

Формирование микровыводов припоя на уровне пластины

А. Скупов¹

УДК 621.382 | ВАК 05.27.06

Разварка с помощью проволоки из Al, Au или Cu долгое время оставалась наиболее популярным методом формирования электрических соединений между контактными площадками кристалла полупроводниковой микросхемы и выводами корпуса либо контактными площадками печатной платы. Такой способ надежен и прост, но в ряде случаев становится ограниченно пригодным для современных микросхем [1]. Рассмотрим технологии и материалы для альтернативного способа соединения кристалла с контактными площадками корпуса или платы – с помощью выводов припоя.

Бывает необходимо, чтобы размеры микросхемы в корпусе не превышали (или незначительно превышали) размеры ее кристалла (chip scale packaging). Реализовать такие требования при проволочной разварке невозможно. В случаях, когда требуются высокая скорость обработки сигнала и максимально возможная эффективность потребления энергии, проволочная разварка нежелательна из-за больших значений паразитных индуктивностей, сопротивлений и емкостей. С ограничениями разварка проволокой используется в методах корпусирования 2,5D и 3D, к которым сейчас стремится мировая микроэлектроника.

В качестве альтернативного метода соединения кристалла с контактными площадками корпуса или платы применяются столбиковые либо шариковые выводы. Кристалл в данном случае монтируется лицевой стороной к подложке (flip-chip) либо обычным способом, но со сквозными выводами (through silicon vias, TSV). Такие способы монтажа позволяют распределить выводы по всей поверхности кристалла микросхемы, существенно экономя площадь конечного устройства по сравнению с разваркой проволокой. Также flip-chip обеспечивает наилучший отвод тепла от микросхемы, поскольку радиатор можно размещать непосредственно на оборотной стороне кристалла.

Формирование выводов для flip-chip – более сложный и многоступенчатый технологический процесс по сравнению с разваркой проволокой. Для его реализации на уровне пластины необходимо правильно выбрать материалы – резисты, диэлектрики, системы металлизации, флюсы для оплавления припоя, реагенты для осаждения и отмывки.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И МАТЕРИАЛЫ

Технологический маршрут формирования выводов на поверхности кристалла показан на рис. 1. Выводы формируются на полупроводниковой пластине, прошедшей все этапы формирования металлизации, с верхним пассивирующим диэлектрическим слоем и вскрытыми в нем контактными площадками.

На первом этапе маршрута (рис. 1а) происходит формирование зародышевого слоя металла (seed layer), который наносится методом напыления, конечная толщина слоя составляет сотни нанометров. В зависимости

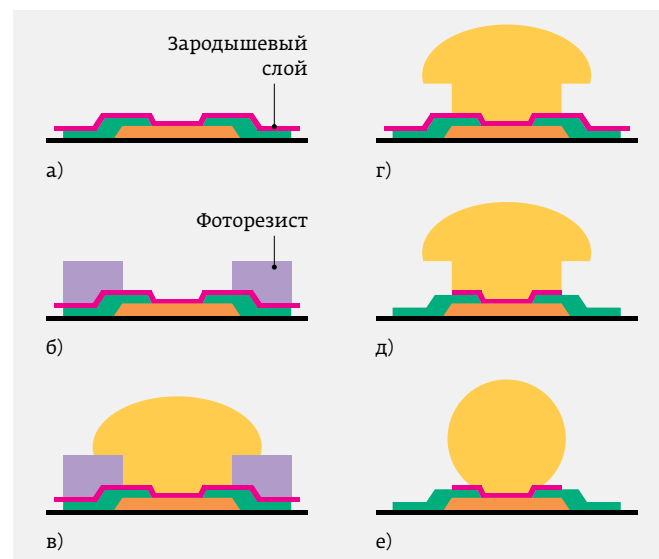


Рис. 1. Общий технологический маршрут формирования выводов для монтажа перевернутого кристалла: а – напыление металла, б – нанесение, экспонирование, проявление фоторезиста, в – гальваническое осаждение металла, г – снятие резиста, д – травление металла, е – оплавление припоя

¹ ООО «Остек-Интегра», главный специалист отдела технического сопровождения, skupov.a@ostec-group.ru.

от материала контактной площадки при напылении используются диффузионные барьеры из Ni, Cr, Ti, W либо комбинации этих материалов.

Для формирования топологии выводов выполняется литография (рис. 1б). Если нужно изменить расположение контактов на пластине, то предварительно проводят одну или несколько литографий для формирования линий металла (redistribution layer, RDL). В процессе литографии используются фоторезисты, образующие пленки толщиной до 150 мкм.

