

Формирование двухкомпонентных вертикальных контактных структур для монтажа кристаллов интегральных схем

В.М. Рошин, И.Н. Петухов, К.С. Сеньченко, А.В. Рощина, Т.В. Шилина

Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

Formation of Two-Component Vertical Contact Structures for Installation Crystals of Chips

V.M. Roshchin, I.N. Petukhov, K.S. Sen`chenko, A.V. Roshchina, T.V. Shilina

National Research University of Electronic Technology, Moscow

Рассмотрены технологические возможности послойного электрохимического формирования вертикальных контактных структур на основе системы медь–олово для монтажа кремниевых кристаллов, в том числе по 3D-технологии. Показана возможность фиксации посадочного зазора кристалл–плата для предотвращения замыкания контактных областей материалом припоя.

Ключевые слова: монтаж методом «перевернутого кристалла»; двухкомпонентные контактные структуры; электрохимическое осаждение.

The technological capabilities of fiber electrochemical formation of vertical contact structures on the basis of system copper-tin for installation of silicon crystals, including on 3D-technologies have been considered. Possibility of fixing of a landing gap a crystal plateau for prevention of short circuit of contact areas by solder material has been shown.

Keywords: flip-chip-technologies; two-component vertical contact structures; electrochemical deposition.

Введение. Повышение степени интеграции полупроводниковых кристаллов интегральных схем (ИС) и производства многофункциональных схем (система на кристалле) приводит к возрастанию количества выводов на кристалле. Нередко размер полупроводникового чипа определяется не совокупностью элементов на нем, а размером и количеством контактных площадок. В настоящее время некоторые кристаллы ИС включают 400 и более выводов, которые могут занимать практически всю площадь чипа. Данное обстоятельство определяет достаточно жесткие требования к размерам контактных площадок и расстоянию между ними, отдельным технологическим операциям монтажа (перевернутый монтаж на плату или в корпус), а также к используемому технологическому оборудованию.

Одним из перспективных способов монтажа кристаллов является метод «перевернутого кристалла» (flip-chip). Матричную структуру выводов можно формировать, используя паяльную пасту и трафаретную печать. Этот метод отличается высокой произ-

водительностью и низкими расходами на формирование выводов. Однако при малом шаге контактных областей (менее 200 мкм) проблемы, связанные с размазыванием пасты при отделении трафарета, перетеканием паяльной пасты и формированием выводов разного размера, приводят к образованию короткозамкнутых перемычек или к браку контактирования [1].

Для увеличения количества контактов и плотности их размещения применяется бампирование проволокой диаметром 80–100 мкм. Несмотря на то что данная операция выполняется на специальном автоматизированном оборудовании, число сформированных вертикальных контактов на кристалле (или на плате под кристалл) невелико и при последовательном выполнении бампирование занимает достаточно много времени и требует введения дополнительных контрольных операций.

Для дальнейшего увеличения количества контактных областей между кристаллом ИС и платой (или другим полупроводниковым кристаллом в случае 3D-монтажа), а также для уменьшения межконтактных размеров используется технология бампирования шариками припоя [2]. Шарiki, имеющие размер 100–500 мкм (в настоящее время до 60 мкм), размещаются на контактных площадках и оплавляются (рис.1,а). Данная технология позволяет формировать до нескольких сотен контактов на кристалле, однако требует точного подбора физико-химических свойств материала контактной площадки и припоя, контроля наличия и размещения шариков. При проведении технологических операций необходимо соблюдать следующие условия: контролировать минимальное растекание припоя; минимизировать разновысотность контактов; выдерживать точное вертикальное позиционирование монтируемого кристалла для фиксации монтажного зазора. Незначительные отклонения параметров монтажа приводят либо к отсутствию контактирования, либо к замыканию контактных площадок припоем из-за его выдавливания (рис.1,б).

