

# Сборка фотоприемных устройств методом Flip-Chip

Рассмотрен процесс формирования контактных соединений фотоприемной матрицы (ФПМ) и кремниевого мультиплексора (КМ) методом перевернутого кристалла (Flip-Chip), когда каждый фоточувствительный  $p-n$ -переход ФПМ соединяется со своей входной ячейкой КМ через столбики связи — бампы.

Александр Видрицкий

AVidritskiy@integral.by

Владимир Ланин

Введение

Высокая скорость, большая плотность упаковок, оптимизация размеров и многофункциональность — вот основные направления развития современной электроники. Применение сборки по технологии 3D-интеграции позволяет следовать этим тенденциям, увеличивая функциональность каждой отдельно взятой единицы площади электронного изделия. Особенно важно применение данной технологии в производстве микропроцессоров, компонентов памяти, сенсоров и датчиков. Выбор оптимальной технологии монтажа кристаллов определяется следующими требованиями:

- малые размеры кристаллов;
- малый шаг выводов;
- высокая температурная, электрическая и механическая стабильность.

Этим требованиям удовлетворяет диффузионная пайка с переходящей жидкой фазой. Необходимость работы с тонкими кристаллами с большим количеством низкопрофильных контактных выводов и малым шагом выводов указывает на важность выбора микромонтажного оборудования, обеспечивающего высочайшую точность монтажа кристаллов, большие усилия прижима и параллельность кристалла подложке в процессе его установки и пайки [1].

Современные ИК фотоприемные устройства (ИК ФПУ) состоят из кремниевого мультиплексора (КМ) и фотоприемной матрицы (ФПМ), на рис. 1 показан внешний вид QWIP-датчика (Quantum well infrared photodetector — инфракрасный фотоприемник с квантовыми ямами) компании Innova.

Сборка осуществляется методом перевернутого кристалла (Flip-Chip), когда каждый фоточувствительный  $p-n$ -переход ФПМ соединяется со своей входной ячейкой КМ через столбики связи — бампы. В качестве материала столбиков чаще всего применяют различные припои, а также индий благодаря его хорошей адгезии к контактным площадкам КМ и ФПМ и пластичности как при рабочей температуре ФПУ (77–100) К, так и при комнатной температуре. К тому же индиевые столбы обеспечивают механическую прочность гибридной сборки фотоприемников.

Естественный химический процесс окисления индия приводит к формированию на поверхности бампов окисной пленки. Поэтому при сдавливании

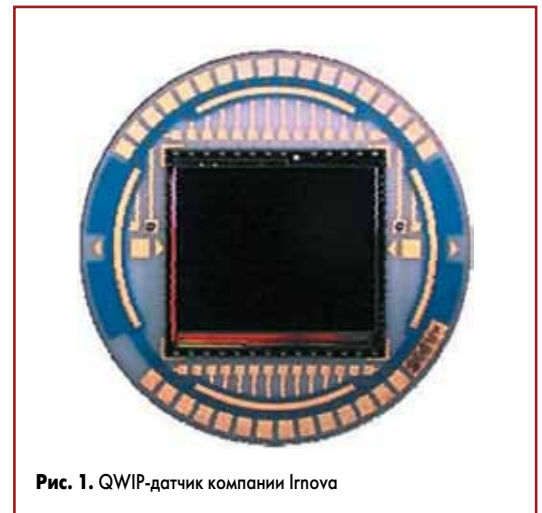


Рис. 1. QWIP-датчик компании Innova

бампов в процессе сборки, когда происходит их совместная деформация, необходимо добиться разрушения пленки. Сформированные методом фотолитографии бампы имеют плоскую контактируемую поверхность большой площади, и для начала процесса деформации таких столбиков необходимо гораздо большее давление, чем для бампов сферической и полусферической формы [2]. При деформации бампов пленка должна разрушаться и обеспечивать соприкосновение чистого индия. Но в случае с толстыми пленками их жесткость препятствует деформации бампа и соединению чистого индия. Одним из решений данной проблемы является оплавление бампов с удалением поверхностной окисной пленки. При оплавлении бампы приобретают сферическую форму, что способствует более сильной деформации в процессе монтажа и разрушению окисной пленки [3]. Цель работы — оптимизировать процесс формирования контактных соединений кремниевого мультиплексора с фотоприемной матрицей.

**Соединение бампов без предварительной обработки поверхности**

Напыление бампов проводилось на установке электронно-лучевого напыления STE EB71M, высота бампа КМ составляла 5 мкм, ФПМ — 1 мкм. Фотография бампов КМ показана на рис. 2.

