

УДК 621.382.049.77.002

ОПЕРАТИВНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ СБОРОК FLIP-CHIP

А. Р. Новоселов, И. Г. Косулина

*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова СО РАН,
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 13
E-mail: novoselov@thermo.isp.nsc.ru*

Рассмотрен разрушающий метод исследования прочности сборок flip-chip (в частности, фотоприемников), заключающийся в отрыве одной микросхемы от другой с нагревом (не ниже 383 К) после термоциклирования. Метод позволяет контролировать адгезионные свойства столбов связи, например индиевых, в сборках flip-chip, определить причины разрушения связи в фотоприемниках. Представлены примеры причин отказов в работе охлаждаемых фотоприемников на основе МЛЭ КРТ.

Ключевые слова: фотоприемники, технология flip-chip, индиевые столбы связи, адгезия, усилие на отрыв.

Современные охлаждаемые фотоприемники (ФП), предназначенные для контроля тепловых полей в спектральном диапазоне 8–14 мкм, состоят из приемников излучения: фотоприемных матриц (ФПМ) на основе узкозонных полупроводниковых материалов (в нашем случае из матриц n – p -переходов в пленках HgCdTe p -типа на GaAs-подложке [1]) и кремниевых мультиплексоров (КМ). Сборка ФП осуществляется методом перевернутого кристалла (технология flip-chip), когда каждый n – p -переход ФПМ соединяется со своей входной ячейкой КМ через столбы связи, сформированные как на ФПМ, так и на мультиплексоре и сваренные между собой в процессе сборки, что обеспечивает механическую прочность ФП. Материалом для столбов связи чаще всего служит индий, который остается пластичным и при температуре работы охлаждаемых ФП (77–100 К), и при комнатной температуре (300 К).

Надежность ФП в настоящее время определяется методом неразрушающего контроля надежности партии, когда часть собранных ФП подвергают термоциклированию в диапазоне температур 77–300 К с контролем электрофизических параметров на измерительных стендах до и после испытаний. Метод фиксирует только разрыв связи между ячейками ФПМ и КМ, но не дает ответа о причинах нарушения механической прочности ФП.

Для определения причин нарушения механической прочности используется метод разрушающего контроля ФП с применением сдвига ФПМ относительно КМ [2]. Этот метод позволяет определять усилия на разрыв ФП и выявлять области, где сила адгезии индиевых столбов к контактным площадкам или между индиевыми столбами не превышает силу разрыва индиевого столба в поперечном направлении.

Методом разрушающего контроля с применением отрыва ФПМ от КМ также определяют области со слабой адгезией индиевых столбов к контактным площадкам или со сваркой индиевых столбов между собой. Этот метод является более предпочтительным в сравнении с методом разрушающего контроля с применением сдвига, так как позволяет выявлять области с недостаточной для ФП адгезией в более широком диапазоне усилий на отрыв. Такое усилие превышает усилие на сдвиг индиевого столба в 2,5 раза.

Общим недостатком применения методов после термоциклирования является невозможность разделения областей разрыва при термоциклировании и во время принудительного разрыва ФП. Следовательно, после термоциклирования их можно применять только совместно с электрическим контролем разрывов связи в ФП. Использование не дающих

объективной информации методов разрыва в научных исследованиях приводит к неправильному описанию результатов. Так, в [3] при применении для разрыва ФП метода сдвига сделан вывод, что сварка индиевых столбов осуществляется только по периферии (область выдавленного чистого индия), а по поверхности столба сварки не происходит.

Цель данной работы — описать метод исследования и контроля адгезионных свойств столбов связи в ФПМ и КМ и качества сварки столбов между собой, заключающийся в отрыве одной микросхемы от другой при температурах не ниже 383 К после термоциклирования. Метод позволяет не использовать электрический контроль соединений в ФП, так как условия отрыва столбов связи при термоциклировании и во время принудительного отрыва различны.