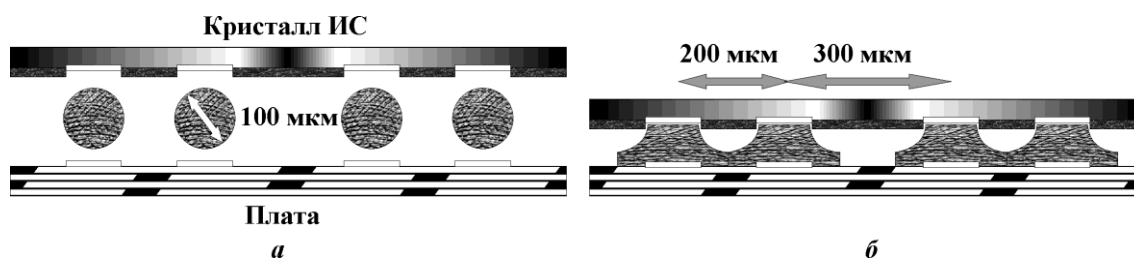


Рис.1. Процесс монтажа кристалла на плату с использованием шариков припоя:
а – перед монтажом; б – после монтажа

Формирование вертикальных контактов с использованием электрохимического осаждения имеет существенные преимущества по сравнению с рассмотренными методами [3]: более точный контроль высоты контактов; возможность уменьшения планарных размеров контактов и расстояния между ними; исключение процедуры оплавления выводов; одновременная обработка как всех чипов на пластине, так и нескольких пластин одновременно. Основной технологической трудностью применения электрохимического осаждения контактных структур является необходимость ограничения или полного подавления бокового разрастания вертикального столбика контакта для сохранения его геометрических размеров. В настоящее время эта проблема решается с использованием толстых масок на основе оксида кремния [4] или фоторезиста [5]. Однако данная технология включает дополнительное количество операций и требует вертикального травления масочного материала на глубину до 30–50 мкм, что приводит к

снижению точности технологического процесса в целом. В то же время в работе [6] описаны исследования по подавлению бокового роста вертикальных структур при электрохимическом осаждении за счет подбора параметров процесса и введения функциональных добавок в электролит.

Одновременное уменьшение шага между выводами при монтаже кристаллов ИС, обеспечение надежного контактирования и исключение выдавливания припоя возможны при формировании двухкомпонентных вертикальных контактных структур. Последовательное электрохимическое осаждение двух материалов (например, меди и олова) из разных электролитов на контактных площадках ИС или монтажных платах позволяет осаждать вертикальные структуры с планарными размерами менее 80 мкм, высотой до 50–80 мкм, имеющие низкое переходное омическое сопротивление и высокую теплопроводность (рис.2,а). В процессе нагрева при пайке внешний материал (олово) вертикального контакта формирует паяное соединение, а внутренняя основа (медь) фиксирует монтажный зазор между кристаллом и платой, препятствует вытеснению припоя на соседние контакты. Это упрощает сам процесс монтажа кристаллов и снижает требования к сборочному оборудованию (рис.2,б).

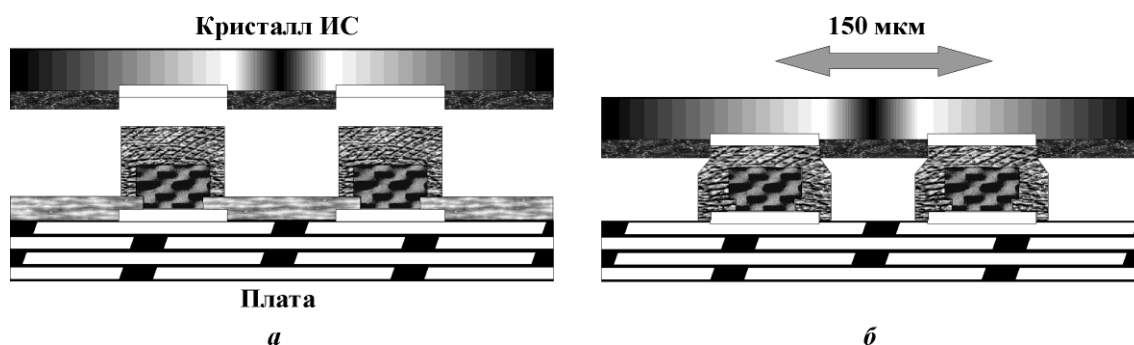


Рис.2. Процесс монтажа кристалла на плату с использованием электрохимически выращенных двухкомпонентных вертикальных структур: а – перед монтажом; б – после монтажа