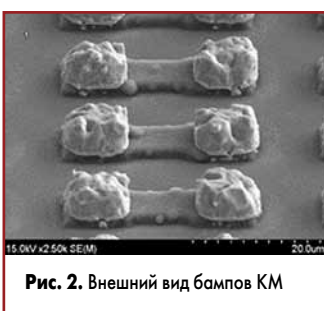


Рис. 2. Внешний вид бампов КМ



Рис. 3. Монтажная станция Fineplacer Sigma

Отработка процесса присоединения кристаллов проводилась на монтажной станции Fineplacer Sigma (рис. 3).

Установка Fineplacer Sigma компании Finetech предоставляет необходимую гибкость всех видов монтажа в сфере силовой электроники. На монтажной установке Fineplacer все параметры (температура, усилие прижима, время) управляются при помощи интегрированного программного обеспечения, позволяющего динамически вносить изменения в ходе процесса. Система подходит как для высокоточного монтажа единичных бескорпусных кристаллов, так и для работы с пластинами, многослойными ИС (2,5D- и 3D- сборки), Flip-Chip-сборками, датчиками изображений, МЭМС, МОЭМС и т. д. [4].

Максимальное усилие прижатия кристалла на станции составляет 40 Н. Исходя из литературных источников такого усилия достаточно для присоединения методом Flip-Chip кристаллов с количеством контактов около 100 000 шт. В используемых тестовых матрицах количество контактов составляет 107 226. Кроме совмещения и сжатия, монтажная станция Fineplacer Sigma позволяет в процессе монтажа осуществлять нагрев кристаллов сверху и снизу до +400 °С.

Первая попытка соединения кристаллов проводилась при следующих режимах:

- усилие сжатия: 40 Н;
- время нарастания усилия: 4 с;
- время сжатия: 3 мин;
- нагрев во время сжатия: +200 °С.

Температура нагрева выбиралась с учетом того, что температура плавления индия равна +156,6 °С. После сборки в этих режимах трех образцов проводился контроль, результаты которого показали отсутствие электрического контакта. Наиболее вероятной причиной этого может быть оксидная пленка на поверхности бампов. Анализ разъединенных кристаллов показал, что в процессе соединения произошла деформация всех бампов ФПМ, следовательно, зазоров между бампами нет, разность высот незначительная. Образцы были подвергнуты испытанию на разрыв. Усилие разрыва по нормали к поверхности кристалла составило 10 Н. При осмотре внешнего вида разъединенных кристаллов установлено, что соединение произошло не по всей площади

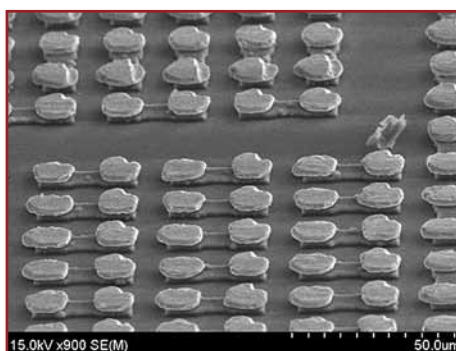


Рис. 4. Внешний вид бампов без сплавления после монтажа и разрыва

кристаллов. На отдельных участках кристалла произошло качественное соединение, на некоторых произошла только деформация бампов без их сплавления (рис. 4).

### Оплавление бампов и оценка результатов соединения тестовых образцов

Для удаления оксидной пленки с поверхности бампов и их оплавления до полусферической формы разработана методика обработки образцов на малогабаритной вакуумной печи оплавления RSS-160-S (рис. 5) в парах муравьиной кислоты. Основные технические характеристики установки RSS-160-S приведены в таблице.

Установка предназначена для низкотемпературной обработки различных изделий, корпусов и компонентов в вакууме, для оплавления припоя, сушки адгезивов, бесфлюсового оплавления паст, адгезионного соединения и т. д.

Процесс удаления оксидных пленок и оплавления бампов включает:

- продув камеры азотом в течение: 20 с;
- нагрев кристалла до +130 °С в парах муравьиной кислоты;
- выдержка при +130 °С в парах муравьиной кислоты в течение 5 мин;
- продув камеры азотом в течение 1 мин;
- нагрев до +162 °С и выдержка в течение 20 мин в вакууме;
- охлаждение до комнатной температуры с продувом камеры азотом.