На третьем этапе формируется металл вывода (рис. 1в). Это могут быть свинцовосодержащие сплавы (Sn-Pb), бессвинцовые припои (Sn-Ag-Cu, Sn-Ag, Au-Sn). Металлизация происходит с помощью гальванического осаждения. Металл осаждается только внутри проявленных областей фоторезиста. Сплав из нескольких составляющих получают путем последовательного осаждения разных слоев с тщательно рассчитанной толщиной. Для гальванического осаждения коммерчески доступны специальные, готовые к применению растворы (например, серия растворов Elevate компании Technic).

В случае непосредственного гальванического осаждения припоя на зародышевый слой конечный диаметр выводов в итоге составляет 75–200 мкм, а шаг между выводами – 150–400 мкм. Для уменьшения шага перед формированием припоя гальванически осаждают толстый слой меди. В результате получаются столбики из меди (copper pillar), на которые впоследствии осаждают слои припоя значительно меньшей толщины (рис. 2). При таком подходе шаг между выводами можно уменьшить до 20–40 мкм [2].

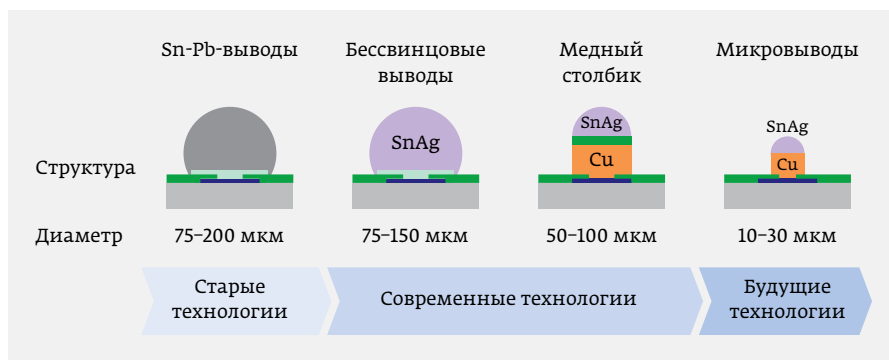


Рис. 2. Уменьшение размера выводов и шага между ними при использовании медных столбиков

Последовательность слоев, лежащих между металлом контактной площадки и припоем, называют промежуточной металлизацией (under bump metallization, UBM).

На следующих этапах формирования выводов обеспечиваются снятие фоторезиста (рис. 1г) и жидкостное травление зародышевого слоя (рис. 1д). На финальном этапе – нанесение флюса и оплавление припоя с последующей отмывкой пластины от остатков флюса (рис. 1е). По окончании процедур пластина тестируется и разделяется на кристаллы.

ВЫБОР ФОТОРЕЗИСТОВ ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ МЕТАЛЛА ВЫВОДОВ

При выборе фоторезиста для процесса гальванического осаждения нужно учитывать пять основных требований:

- возможность экспонирования пленок толщиной до 150 мкм;
- высокая контрастность;
- высокая адгезия к металлу зародышевого слоя;

Таблица 1. Резисты для гальванического осаждения

Серия резистов (производитель)	Тип	Толщина пленки, мкм	Подходящий сниматель (производитель)
AZ 15nXT (Merck)	Негативный	5–20	TechniStrip NI555 (Technic)
AZ 125nXT (Merck)	Негативный	2–150	TechniStrip NI555 (Technic)
AZ 40XT (Merck)	Негативный	20–100	TechniStrip NI555 (Technic)
AR-N 4400 (Allresist)	Негативный	5–50	AR 600-70, AR 600-71 (Allresist)
AZ 4500 (Allresist)	Позитивный	2–25	AZ 100 Remover (Merck)
AZ 9200 (Merck)	Позитивный	2–25	AZ 100 Remover (Merck)
AR-P 3200 (Allresist)	Позитивный	5–25	AR 600-71 (Allresist)
Megaposit SPR-220 (Dow)	Позитивный	1–20	Remover 1165 (Dow)

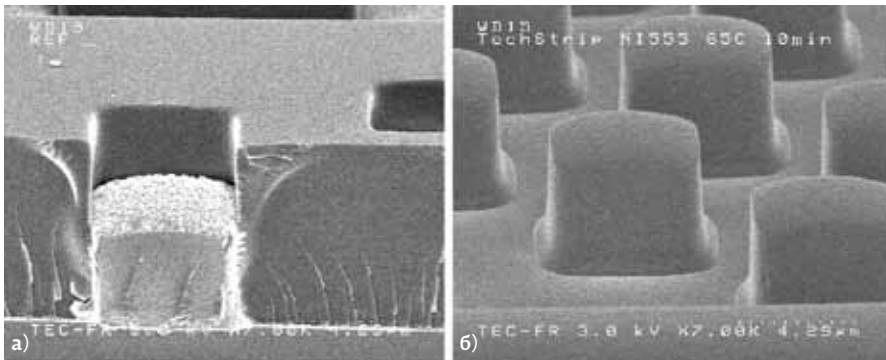


Рис. 3. Медные столбики до (а) и после (б) снятия резиста AZ 15nXT с помощью TechniStrip NI555

- стойкость к гальваническим растворам;
- снятие в растворах, не агрессивных к металлу выводов.

