

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРИСТАЛЛАХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ МОНТАЖЕ НА ПОДЛОЖКУ

Ланин В.Л., Достанко А.П.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Монтаж кристаллов интегральных схем в корпус или на подложки должен обеспечить высокую прочность соединений при термоциклировании и механических нагрузках, низкое электрическое и тепловое сопротивление, минимальное механическое воздействие на кристалл и отсутствие загрязнений.

В настоящее время для монтажа кристаллов широко используются методы вибрационной эвтектической пайки поверхности кристалла к основанию корпуса с использованием припоя Au-Si и золотого покрытия соединяемых элементов [1]. Для обеспечения необходимой смачиваемости припоем и предотвращения окисления в процессе пайки используют формирующий газ на основе смеси 10% водорода и 90% азота. Нанесение припоя на подложку осуществляется дозированием проволоки припоя или паяльной пасты, либо припойными прокладками.

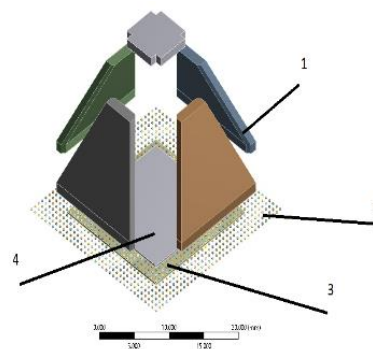
Монтаж кристалла на эвтектические сплавы помимо технологических трудностей (высокие температуры, золотое покрытие) имеет и другие недостатки. В виду малой пластичности эвтектики Au-Si и разницы в коэффициентах термического расширения кристалла и подложки в кристалле возникают значительные механические напряжения, что приводит к сколам кристаллов на последующих технологических операциях и испытаниях, а также к снижению надежности приборов. Установлено, что основными причинами, приводящими к снижению выхода годных изделий, являются: отслаивание кристаллов из-за неполного образования эвтектики по всей площади, образование микротрещин и растрескивание кристаллов после термокомпрессионной разварки выводов.

Процессы бесфлюсовой пайки наиболее важны при сборке электронных устройств и приборов, где требуется исключить применение флюсов, поскольку продукты их разложения способствуют развитию коррозионных процессов, при этом ухудшаются рабочие характеристики полупроводниковых приборов и интегральных схем, снижаются надежность и долговечность электронной аппаратуры. При пайке кремниевых кристаллов интегральных микросхем удаляют оксидные пленки за счет вибраций одной из соединяемых деталей, преимущественно верхней,

а вторая остается неподвижной в течение всего процесса. При этом происходит вытеснение припоя за пределы кристалла, увеличивается время монтажа.

Применение ультразвуковых (УЗ) колебаний частотой 50–60 кГц позволяет полностью отказаться от применения флюсов, при этом исключается операция отмывки флюса, сокращается общая длительность технологического процесса монтажа микроплаты. При прохождении упругих колебаний УЗ частоты через расплав припоя в нем возникает кавитация и микропотоки, что и обеспечивает разрушение оксидных пленок и полное смачивание припоем соединяемых поверхностей [2].

При использовании УЗ колебаний для пайки кристаллов возникают определенные трудности, связанные с выбором частоты и амплитуды колебаний, устранением механического воздействием на кристаллы, дозированием припоя и др. Проведено моделирование механических напряжений, возникающих в кристаллах интегральных микросхем при УЗ монтаже на подложку (рисунок 1).



1 – захваты; 2 – подложка; 3 – легкоплавкий припой; 4 – кристалл

Рисунок 1 – Физическая модель монтажа кристаллов

Подложка и чип изготовлены из кремния, захваты из титанового сплава ВТ2. Конечно-элементная сетка в области кристалла и подложки состоит из гекса-элементов второго порядка. На захватах построена тера-сетка второго порядка. Средний размер элемента в модели составляет 7,8 мкм.

Задача разделена на 2 этапа. Сначала определены температурные поля при пайке, которые затем передаются в прочностной анализ для оценки термомеханических напряжений. Предполагается, что вся сборка в данном случае разогрета до температуры в 240°C.

