структуре, снижается переходное тепловое сопротивление, повышается производительность монтажа [7].

При сборке транзисторов опробован вариант с увеличенной толщиной паяного соединения за счет использования дополнительной прокладки припоя ПОС-10 толщиной 50 мкм. Нанесение эластичного демпфирующего слоя компаунда СИ-ЭЛ 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 крошки рамки, с последующим контролем ВАХ каждого прибора и после каждой операции. В результате последовательного операционного анализа установлено, что трещины в кристалле возникают в процессе герметизации. Анализ характерного расположения трещин 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 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 в кристалле отсутствовали для вариантов сборки транзисторов с защитой кристалла эластичным демпфирующим слоем и с дополнительным демпфирующим слоем припоя. В этих вариантах в результате уменьшения глубины перепада на элементах прессформы происходит снижение внутренних напряжений в кристалле и устраняются трещины в нем.

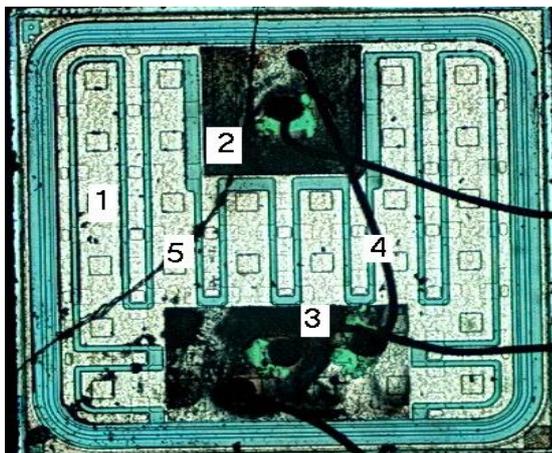


Рис.3. Внешний вид кристалла: 1- кристалл, 2,3 – контактные площадки, 4 – проволочное соединение, 5 -трещина

При герметизации корпуса пластмассой на теплоотводе 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. В процессе зачистки облоя необходимо исключать возможность грубого заглублиения 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 совершенствования конструктивно-технологического исполнения приборов и доработки прессформ 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 распределения приборов с различным конструктивно-технологическим исполнением по отказам в условиях поверхностного монтажа приведена на рис. 4. Для оптимального варианта конструктивно-технологического исполнения приборов брак не превышает 2 %.

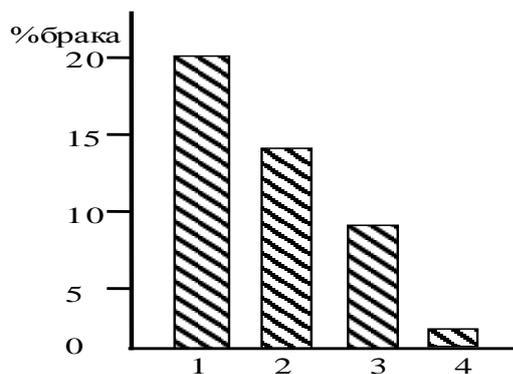


Рис.4. Гистограмма распределения приборов по отказам: 1 - малая толщина паяного соединения ( $\leq 5$ мкм), 2 - на прессформе несоответствие глубины формовки 0,25мм, 3 - защита компаундом отсутствует, 4 - оптимальный вариант

### Заключение

Предложен оптимальный вариант конструктивно-технологического исполнения мощных транзисторов в корпусе D-Пак, предназначенных для поверхностного монтажа (толщина паяного соединения не менее 8 мкм, посадка кристалла на легкоплавкий припой вибрационной пайкой, защита кристалла эластичным компаундом, глубина формовки в пределах не хуже  $\pm 0,07$ мм), обладающий высокой надежностью в условиях температурных воздействий процессов групповой пайки.

### Литература

1. Advanced Electronic Packaging / Ed. by R.K. Ulrich, W.d. Brown. N.Y.: Wiley Interscience, 2006. – 812 p.
2. Taraseiskey H. Power Hybrid Circuit Design and Manufacture. N.Y.: Marcel Dekker Inc., 1996. – 323 p.
3. Whitaker J.C. Microelectronics. N.Y.: CRC, 2006. – 400 p.
4. Omi S., Fujita K. Causes of cracks in SMD and type specific remedies // IEEE Trans.Comp. Hybrid, Manufacture Technology. – 1991. – №14. – P. 818-823.
5. Автоматизированный монтаж кристаллов мощных транзисторов / Л.П. Ануфриев, А.Ф. Керенцев, В.Л. Ланин, А.М. Иваш // Технология и проектирование в электронной аппаратуре. – 2000. – № 4. – С.32–34.

6. Ануфриев Л.П., Керенцев А.Ф., Ланин В.Л. Статистическое регулирование процесса монтажа кристаллов мощных транзисторов // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология.– 2000. – №3 (26).– С. 29–32.

7. Ануфриев Л.П., Керенцев А.Ф., Ланин В.Л. Электрические и тепловые параметры контактов при монтаже кристаллов в приборах силовой электроники // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология. – 2002. – №1 (36). –С. 74-77.

8. Ануфриев Л.П., Керенцев А.Ф., Ланин В.Л. Повышение устойчивости транзисторов в корпусе D-Рак к поверхностному монтажу // Электроника и электротехника. – Каунас: Технология. – 2003. – № 7 (49). – С. 22–25.

Библиотека БГУМР