В [4] описан метод разрушающего контроля с применением отрыва, позволяющий визуализировать области сварки между собой индиевых столбов в ФП, собранных по технологии flip-chip. Особенностью метода является нагрев ФП перед разрывом до температур 383 К и выше. Индий при данных температурах становится достаточно пластичным и во время разрыва вытягивается из областей сварки в направлении отрыва с формированием характерных тянущихся «пик». Предлагаемый метод реализован в устройстве, описанном в [5]. Недостатком метода является то, что при нагреве усилия на отрыв индиевых столбов друг от друга становятся меньше, чем сила адгезии индия к контактным площадкам КМ и ФПМ. Следовательно, этим методом нельзя определить силу адгезии индиевых столбов к контактным площадкам. При применении метода после термоциклирования, когда разрыв столбов связи или отрыв их от контактных площадок в ФП обусловлен разностью изменения размеров мультиплексоров и ФПМ при охлаждении, из-за разных температурных коэффициентов линейного расширения такие разрывы не имеют характерных пиков на индиевых столбах связи. Здесь требуется измерение усилий на отрыв, которое осуществляется следующим образом. Отрыв происходит под действием силы тяжести. Постепенное увеличение веса с выдержкой в 5 мин позволяет измерять усилия на отрыв. Более подробно результаты исследования качества сварки индиевых столбов в ФП описаны в [6]. Сравнение усилий на разрыв ФП линейчатого типа (1540 индиевых столбов размером 20×20 мкм) после 100 термоциклов показало, что для ФП, не выдержавших испытания, отрыв происходил при прикладывании веса ~ 210 мг на столб, а для ФП, прошедших испытания, — при весе не менее 295 мг на столб. Причиной разрушения всех не прошедших испытания ФП была слабая адгезия индиевых столбов связи к никелевым контактным площадкам в ФПМ.

Один из результатов практического применения метода отрыва с нагревом после термоциклирования ФП представлен на рис. 1 (фрагмент ФПМ размером 4×288 после термоциклирования (200 циклов в диапазоне изменения температуры 77–300 К) и разрыва при температуре 383 К). Цифрами на рисунке обозначены: 1 — индиевый столб, связь которого с ответным столбом была разорвана при термоциклировании; 2 — отрыв индиевого столба от никелевой контактной площадки при термоциклировании из-за плохой адгезии индия к никелю; 3 — частичный отрыв индиевого столба от никелевой контактной площадки с сохранением связи с ответным столбом. Индиевые пики указывают на области сварки индиевых столбов между собой на момент отрыва с нагревом.

Сравнение результатов измерения электрических параметров ФП (размером 4×288) с результатом применения метода отрыва с нагревом после термоциклирования представлено на рис. 2. ФП обладает структурой линейчатого типа, в строке 288 точек, информация каждой точки изображения считывается с четырех n — p -переходов. На электрической карте соединений в ФП максимальная амплитуда в точке строки соответствует электрической связи всех четырех n — p -переходов ФПМ с кремниевым мультиплексором. Разрыв каждой связи приводит к пропорциональному уменьшению амплитуды сигнала. В данном случае разрыв связи в ФП вызван плохой адгезией индиевых столбов к никелевым контактным

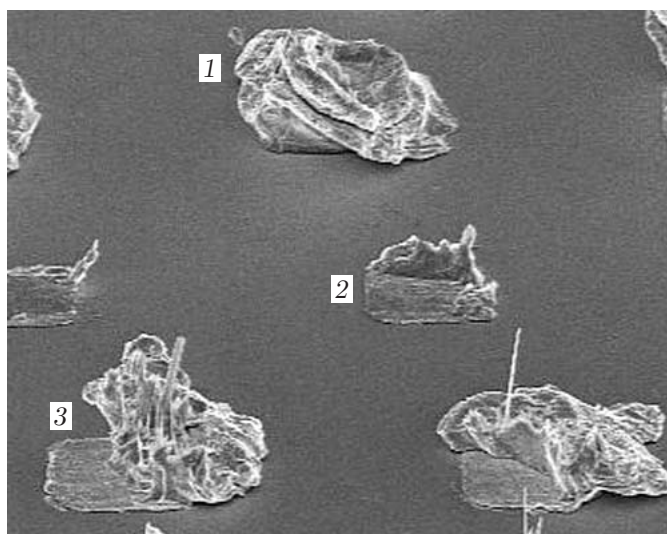


Рис. 1

площадкам в ФПМ (на рисунке никель показан светлыми точками, индиевые столбы — черными). Сравнение результатов применения двух методов показывает, что существуют области, в которых при применении метода отрыва с нагревом фиксируется отрыв индиевых столбов от никелевых контактных площадок, в то время как при применении электрического контроля связь между КМ и ФПМ в этих областях регистрируется. Выявление таких областей электрическим контролем осуществляется по измерению шумовых характеристик ФП при рабочих температурах, что дополнительно усложняет контроль электрическими методами.

