

Различия в химическом составе областей на поверхности покрытия вызваны разным содержанием в них фосфорной составляющей. Это приводит к тому что как модуль упругости, так и микротвёрдость имеют такое различие в значениях. По результатам наноиндентирования установлено различие в модуле упругости E и микротвёрдости H на различных фазах от 57 до 228 ГПа и от 2,6 до 9,1 ГПа соответственно. Это свидетельствует о том, что на поверхности покрытия присутствуют различные фазы. Также определены упругая и пластическая составляющие деформации при индентировании на различных фазах. Эти данные получены на основе кривых наноиндентирования. Полученные результаты соответствуют результатам работы [6] о взаимосвязи микроструктурного состояния поверхности и механических свойств покрытия.

Закключение. Методом атомно-силовой микроскопии и наноиндентирования проведены исследования морфологии поверхности и механических свойств никелевого покрытия, легированного фосфором. По результатам исследования методом АСМ установлено, что на поверхности покрытия содержится большое количество частиц различных размеров. Результаты микрорентгеноспектрального анализа показали, что на поверхности покрытия несколько фаз, различающихся содержанием фосфора.

Исследование механических свойств проводили на различных фазах. По результатам НИ установлено существенное отличие в значениях

модуля упругости E и микротвёрдости H из-за содержания фосфора.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (Ф20М-083)

Литература

1. Вопросы изнашивания NiP покрытий / И.Р. Асланян, Л.Ш. Шустер // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Механика и машиностроение. – 2011. – Т. 13, №4(3). – С. 951–954.
2. S Chizhik, Micro and Nanoscale Wear Studies of HDD Slide Bearings By Atomic Force Microscopy / S Chizhik, A Khudoley, T Kuznetsova, K Wierzcholski, A Miszczak // 2010, Proceedings of Methodological Aspects of Scanning Probe Microscopy, Heat and Mass Transfer Institute of NAS, pp 247–252.
3. Microgroove machining on crystalline nickel phosphide plating by single-point diamond cutting / Y. Liu, W. Zhao, T. Zhou, X. Liu, X. Wang // Int J Adv Manuf Technol. – 2017. – Vol. 91. – P. 477 – 484.
4. Friction and wear behavior of electroless Ni–P and Ni–W–P alloy coatings / M. Palaniappa, S.K. Seshadri // Wear. – 2008. – Vol. 265. – P. 735–740.
5. Kuznetsova T.A., Andreev M.A., Markova L.V., Chekan V.A. Wear resistance of composite chrome coatings with additives of ultradispersed diamonds // Journal of Friction and Wear. – 2001 (22), № 4, pp. 423–428.
6. Углов В.В. Взаимосвязь микроструктурного состояния поверхности и механических свойств углеродных и металл-углеродных покрытий, формируемых плазмо-усиленным химическим вакуумным осаждением / Углов В.В и др. // Перспективные материалы. – 2003. – № 6. – С. 5–11.

УДК 621.3.049

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 подложку должен обеспечить высокую прочность соединений при термостатировании 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 эвтектической сплавной пайке 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 микро-

трещин 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 отмычки 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 воздействия на кристаллы, дозированием припоя и др. Проведено моделирование механических напряжений, возникающих в кристаллах интегральных микросхем при УЗ монтаже на подложку (рисунок 1).

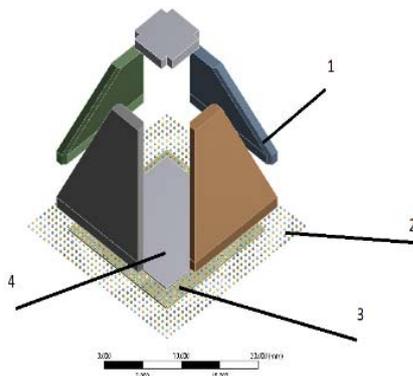


Рисунок 1 – Физическая модель монтажа кристаллов:
1 – захваты; 2 – подложка; 3 – легкоплавкий припой;
4 – кристалл

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 °С.

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 1×1 до 20×20 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 – 15×15 мм², толщина – 0,25 мм.

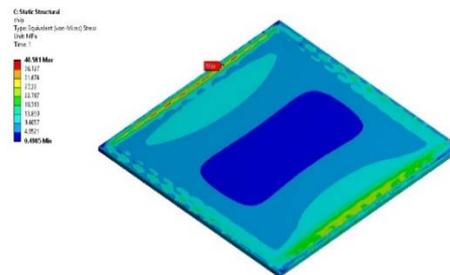


Рисунок 2 – Эпюра механических напряжений в кристалле

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

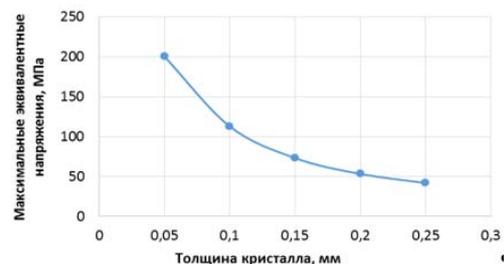


Рисунок 3 – Зависимость эквивалентных напряжений от толщины кристалла

В большинстве рабочих режимов монтажа разрушения изделия не произойдет. Установлены критические режимы, при которых возможно возникновение 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.

