

Повышение долгосрочной надежности с помощью медных выводных рамок

Одной из определяющих характеристик, которой следует руководствоваться при выборе полупроводникового устройства, является надежность его корпуса в условиях эксплуатации электронной аппаратуры. Понимая всю важность этого фактора, компания ISSI недавно пополнила свою обширную серию изделий запоминающих устройств (ЗУ), предлагаемую в конструктивном исполнении с медными выводными рамками и содержащую статические ОЗУ (SRAM) и электрически стираемое программируемое ПЗУ (EEPROM), еще одним устройством — синхронным динамическим ОЗУ (DRAM). В настоящее время устройства DRAM и SRAM широко представлены в корпусах TSOP с выводными рамками из сплава Alloy42. Применение меди для выводных рамок способно повысить долгосрочную эксплуатационную надежность устройства за счет повышения прочности паяных соединений и улучшения рассеяния тепла. Более того, в этой серии на выводах DRAM используется припойное покрытие из сплава никель-палладий-золото, которое устраняет проблему роста нитевидных кристаллов, или «усов». Эти характеристики особенно важны для автомобильной, медицинской, индустриальной и телекоммуникационной электроники, долгосрочное безотказное функционирование которой является жизненно важным фактором для потребителя.

Роланд ВОЛЛМЕР (Roland VOLLMER)
rvollmer@issi.com

Повышение надежности соединений

Во время срока службы электронной системы печатная плата (ПП) и паяные компоненты могут подвергаться многократным изменениям температуры на протяжении длительного времени. Предполагается, что во многих приложениях электронная аппаратура должна надежно работать при колебаниях температуры в диапазоне от -40 до $+85$ и даже $+125$ °C. Такой жесткий температурный режим реализуется, например, для сис-

темы управления автомобильным двигателем, и он может привести к неисправности системы. Причина неисправности обусловлена тем фактом, что каждый тип материала на поверхности платы имеет разную реакцию (или скорость реакции) на температуру, которая определяется его коэффициентом теплового расширения (КТР). Это свойство расширения или сжатия присуще всем компонентам системы: плате, металлическим дорожкам, передающим сигналы и энергию, пассивным и активным компонентам, припаянным к плате. Различные скорости расширения могут привести к растягивающим и сжимающим (сдавливающим) напряжениям, сосредоточенным в точках их сопряжения, которыми, в основном, являются паяные соединения. Соединения изначально стремятся иметь некоторую эластичность и поддерживать свои электрические дорожки. Однако воздействия напряжения могут накапливаться в них до состояния, при котором появляется трещина, приводящая к разрыву электрической связи (рис. 1).

Корпуса TSOP и по сей день остаются популярными из-за их относительно небольшого посадочного места, низкого профиля

и низкой стоимости. Для устройств памяти в корпусе TSOP в качестве типового материала для выводной рамки используется сплав Alloy42 (42% никеля, 58% железа). Несколько лет назад изготовители компонентов в корпусах TSOP сделали выбор в пользу имеющегося в избытке сплава Alloy42 главным образом из-за того, что на ранних этапах применения корпусов они решали некоторые проблемы их целостности. Сплав Alloy42 (КТР — около $5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) и ИС внутри корпуса (КТР — около $3 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) расширяются почти с одинаковой скоростью, что сводит к минимуму внутренние напряжения. Однако всегда имеется вероятность, что эти детали могут монтироваться на ПП с медными дорожками и контактными площадками для поверхностного монтажа. При нагреве такой ПП эти медные компоненты (КТР меди — около $17 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) будут расширяться гораздо быстрее, чем компоненты из сплава Alloy42 (имеющего КТР около $5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$), поскольку соотношение коэффициентов расширения для двух этих материалов — 3:1. На рис. 2 показано увеличенное изображение усталостной трещины, возникшей из-за рассогласования КТР, которое произошло в испытатель-