Эксперимент и обсуждение результатов. На поликоровые подложки (керамика состава $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) методом импульсного осаждения низкотемпературной плазмы [7] наносился некристаллический слой никеля толщиной 50 нм, являющийся катодом при электрохимическом осаждении меди. Выбор метода осаждения и осаждаемого металла обусловлен необходимостью обеспечения хорошей адгезии металлизации на поверхности поликора и устойчивости проводящего покрытия в кислотном электролите. Далее проводился процесс литографии и по вскрытой маске формировался топологический рисунок металлизации на экспериментальных образцах. Ширина проводящих дорожек составила 30 мкм, размер контактных площадок 100×100 мкм с минимальным расстоянием между ними 50 мкм. Маскирующий слой фоторезиста удалялся, образцы промывались, сушились, и проводилась вторая литография, после которой в центре контактных площадок вскрывались окна размером 30×30 мкм (рис.3). Слой фоторезиста толщиной 1,5 мкм после второй литографии сохранялся, задубливался при температуре 130°C в течение 20 мин и играл роль маски при дальнейшем электрохимическом осаждении.

Для проведения электрохимического осаждения меди был подготовлен электролит, содержащий 60 г/л H_2SO_4 , 180 г/л $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ [8]. Осаждение проводилось при нормальных условиях в течение 1 ч при начальной плотности катодного тока 3 A/дм^2 . Выбор сульфатного электролита обусловлен наличием фоторезистивной маски на экспе-

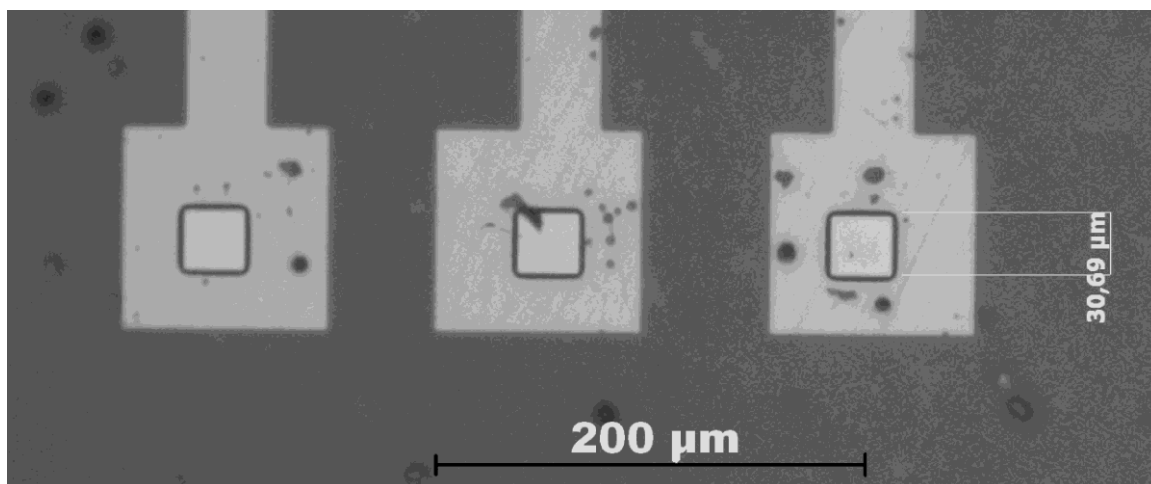


Рис.3. Изображение тестовой структуры с контактными площадками и вскрытыми окнами, полученное с помощью микроскопа Axiovert-40MAT

риментальных образцах, так как при использовании комплексных электролитов меднения в щелочной среде материал фоторезиста быстро деградирует и теряет маскирующие свойства. Планарное и боковое изображения результатов осаждения медных структур представлены на рис.4.