Предложенный в данной работе метод контроля сборок flip-chip использовался в исследованиях надежности ФП, качества сварки индиевых столбов и адгезионных свойств столбов связи к контактным площадкам для определения сбоев технологии. Его можно применять без электрического контроля соединений в ФП.

Авторы благодарят Т. И. Захарьяш за предоставленные КМ и ФПМ для проведения экспериментов, В. А. Фатеева за сборку ФП, Т. А. Гаврилову за фотографии результатов

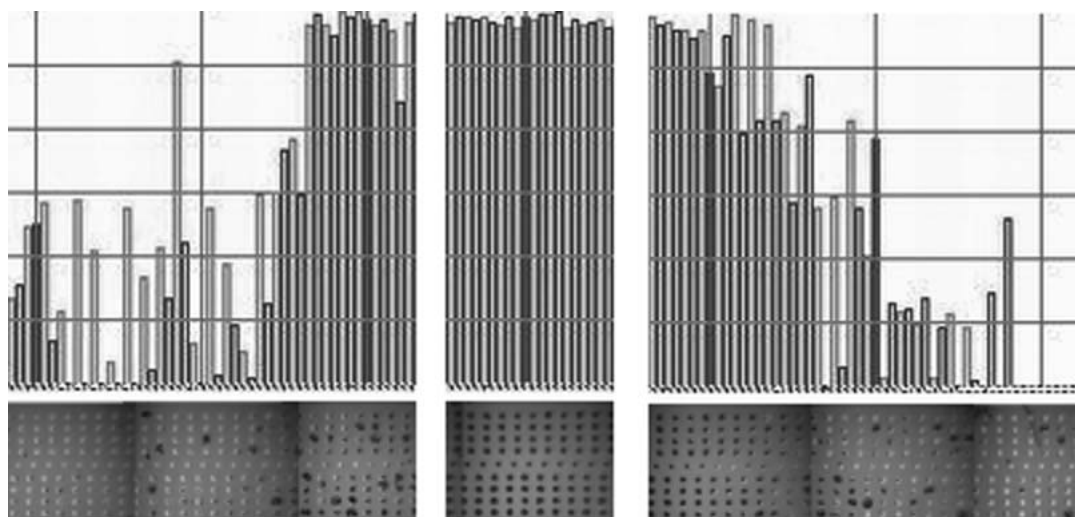


Рис. 2

разрыва ФП на растровом электронном микроскопе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Varavin V. S., Dvoretzky S. A., Liberman V. I. et al.** Molecular beam epitaxy of high quality $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ films with control of the composition distribution // Journ. Cryst. Growth. 1996. **159**, N 1–4. P. 1161–1166.
2. **Chu K.-M., Lee J.-S., Cho H. S. et al.** Characteristics of indium bump for flip-chip bonding used in polymeric-waveguide-integrated optical interconnection systems // Jap. Journ. Appl. Phys. 2004. **43**, N 8B. P. 5922–5927.
3. **Курышев Г. Л., Ковчавцев А. П., Вайнер Б. Г. и др.** Медицинский тепловизор на основе матричного ФПУ 128×128 , работающий в диапазоне спектра 2,8–3,05 мкм // Автометрия. 1998. № 4. С. 5–12.
4. **Airoidi A., Alimonti G., Amati M. et al.** A chip removal facility for indium bump bonded pixel detectors // Nucl. Instrum. and Meth. Phys. Research. A. 2005. **540**, N 2–3. P. 259–265.
5. **Паулиш А. Г., Бикташов А. М., Кузьмин Н. Б. и др.** Формирование и обработка индиевых столбов для сборки матричных фотоприемных устройств методом перевернутого кристалла // Sensor Electron. and Microsyst. Techn. 2007. N 3. С. 60–65.
6. **Новоселов А. Р., Косулина И. Г., Клименко А. Г. и др.** Индиевые столбы для flip-chip технологии матричных фотоприемных устройств на основе пленок CdHgTe , выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии // Изв. вузов. Сер. Материалы электронной техники. 2008. № 3. С. 60–63.

Поступило в редакцию 16 июля 2008 г.
