

2) Припой на контактной площадке до основания чипа имел зернистую структуру (рис.3).

3) Рентген показал наличие пустот под чип-компонентом, однако в самой галтеле припоя пустоты отсутствовали (рис.4).

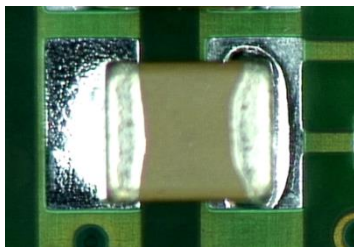


Рисунок 3 - Пример зернистости припоя

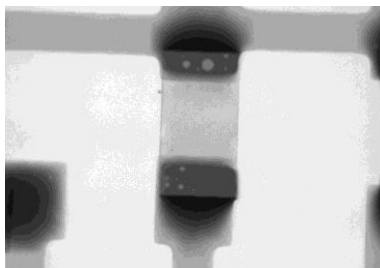


Рисунок 4 - Рентгеновское изображение чип-компонента с зернистой галтелью

В качестве предполагаемых причин возникновения дефекта методом экспертных оценок [2] были предложено следующее:

1. Окисление поверхности контактной площадки и выводов чип-компонентов.
2. Ошибки в выборе стратегии нанесения паяльной пасты.
3. Некачественная паяльная паста.
4. Ошибки в формировании термопрофиля.

УДК 621.382

АНАЛИЗ ТЕРМИЧЕСКИХ ОТКАЗОВ В ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВАХ

А.А. Рожков

Самарский университет, г. Самара

Термические отказы можно разделить на следующие основные группы:

- 1) отказы, возникающие вследствие электрических перегрузок проводников;
- 2) отказы, возникающие под действием внешних тепловых полей;
- 3) отказы, возникающие из-за термических пробоев диэлектриков и полупроводников.

Рассмотрим процесс возникновения отказов гибридной микросхемы вследствие электрических перегрузок в токонесущем проводнике исходя из следующего уравнения сохранения энергии:

$$I^2 R_1 (1 + \alpha_1 \Delta T) dt = Cd\Delta T + \frac{\Delta T}{R_T} dt, \quad (1)$$

где I – ток, текущий по проводнику, А; R_1 – сопротивление проводника при температуре окружающей среды, Ом; α_1 – коэффициент температуры окружающей среды: $\alpha_1 = (T_1 + 234,45)^{-1}$; T_1 – окружающая температура, °С; t – продолжительность протекания тока по проводнику, с; C – теплоемкость нагреваемого материала, Дж/°С; R_T – тепловое сопротивление проводника в монтаже схемы рассматриваемого типа, °С/Вт; ΔT – средний рост температуры по длине проводника, °С.

Левая часть уравнения (1) представляет собой энергию рассеяния, выделяемую протекающим током, а два члена правой части – запасенную энергию и энергию излучения изделия соответственно.

Проведенные исследования показали, что теплоемкость C зависит от времени. Физически это означает, что с течением времени нагревается все больше и больше вещества, причем вначале нагревается только проводник и небольшие части подложки и покрытия. Однако, если временная ось разделяется на соответствующие интервалы времени, оказывается, что теплоемкость C приблизительно постоянна на каждом таком интервале. Средний рост температуры в установившемся режиме:

$$\Delta T_0 = \frac{I^2 R_1 R_T}{(1 - I^2 R_1 R_T \alpha_1)}, \quad (2)$$

где C_1 – теплоемкость на интервале времени $[0, t_1]$; C_2 – теплоемкость на интервале времени $[t_1, t_2]$; C_3 – теплоемкость на интервале времени $[t_2, \infty]$.

При $\Delta T_0 \rightarrow \infty$ температура проводника быстро поднимается выше допустимого уровня, что приводит к повреждению схемы. Критический ток в этом случае определяется по формуле

$$I_{кр} = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_T \alpha_1}}. \quad (3)$$

При $t \rightarrow 0$, т. е. в начальной стадии прохождения тока, процесс нагрева является адиабатическим, и рост температуры определяется соотношением

$$\Delta T = I^2 R_1 t / C_1. \quad (4)$$

При $t \rightarrow \infty$ рост температуры определяется по формуле

$$\Delta T = \Delta T_0 = \frac{I^2 R_1 R_T}{(1 - I^2 R_1 R_T \alpha_1)}, \quad (5)$$

т. е. рост температуры в установившемся режиме зависит от произведения электрического сопротивления (свойство проводника) и теплового сопротивления (свойство окружения проводника). Таким образом, для данного тока I и температуры окружающей среды T_1 величину ΔT_0 можно снизить только уменьшая произведение $R_1 R_T$.

Параметры, необходимые для расчетов по формулам (1) – (5) определялись экспериментально. Экспериментальный метод определения параметров базируется на измерении роста температуры ΔT вдоль проводника в функции времени при приложении скачкообразно

изменяющегося тока. Измерение основано на формуле термометра сопротивления

$$\frac{U}{I} = R = R_1[1 + \alpha_1 \Delta T],$$

где U – напряжение на проводнике; I – скачок изменяющегося тока; R – измеренное сопротивление проводника.

Процедура измерения ΔT следующая: регистрируется температура окружающей среды T_1 и с помощью мостика Кельвина переменного тока измеряется R_1 , для чего по проводнику пропускают небольшой ток (100мА или меньше), который вызывает незначительный подъем температуры. Затем скачкообразно изменяющийся ток пропускают через испытуемый проводник, что приводит к падению напряжения на проводнике, которое регистрируется как функция времени. Для проведения этих экспериментов широко используются средства передачи данных и обработка данных на ЭВМ. Имеется специальная программа ЭВМ для редактирования накопленных данных и построения графиков.

Пользуясь этими соотношениями, были рассчитаны изменения температуры проводника.

УДК 621.382

МОДЕЛИ ОТКАЗОВ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

А.А. Рожков

Самарский университет, г. Самара

Одним из распространённых отказов полупроводниковых микросхем является короткое замыкание. Известно, что образование короткого замыкания связано с диффузией материала проводника по сквозной поре в окисной пленке. Процесс приводит к уменьшению значения пробивного напряжения элемента U_{np} и описывается формулой:

$$U_{np}(t) = \frac{U_{np}(0)}{d_0} \cdot (d_0 - 2\alpha\sqrt{Dt})$$

где $D = D_0 \cdot \exp(-\frac{E_a}{kT})$, $E_a = 1,2 \text{ эВ}$, $D_0 = 10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ см}^2/\text{с}$.

Здесь $U_{np}(0)$ – первоначальное значение пробивного напряжения; d_0 – первоначальное расстояние между металлизированной дорожкой и кремнием вблизи сквозной поры; D – коэффициент диффузии материала проводника (Al) по поверхности сквозной поры; E_a – энергия активации процесса диффузии; α – постоянная. Если принять за критерий отказа допускаемое значение отношения первоначального напряжения к