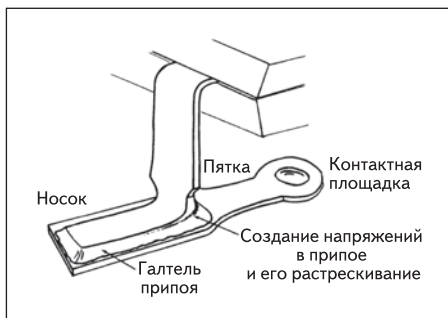


Рис. 1. Разрыв электрической связи

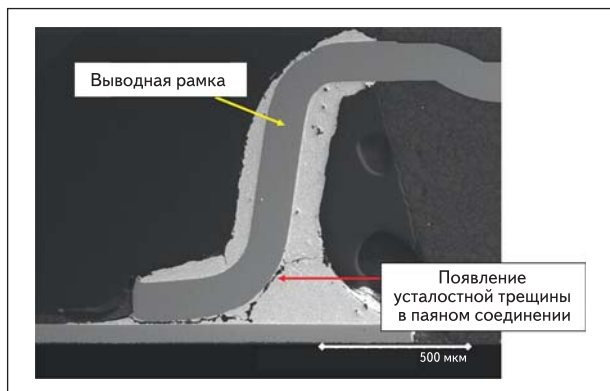


Рис. 2. Увеличенное изображение усталостной трещины

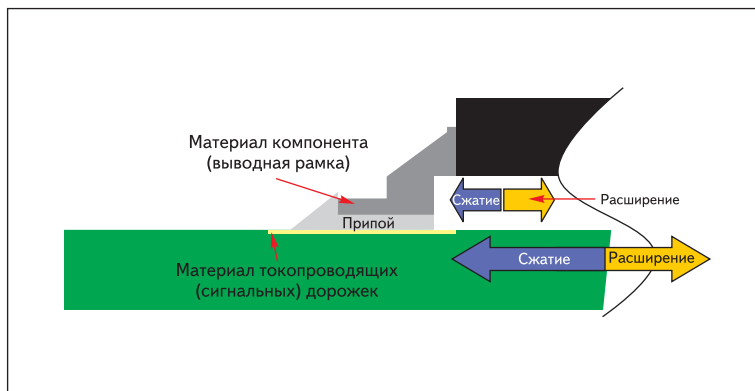


Рис. 3. Применение медной выводной рамки

ной камере после расширенных циклических воздействий температуры в диапазоне от -40 до $+125$ °С. А это могло бы привести к прерывистому контакту в паяном соединении.

Подход ISSI к повышению надежности паяного соединения заключается в применении медной выводной рамки (рис. 3), которая расширяется или сужается пропорционально медным контактным площадкам ПП. Повышению надежности соединения содействует также тот факт, что медная выводная рамка имеет более гибкие изгибы выводов, чем выводная рамка из припоя AlCu42. Вместе эти свойства сводят к минимуму напряжения на соответствующих паяных соединениях. Решение ISSI объединяет в себе структурное проектирование и испытанные материалы, гарантирующие целостность конечного изделия, которое подтверждается квалификационными (аттестационными) испытаниями корпуса.

Предотвращение роста оловянных волосков («усов»)

Совсем недавно вступил в действие закон Европейского Союза по сохранению окружающей среды, известный как директива RoHS (ограничение применения некоторых опасных веществ), но к тому времени многие изготовители ИС уже стали переходить от гальванического свинцово-оловянного (SnPb) припойного покрытия к альтернативным бесвинцовым припоям. И уже тогда электронная промышленность осознала возможные проблемы, которые придется решать при переходе к альтернативным припоям. Одна из этих проблем заключается в способности компонента создавать нитевидные кристаллы из припойного покрытия на своих выводах. Так, в отсутствие свинца в составе припоя олово, механически и электрически присоединяющее компонент к плате, иногда создавало микроскопические металлические нити, которые при определенных обстоятельствах могли значительно вырасти. Если не проводились меры по предотвращению их роста, эти волоски («усы») могли замыкать перемычками металлические контакты, при-

водить к короткому замыканию или даже к импульсу взрывной мощности. Оловянные волоски стали причиной многочисленных отказов электронной аппаратуры во время ее эксплуатации, например, в космосе. Некоторые наиболее известные отказы происходили в дорогих спутниках связи, стоимость которых иногда превышала \$200 млн.

Точный механизм образования волосков сложен и не до конца понятен, но причины его выяснены и могут включать условия окружающей среды, применяемые материалы, процесс гальванического покрытия припоя, а также технологии, используемые при создании платы. К счастью, существуют методы анализа и сокращения потенциального риска появления этого механизма. В качестве стандартного бессвинцового гальванического материала ISSI применяет чистое матовое олово (Sn). Оно широко используется и, отвечая требованиям директивы RoHS, применяется в качестве альтернативного покрытия для ИС компонентов. Одним из методов смягчения воздействия оловянных «усов» (рис. 4), рекомендуемых JEDEC (Объединенным инженерным советом по электронным устройствам) для этого типа материала, является обжиг: во время производства все детали из чистого матового олова (ISSI) обжигаются в течение одного часа при 150 °С. Эта процедура сокращает вероятность и степень последующего формирования волосков за счет рассеяния и ослабления напряжений, локализованных в пределах микроскопических структур материала припоя. Для подтверждения аттестации готовых компонентов ISSI проводит испытания на соответствие требованиям спецификации JEDEC — «JESD201 – Class 2», которая включает периодические воздействия окружающей среды с последующим измерением металлизированных поверхностей под увеличением.