Проведено параметрическое исследование влияния переменных факторов на напряжения в кристалле: частота 60–140 кГц, амплитуда УЗ колебаний 0,8–1,5 мкм, размеры кристалла от 1x1 до 20x20 мм², толщина кристалла: 0,05–0,25 мм, усилие на кристалл: 30–150 Н. На рисунке 2 показана эпюра механических напряжений в кристалле при следующих параметрах: частота – 60 кГц, амплитуда – 1,5 мкм, усилие – 100 Н, размеры кристалла – 15x15мм², толщина – 0,25 мм.

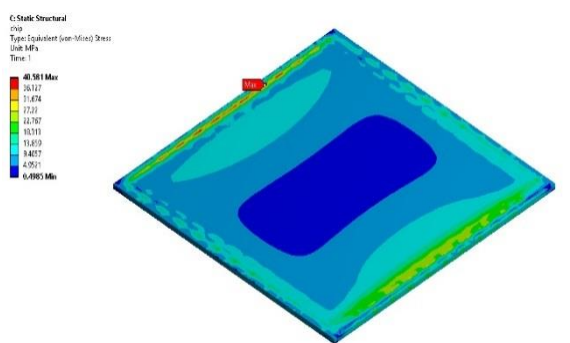


Рисунок 2 – Эпюра механических напряжений в кристалле

Параметрическое исследование зависимости максимальных эквивалентных напряжений в кристалле, где варьировались различные параметры при прочих постоянных представлены на рисунках 3-5.

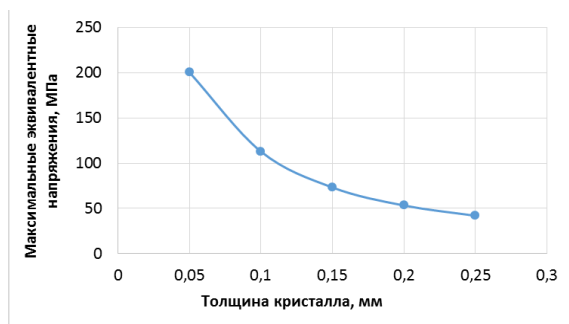


Рисунок 3– Зависимость эквивалентных напряжений от толщины кристалла

В большинстве рабочих режимов монтажа разрушения изделия не произойдет. Установлены критические режимы, при которых возможно возникновения брака, связанного с повреждением кристалла при механических напряжениях в нем порядка 200–250 МПа.

Для снижения знакопеременных механических напряжений в кристаллах амплитуду колебаний A

необходимо снижать, однако для сохранения необходимого уровня энергии повысить частоту согласно выражению:

$$E = \frac{\rho \cdot V (A \cdot \omega)^2}{2},$$

где ρ – плотность металла, V –объем соединения.



Рисунок 4– Зависимость эквивалентных напряжений от усилия на кристалл

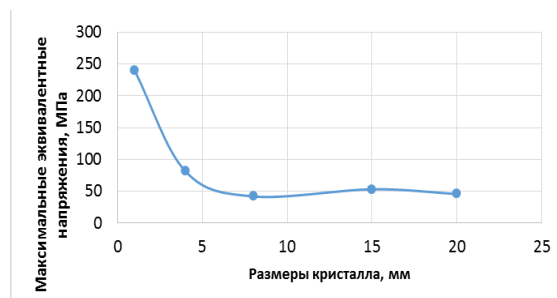


Рисунок 5– Зависимость эквивалентных напряжений от размеров кристалла

Увеличение времени УЗ воздействия повышает прочность паяного соединения за счет роста суммарной площади очагов схватывания, однако чрезмерная продолжительность приводит к снижению механической прочности и разрушению соединения. Рекомендуется ограничить минимальный размер кристалла 5x5 мм, толщину кристалла не менее 0,15 мм, прижимное усилие до 100 Н. Увеличивая частоту колебаний до 120 кГц, можно снизить амплитуду колебаний инструмента до 1–2 мкм при интенсивности колебаний, достаточных для разрушения оксидных пленок.

Литература

1. Технологии субмикронных структур микроэлектроники / А.П. Достанко [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2018. – 270 с.
2. Ланин, В.Л. Электромонтажные соединения в электронике. Технологии, оборудование, контроль качества / В.Л. Ланин, В.А. Емельянов. – Минск: Интегралполиграф, 2013. – 406 с.