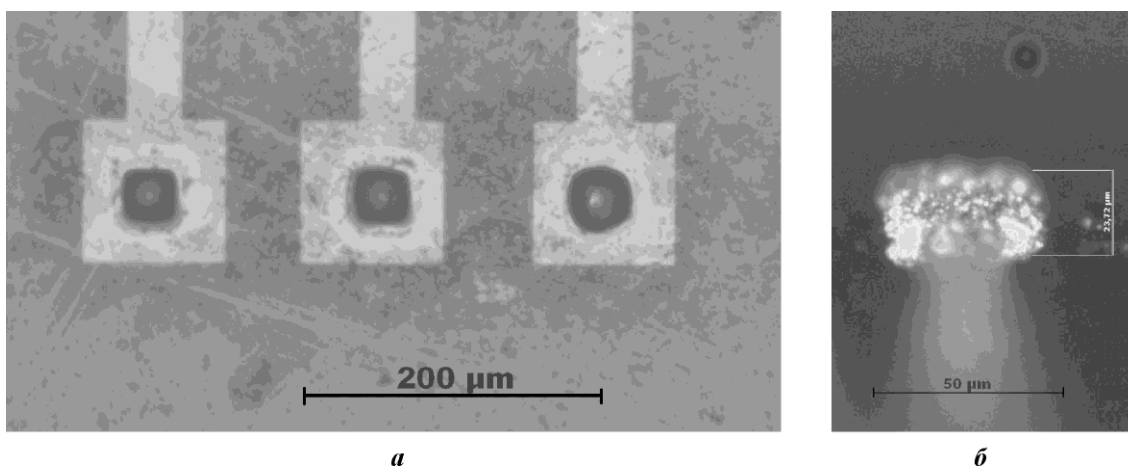


Рис.4. Планарное изображение контактных площадок с вертикальными медными структурами (а) и боковое изображение столбика (б), полученные с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150

Анализ измерений, проведенный по 56 контактным структурам (контактные площадки сконфигурированы под flip-chip-монтаж кристалла K1645PY42H5), показал, что при выбранных технологических условиях и режимах скорость вертикального роста контактных структур в 3 раза превышает скорость бокового разрастания. При размере вскрытой контактной области 30×30 мкм (с допуском ± 1 мкм) осажденные медные структуры имеют размеры: по высоте ($24 \pm 1,5$) мкм, в основании (37 ± 2) мкм. Следует отметить, что высота фоторезистивной маски не превышает 1,5 мкм и более 90 % времени роста вертикальная структура формируется без бокового ограничения. Структура медных столбиков мелкокристаллическая, без дендритов. Некоторые вертикальные столбики сохраняют квадратный габитус по сечению, другие приобретают округлую форму. Вероятнее всего, формирование округлого сечения вертикального столбика свя-

зано с дефектами фотолитографии (недопроявленные углы) или разрушением фоторезистивной маски в углах открытых окон, что приводит к скруглению столбика в начале роста. Однако данный процесс не приводит к существенному увеличению диаметра контакта.

Условия электрохимического осаждения олова по сравнению с осаждением меди отличаются. Кислотные электролиты для электрохимического осаждения олова имеют низкую рассеивающую способность, что обычно приводит к образованию точечных дефектов на поверхности роста, обусловленных локальным выделением пузырьков водорода, а также к образованию дендритов, ориентированных по линиям поступления ионов олова. Данные процессы можно минимизировать при добавлении поверхностно-активных веществ, которые повышают катодную поляризацию и позволяют получать мелкозернистые и плотные покрытия.

Осаждение олова на предварительно сформированные медные структуры проводилось при нормальных условиях из электролита состава 60 г/л H_2SO_4 и 60 г/л $SnSO_4$. В качестве функциональной добавки использовался желатин с концентрацией 2 г/л. Длительность процесса осаждения олова составила 1 ч с начальной плотностью тока 3 А/дм². Планарное и боковое изображения результатов осаждения двухкомпонентных структур медь–олово представлены на рис.5.

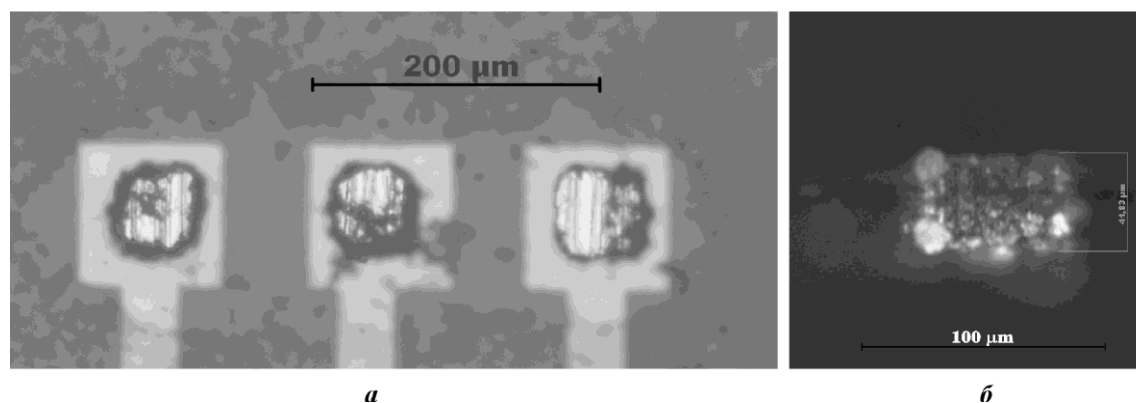


Рис.5. Планарное изображение контактных площадок с двухкомпонентными структурами медь–олово (а) и боковое изображение вертикального столбика (б)