В электронной промышленности, в основном, допускается применение обожженного гальванического чистого матового олова. Однако организация iNEMI (Международная ассоциация производителей электроники) считает наиболее предпочтительным гальваническим материалом сплав никель–палла-

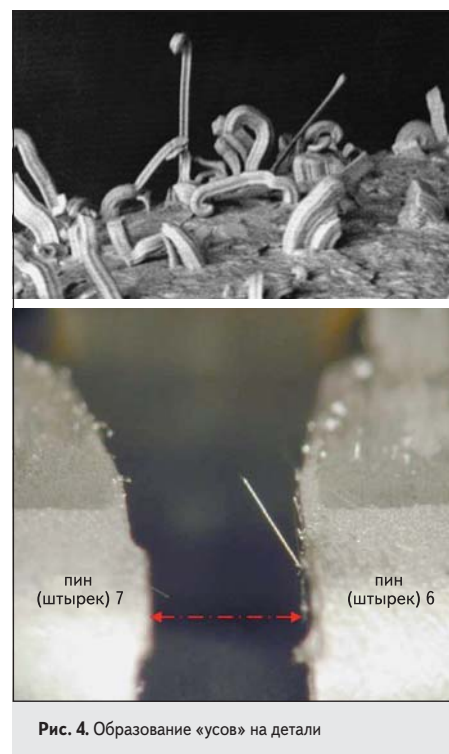


Рис. 4. Образование «усов» на детали

дий–золото (NiPdAu), который устраняет риск образования оловянных волосков. И для своего нового предложения — DRAM с медной выводной рамкой — ISSI выбрала этот тип покрытия, который наилучшим образом подходит для тех систем, в которых недопустима любая вероятность появления оловянных «усов». Если волосок замыкает перемычкой зазор между пинами (штырьками) или нарушает его, это может привести к короткому замыканию и отказу системы (рис. 5).

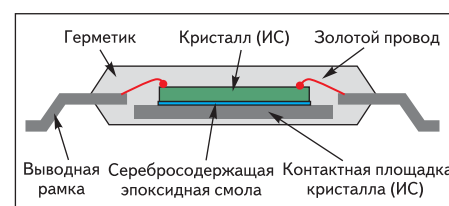


Рис. 5. ISSI DRAM в корпусе TSOP с медной выводной рамкой

Наилучшее рассеяние тепла

ISSI DRAM в корпусе TSOP с медной выводной рамкой несет в себе еще одно преимущество: оно приводит к уменьшению теплового сопротивления, поскольку тепло внутри системы передается намного быстрее. Коэффициент теплопроводности меди равен 170 Вт/м·К, а для сплава Alloy42 он почти в десять раз меньше и составляет только 14 Вт/м·К. Это приводит к лучшему рассеянию тепла от ИС к выводной рамке, которое, в результате, выделяется в окружающий воздух, и, вследствие этого, уменьшается тепловое напряжение внутри компонента. Тепловое напряжение на ИС — одна из главных причин немеханического отказа компонента при долгосрочном применении. Согласно теории, чем выше уровень температуры внутри детали, тем короче рабочий ресурс этой детали, так как внутренняя схема может подвергаться воздействию факторов старения.

Таблица. Значения теплопроводности

	Теплопроводность, Вт/м·К	θ_{ja} , °C/Вт
Сплав Alloy42	14	89
Медь	170	52

Примечание. Расчет θ_{ja} выходит за рамки обсуждения предмета статьи. В повышении рассеяния тепла помимо теплового сопротивления θ_{ja} играют роль и другие факторы.

Для иллюстрации возможностей рассеяния тепла компонента ЗУ с двумя типами выводной рамки проводилось программное моделирование с учетом известных свойств материалов. Был предположен экстремальный, но гипотетически возможный набор условий, для которых были построены графики температурных градиентов этих компонентов (рис. 6). В таблице приведены параметры, необходимые для расчета теплового сопротивления θ_{ja} между ИС и окружающей средой для четырехслойной ПП при отсутствии воздушного потока (0 м/с).

