

КОНТРОЛЬ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ «ПРИПОЙ – Ag-МЕТАЛЛИЗАЦИОННОЕ ПОКРЫТИЕ» П/П КРИСТАЛЛОВ

Волкенштейн С.С.¹, Барбарчук Д.В.¹, Хмыль А.А.²

¹УП «КБТЭМ-СО», Минск, Республика Беларусь,

²УО «БГУИР», Минск, Республика Беларусь

Потребительский спрос на изделия силовой электроники в мире имеет стойкую тенденцию роста. Одной из ключевых технологических операций их производства является пайка полупроводникового кристалла к корпусу в защитно-восстановительной среде формирующего газа. Только этот вариант присоединения кристалла обеспечивает надёжный теплоотвод со всей площади кристалла и, следовательно, надёжную и долговечную работу силового полупроводникового прибора.

В установке автоматического монтажа п/п кристаллов модели 2008 фирмы ESEC (Швейцария) применяется устройство дозирования припоя, использующее припойную проволоку или ленту (рис 1), причём нанесение припоя на монтажную Ni поверхность корпуса производится до позиции монтажа п/п кристаллов. Это позволяет гибко управлять нагревом изделий, как на позиции предварительного нанесения припоя, так и на позиции монтажа.

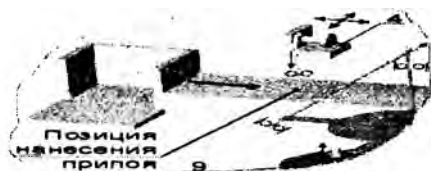


Рисунок 1 – Фрагмент схемы кинематической автомата монтажа п/п кристаллов. 4 – дозатор проволоочного припоя на координатном столе

При сборке мощных выпрямительных п/п диодов необходима промежуточная операция нанесения дозы припоя на Ag-металлизацию планарной стороны кристалла (рис. 2). При этом напрашивается мысль применить дозатор, аналогичный тому, который дозирует проволоочный припой на монтажную Ni поверхность корпуса до монтажа п/п кристалла.



Рисунок 2 – Внешний вид контролируемого образца

Исследованию подверглись паяные соединения образцов группируемых по типу использу-

емых припоев (Пср ОСу 8; Пср 2.5; Пср 1.5; спецприпой $T_{\text{плавл.}} = 221^{\circ}\text{C}$) для нанесения дозы на Ag-металлизационную планарную поверхность п/п кристаллов с прогоном через водородную печь и без него.

В процессе проведения исследования использовался неразрушающий метод лазерного фотоакустического (ЛФА) контроля микросварных и паяных соединений в полупроводниковых приборах и ИМС, который заключается в импульсном лазерном сканирующем зондировании поверхности образца с последующей визуализацией его внутренней структуры в 16-ти градационном цветном изображении, на котором уровень максимальной сплошности (диффузия, адгезия, смачиваемость) представлен чёрным цветом, а по мере увеличения несплошности (расслоения, полости, инородные включения) цветовая гамма меняется вплоть до белого цвета, проходя все цветовые оттенки, показанные на шкале (рис. 3) [1]. Пространственное разрешение X, Y – 50 мкм. Максимальная чувствительность к нарушению сплошности ≥ 5 нм.

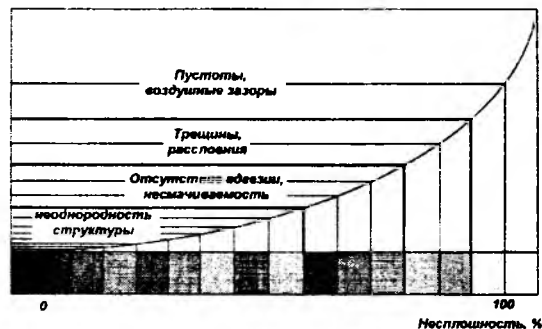


Рисунок 3 – Цветная 16-градационная шкала

Кроме вышеуказанного метода для подтверждения достоверности результатов проводились рентгеноскопический и разрушающий методы.

На лазерных фотоакустических топограммах подавляющего большинства образцов присутствует специфическая зона (рис. 4 а, зона 1) характеризующаяся максимальной несплошностью паяного соединения «кристалл-припой» и являющаяся следствием механического воздействия конца проволоочного припоя на Ag-металлизационное покрытие п/п кристалла во время касания, термодинамического удара во время нагрева и плавления по мере отработки величины капли дозатором припоя.