Рис. 5. Малогабаритная вакуумная печь оплавления RSS-160-S

Таблица. Техническая характеристика вакуумной печи RSS-160-S

|                              |             |
|------------------------------|-------------|
| Нагреваемая рабочая зона, мм | 160×160     |
| Высота камеры, мм            | 40          |
| Скорость нагрева, К/мин      | более 100   |
| Скорость охлаждения, К/мин   | более 100   |
| Габариты печи, мм            | 300×420×220 |

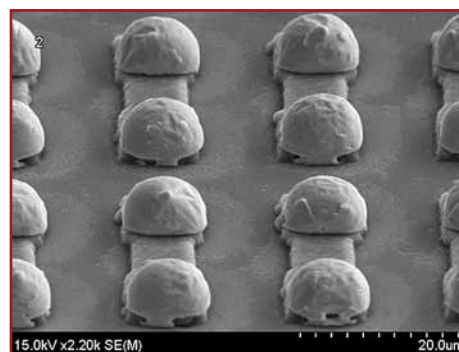


Рис. 6. Внешний вид бампов индия после оплавления

На рис. 6 показан внешний вид бампов после оплавления.

Бампы ФПМ имеют плоскую форму и их оплавление не требуется. Однако для уменьшения толщины оксидной пленки кристаллы ФПМ выдержаны в парах муравьиной кислоты при +130 °С в течение 5 мин.

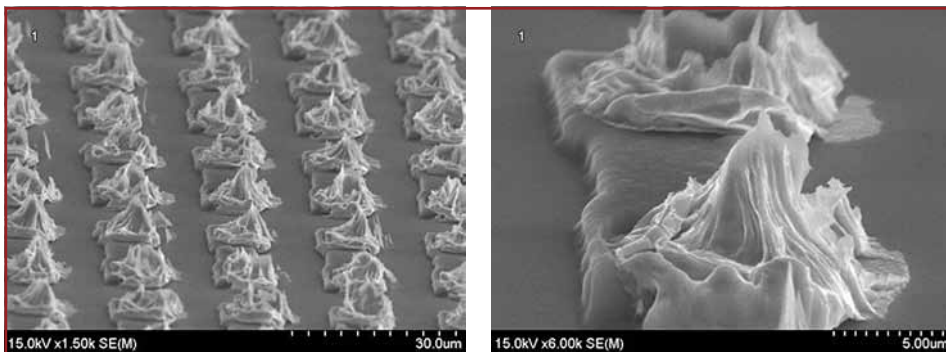
После оплавления бампов КМ и освежения ФПМ проведен ряд экспериментов для определения оптимальных режимов и методики их соединения. Наиболее оптимальными параметрами являются следующие:

- усилие сжатия: 40 Н;
- скорость повышения нагрузки: 3 Н/с;
- подъем температуры кристаллов до +200 °С со скоростью 20 °С/с;
- время выдержки: 5 мин.

На рис. 7 показан внешний вид бампов после разрыва, среднее усилие на разрыв составляет 20 Н.

### Выводы

В ходе отработки процесса соединения кристаллов методом Flip-Chip проведены эксперименты с вариацией методик и режимов,



**Рис. 7.** Внешний бампов после разрыва

а также методов обработки поверхностей, в том числе с оплавлением индиевых столбиков до полусферических форм для увеличения площади соединения при необходимом усилии сжатия. По результатам проведенных экспериментов получены следующие результаты:

- частичная деформация бампов, отсутствие сплавления и электрического контакта в результате образования оксидной пленки на индиевых бампах,

- полное оплавление бампов, образование электрического контакта при обработке поверхности бампов в парах муравьиной кислоты.

Наиболее вероятным фактором, препятствующим надежному контактированию, является образование на поверхности индиевых столбиковых контактов оксидной пленки. Оптимальными параметрами процесса формирования контактных соединений являются:

- усилие прижатия: 40 Н при скорости повышения нагрузки около 3 Н/с;
- подъем температуры до +20 °С сверху и снизу со скоростью 20 °С/с;
- время выдержки: 5 мин. При этом необходима обработка поверхности бампов муравьиной кислотой.

### Литература

1. Борисова Ю. Особенности сборки изделий электроники по технологии 3D интеграции // Технологии в электронной промышленности. 2016. № 2.
2. Новоселов А. Р. и др. Оплавленные индиевые столбы в технологии сборки ИК ФПУ // Прикладная физика. 2010. № 5.
3. Ли Н.-Ч. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и Flip-Chip технологии. М.: Технологии, 2006.
4. Борисова Ю. Гибкие технологические решения для монтажа компонентов в области современной силовой электроники // Технологии в электронной промышленности. 2016. № 8.