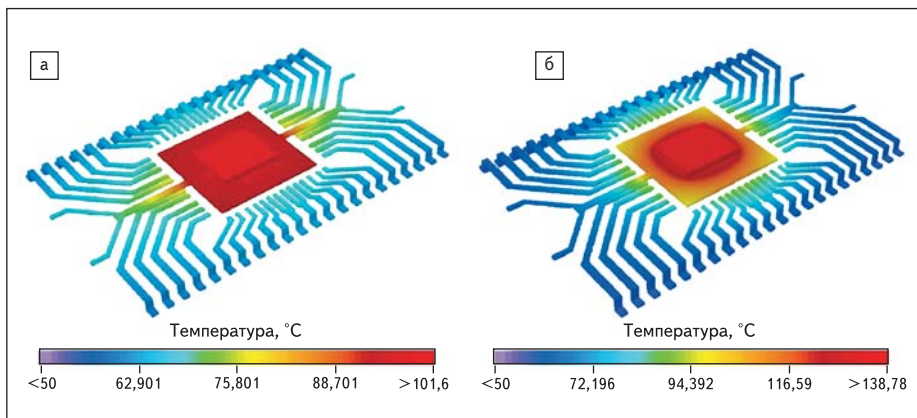


Рис. 6. Графики температурных градиентов

Примечание. Изображения приведены в разной температурно-цветовой шкале.

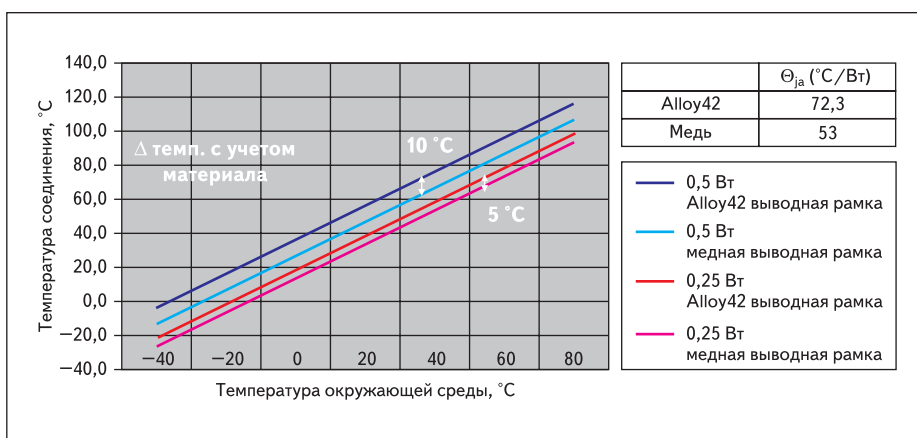


Рис. 7. График температуры окружающей среды в сравнении с температурой ИС

В данном моделировании оба компонента имеют единственное отличие — это тип выводной рамки. Все остальные параметры — энергопотребление, температура окружающей среды (50 °C), отсутствие воздушного потока, используемые материалы, включая кремний, — одинаковы. ИС с выводной рамкой из сплава Alloy42 с меньшей теплопроводностью (рис. 6a) нагревается до 139 °C. Температура нагрева ИС с медной выводной рамкой (рис. 6b) гораздо ниже: только 102 °C.

Здесь полезно дать некоторые пояснения. Тепло, которое выделяется внутри ИС в процессе ее работы, необходимо отводить в выводную рамку и герметик, а затем — на плату и в окружающий воздух. Обычно более низкое значение θ_{ja} обеспечивает более высокую теплопроводность от кристалла к воздуху. Температура кристалла (или соединения) задается формулой:

$$T_j = T_a + \theta_{ja} \times P.$$

Для наглядности в данном примере сделаны некоторые допущения: так, если устройство потребляет мощность около 1 Вт (P), то в компоненте с выводной рамкой из Alloy42 температура кристалла (T_j) будет на 89 °C выше температуры воздуха ($T_j = T_a + 89 \times 1$).

Применение медной выводной рамки приводит к тому, что температура кристалла будет выше температуры воздуха только на 52 °C. Показана полезность применения медной выводной рамки, которая заключается в реальной возможности снижения температуры соединения на 37 °C. В реальном примере энергопотребление ЗУ ISSI, вероятно, будет гораздо ниже 1 Вт, который был использован при сравнении.

В следующем варианте моделирования был выбран другой компонент ЗУ, и снова проводилось сравнение вариантов исполнения с медной выводной рамкой и выводной рамкой из Alloy42 (рис. 7). Было определено, что деталь с медной выводной рамкой имеет тепловое сопротивление $\theta_{ja} = 53$ °C/Вт, а деталь с выводной рамкой из Alloy42 имеет тепловое сопротивление $\theta_{ja} = 72,3$ °C/Вт. Если в данном примере ЗУ потребляет 250 или 500 мВт, то ИС в компоненте с медной выводной рамкой все равно находится при температуре на 5 или 10 °C ниже, чем температура ИС в ЗУ с выводной рамкой из Alloy42 (рис. 7). Снижение нагрева ИС даже на 5 °C может продлить ее «рабочие» годы в эксплуатации. В результате, опция с медной выводной рамкой обеспечивает более эффективную и надежную эксплуатацию изделий. ■