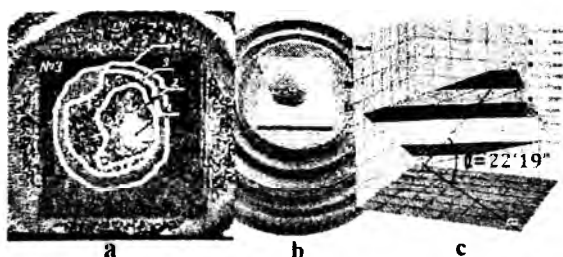


Рисунок 4 – Лазерная фотоакустическая топограмма исследуемого образца №3 (а), внешний вид сверху (б) и профиль поверхности п/п кристалла (с) соответственно

Вследствие нагрева, на металлизацию п/п кристалла воздействуют силы растяжения, что обуславливает возникновение в области дефектов концентраторов напряжений (≤ 200) [1]. В зависимости от конфигурации конца проволочного припоя в точке касания из-за большого удельного давления неизбежно происходит различной степени травмирование металлизации с возникновением дефектов (рис. 4а, зона 1). Далее, в точке касания происходит подохлаждение металлизации по мере нагрева припоя и достижения точки фазового перехода с интенсивной теплоотдачей (скрытая теплота плавления) при ограниченном тепловом потоке – термоудар. На границе локально охлажденной до $T_{\text{плавл припоя}}$ области металлизационного покрытия действуют противоположно направленные силы сжатия (внутри области) и растяжения (снаружи области), что в точке приложения эквивалентно силе растяжения равной сумме модулей приложенных векторов. По мере подачи проволочного припоя до обеспечения требуемой дозы происходит растекание припоя, что приводит к расширению локально охлажденной области (рис. 4а, зона 2) и удлинению границы скачкообразного изменения температурного градиента ($T_{\text{печи}} - T_{\text{плавл припоя}}$). По окончании формирования дозы припоя теплоотдача уменьшается, происходит нагрев капли и её растекание с эксцентриситетом, обусловленным неплоскостью образца (рис. 4с). Скатывание жидкой капли припоя обусловлено превалированием отрывающей силы $P = \frac{\pi}{6} D_c^2 \rho g \sin \alpha$ (D_c – диаметр капли, ρ –

удельная плотность припоя, α – угол наклона плоскости) над адгезионной силой $P_a = W_a \cdot s$, которая зависит от краевого угла смачивания Θ ($\cos \Theta = \frac{\sigma_{\text{тг}} - \sigma_{\text{жг}}}{\sigma_{\text{тж}}}$, где $\sigma_{\text{тг}}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз «твёрдое тело – газ»; $\sigma_{\text{тж}}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз «твёрдое тело – жидкость»; $\sigma_{\text{жг}}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз «жидкость – газ»). Плохая смачиваемость в данном случае является следствием ряда факторов:
1) разрушение верхнего слоя Ag-металлизации в зоне 1 (рис. 4а, зона 1);

2) повреждение верхнего слоя Ag-металлизации в результате термоудара, низкая температура ($T_{\text{плавл припоя}}$) жидкого припоя в зоне 2 (рис. 4а, зона 2);
3) увеличение краевого угла смачивания Θ за счет большого $\sigma_{\text{жг}}$, возникновения гистерезиса смачивания, вызванного шероховатостью поверхности металлизации ($\cos \Theta_{\text{ш}} = K \cos \Theta$, где K – коэффициент шероховатости), загрязнением поверхности, ее химической неоднородностью и эффектом натекания жидкой фазы.

После выравнивания температур ($T_{\text{печи}} = T_{\text{припоя}}$) на периферии создаются идеальные условия для качественной пайки (рис. 4а, зона 4).

Проведение разрушающего контроля путём размонтирования готового изделия подтвердило все вышеприведенные суждения. Визуальный осмотр конфигурации остатков припоя на планарной стороне п/п кристалла и соответствующей монтажной стороне электрода позволяет выделить всё те же специфические зоны несплошности в припойном слое (рис. 5).



Рисунок 5 – Внешний вид следов припоя на монтажных поверхностях кристалла и верхнего электрода после проведения разрушающего контроля п/п диода. 1, 2 – зоны механического травмирования металлизационного покрытия и термодинамического удара, 3 – зона нагрева капли до $T_{\text{печи}}$ и её растекания с эксцентриситетом, обусловленным неплоскостью образца

Неразрушающим лазерным фотоакустическим методом контроля были выявлены характерные дефектные зоны в области паяного соединения, что подтвердилось при проведении разрушающего контроля готового изделия. Рентгеновский контроль оказался неэффективным, в первую очередь из-за недопустимой толщины исследуемого образца.

Проведен анализ причин возникновения дефектных зон в области пайки, а также рассмотрены физические процессы в данной области в первом приближении.

1. Волкенштейн, С.С. Незарушающие методы контроля качества монтажа полупроводниковых кристаллов в корпуса ИМС/ С.С. Волкенштейн, А.А. Хмыль // Технологии в электронной промышленности - №2. - 2011. - С. 18-22.