

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОРПУСИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВ МИКРОСИСТЕМНОЙ ТЕХНИКИ

Юдин Андрей Игоревич

Студент 4 курса,

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.Б. Цветков,

доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

В области микро- и нанoeлектроники технологии МЭМС (микроэлектромеханических систем) играют ключевую роль в объединении механических, электронных и оптических элементов на микрометровом уровне. Корпусирование на уровне пластин – одна из наиболее востребованных технологий герметизации и защиты микро- и наноустройств. Ее основной целью является обеспечение механической и тепловой защиты, герметичности, создания определенной степени вакуума внутри устройства для повышения отклика системы, формирования электрических соединений, а также оптимизации процесса производства путем одновременного корпусирования десятков устройств на пластине. Основными преимуществами корпусирования устройств на уровне пластин являются: обработка целой пластины за один цикл, миниатюризация устройств, и повышение надежности конструкции за счет исключения лишних элементов [1].

Ключевой операцией корпусирования устройств на уровне пластин является соединение пластин (англ. bonding). На сегодняшний день существует несколько типов соединений: прямое и с промежуточными слоями. В соединениях с промежуточными слоями выделяют три типа: металлические, со стеклянной фриттой и адгезионные.



Рис. 1. Классификация методов соединения пластин

Для создания каждого из соединений используется специализированное оборудование. Его ключевыми характеристиками являются: усилие, создаваемое

давящими плитами; уровень разряджения; максимальная температура нагрева; электрическое напряжение между электродами. При соединении пластин могут возникнуть дефекты: микрополости, трещины в материале, слабая адгезия, вплоть до полного рассоединения [2].

Поэтому при создании соединений необходимо учитывать такие параметры, как коэффициент термического расширения пластин, совместимость и диэлектрические свойства материалов. Комбинация этих характеристик и параметров позволяет создавать различные соединения минимизируя дефектность (Рис. 2).

| Параметры                   | Прямое соединение  |  | Металлическое соединение  |  |  | Адгезионное соединение  |   | Стеклоплавная фритта  |
|-----------------------------|--|--|---|--|--|---|---|---|
|                             | Прямое сращивание  | Анодное соединение   | Эвтектическое   | Интерметаллическое   | Термо-компрессионное   | Термический отжиг   | УФ-обработка  |   |
| Температура, °C             | 400-1200   | 150-500  | 200-400   | 250-600  | 350-600  | до 400  | комнатная температура   | до 500  |
| Сила                        | До 100кН   | 1000N-20кН   | 2кН до 70кН   | 10кН до 75кН   | 10кН до 100кН  | До 10кН   | До 10кН   | 500N до 15кН  |
| Напряжение, V               | 0  | 200-1500   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Герметизация                | высокая  | высокая  | высокая   | высокая  | высокая  | низкая  | низкая  | высокая   |
| Толщина соединения          | -  | -  | От 300нм до 5мкм  | От 300нм до 5мкм   | 500нм-8.5мкм   | приблизительно от 25мкм до 1мм  | приблизительно от 25мкм до 1мм  | 6мкм до 30мкм   |
| Чувствительность к частицам | высокая  | высокая  | средняя   | средняя  | средняя  | низкая  | низкая  | низкая  |
| Плюсы                       | Самая прочная связь, сопротивление к высоким температурам              | Высокая прочность соединения, относительно низкая температура соединения, соединение с диэлектрической пластиной | Герметичное соединение, прочное сцепление, низкая температура обработки                   | Низкие температуры соединения, высокая прочность соединения, хорошая тепло-; электро-проводность                       | Прочные, чистые соединения, высокая тепло- и электропроводность, эффективны для небольших объектов                     | Прочные связи, широкая совместимость материалов, хорошая термостойкость, универсальные способы нанесения. | Быстрое отверждение, высокая прочность сцепления, универсальность, чистое нанесение | Высокая термостойкость, прочные и долговечные соединения, герметичность             |
| Минусы                      | Высокие требования к качеству подложек, высокая температура соединения | Требуется стекло, содержащее щелочь, несовместимое с CMOS  | Требуется точное нанесение материала, возможна утечка материала, требуется большое усилие | Чувствительность к естественным оксидам на подложке, возможность образования интерметаллидов, требуется большое усилие | Чувствительность к оксидам и температуре, необходимость подготовки поверхности, ограниченная определенными материалами | Более длительное время отверждения, выделение тепла, возможность текучести материала                      | Не герметичное, ограниченная глубина отверждения, термостойкость                    | Сложная обработка, необходимость подготовки поверхности, сложность контроля толщины |
| Выделяемые газы             | H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub>                                       | Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>   | Благородные газы  |  |  | H <sub>2</sub> O, разложившиеся соединения  |   | CO, H <sub>2</sub> O  |

Рис. 2. – Необходимые параметры для создания соединений

Таким образом, выявлены основные типы соединений, выделены ключевые параметры для создания качественных соединений на уровне пластин, а также разработана классификация соединений на основе проведенного анализа. Показано, что выбор типа соединения зависит от поставленных требований и задач: прямое соединение используется для создания высокочувствительных сенсоров и оптоэлектроники, металлическое соединение применяется для создания высокопроизводительных систем с вертикальной интеграцией и формирования электрических контактов, а адгезионные и соединения со стеклянной фриттой нашли свое применение в широкой области задач.

## Литература

1. Dragoi V. Wafer bonding technology for new generation vacuum MEMS: challenges and promises / Dragoi V., Pabo E. – SPIE Microtechnologies, 2015. – 8 p.
2. Alexe M. Wafer Bonding: Applications and Technology / Alexe M., Gösele U.M. – Springer Science & Business Media, 2013. – 473 p.