Измерения геометрических параметров вертикальных контактных структур показали, что планарные размеры столбиков составляют 55–60 мкм при высоте 40–45 мкм. При осаждении олова не удается достичь существенного ограничения бокового разрастания и покрытие формируется достаточно равномерно на поверхности медного столбика. В то же время в покрытии всех структур не наблюдается крупнокристаллических включений и дендритов. Полученные геометрические размеры вертикальных контактов позволяют проводить монтаж кристаллов ИС с надежным контактированием и без растекания паяного материала. Медная основа контактной структуры обеспечивает фиксацию монтажного зазора на уровне 25 мкм, а слой олова толщиной 15–20 мкм формирует надежные омические контакты между поверхностями с неплоскостностью до 10 мкм. Наличие медного столбика по центру контакта обеспечивает также повышение теплоотдачи с контактных площадок кристалла ИС, что снижает тепловую нагрузку при эксплуатации микросборок на основе кристаллов К1645РУ42Н5.

Заключение. Подбор технологических режимов и составов электролитов при последовательном электрохимическом осаждении меди и олова обеспечивает формирова-

ние вертикальных контактных структур для монтажа ИС и других полупроводниковых кристаллов с большим количеством выводов и высокой плотностью их размещения. Предложенная технология позволяет формировать контакты для flip-chip-монтажа по групповой технологии при одновременной обработке партии пластин (плат). Последующий монтаж кристаллов обеспечивает заданный межплоскостной зазор и упрощает процесс позиционирования при сборке микромодулей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания № 11.1280.2014/К.

Литература

1. *Kay R., Desmulliez M.* A review of stencil printing for microelectronic packaging // Soldering and Surface Mount Technology. – 2012. – 24(1) . – P. 38–50. – DOI 10.1108/09540911211198540.
2. *Ланин В., Сергачев И., Хотькин В.* Формирование матричной структуры шариковых выводов из припоя // Технологии в электронной промышленности. – 2013. – № 61. – С. 65–69.
3. *Roelfs B., Kenny S., Matejat K.* Electrolytic solder deposit for next generation flip chip solder bumping // 3rd Electronics System Integration Technology Conference (ESTC 2010). – Berlin, Germany, 2010. – P. 645–650.
4. Заявка 252436 Японии, МКИ⁵ Н 01 L 21/321. Заявл. 17.08.1988; опубл. 22.02.1990.
5. *Yeung Chow, Zaheed Karim.* Barrier cap for under bump metal // Pat. US 20020185733 A1. 28.05.2002.
6. Исследование процессов электрохимического формирования контактных структур для сборки интегральных микросхем / *В.М. Роцин, В.Л. Дихуня, И.Н. Петухов и др.* // Неорганические материалы. – 2015. – Т. 51. – № 3. – С. 344–348.
7. *Роцин В.М.* Импульсное осаждение дуговой электроэрозионной плазмы в технологии наногетерогенных структур // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2002. – № 3. – С. 10.
8. *Гамбург Ю.Д.* Гальванические покрытия: справочник по применению. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.

Статья поступила
12 февраля 2016 г.

Роцин Владимир Михайлович – доктор технических наук, профессор, декан факультета интеллектуальных технических систем, заведующий кафедрой общей и физической химии (ОФХ) МИЭТ. *Область научных интересов:* физикохимия и технология наногетерогенных систем, технология сверхтонких пленок металлов и диэлектриков, технология функциональных материалов.

Петухов Иван Николаевич – старший преподаватель кафедры ОФХ МИЭТ. *Область научных интересов:* электрохимия, технологии формирования поверхностных структур. **E-mail:** OFH.MIET@yandex.ru

Сеньченко Кирилл Сергеевич – аспирант кафедры ОФХ МИЭТ. *Область научных интересов:* химические и электрохимические методы формирования покрытий.

Роцина Анна Владимировна – студентка МИЭТ.

Шилина Татьяна Витальевна – аспирант кафедры ОФХ МИЭТ. *Область научных интересов:* методы исследования концентраций ионов в жидких средах.