Универсальные резисты, используемые для производства микросхем, как правило, не подходят для процесса гальванического осаждения, поскольку они рассчитаны на малые толщины пленок (1–5 мкм) и выделяют азот при экспонировании больших толщин [3]. Сегодня на рынке доступно множество как позитивных, так и негативных резистов, пригодных или специально разработанных для процесса гальванического осаждения (табл. 1).

Негативные резисты серий AZ 15nXT и 40XT являются химически усиленными, AZ 125nXT – фотополимером. Эти резисты позиционируются производителем как специальные материалы для формирования выводов на пластине. Среди материалов других марок для этих целей подходит, например, химически усиленный негативный резист AR-N 4400.

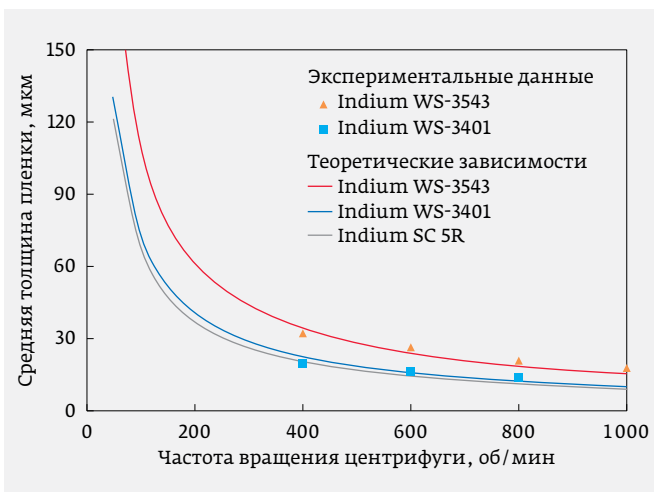


Рис. 4. Зависимость толщины флюса от скорости вращения центрифуги для некоторых продуктов компании Indium

В качестве позитивных резистов для процесса гальванического осаждения меди и припоев специально разработаны серии AZ 4500 и AZ 9200. Также для этой задачи подходят AR-P 3200 и MEGAPOSIT SPR-220. Все они устойчивы к умеренно щелочным и кислым средам, характерным для гальванического осаждения металлов.

Для снятия резистов после осаждения металла нельзя использовать реагенты, содержащие тетраметил-аммония гидроксид (ТМАГ) и некоторые амины, из-за их коррозионного действия на металлы. Как правило, снятие позитивных фоторезистов после гальванического осаждения не представляет сложностей в смесях органических растворителей (ДМФА, НМП и их менее токсичные альтернативы, ДМСО).

Однако снятие негативных резистов может вызывать сложности, поскольку для этих материалов характерна большая степень сшивки по сравнению с позитивными резистами. Для их снятия разработан специальный растворитель TechniStrip NI555, который растворяет резист без остатка, не повреждая металлизацию. На рис. 3 показан пример снятия AZ 15nXT после формирования столбиков из меди [4].

ОПЛАВЛЕНИЕ ПРИПОЯ. ФЛЮСЫ

Оплавление припоя после удаления фоторезиста необходимо для формирования вывода, пригодного для монтажа кристалла. Перед оплавлением на поверхность пластины наносится флюс, который обеспечивает удаление оксидов металлов во время оплавления. Для применения на уровне полупроводниковой пластины компания Indium разработала специальные флюсы с высокой чистотой и оптимальной вязкостью [5]. Некоторые свойства этих материалов приведены в табл. 2.

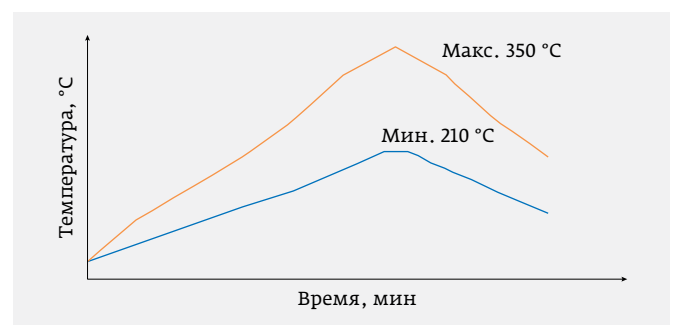


Рис. 5. Типичный вид термопрофилей при оплавлении припоя на пластине

Таблица 2. Флюсы компании Indium для оплавления припоя на пластине

Название	Для сплавов	Температура оплавления, °C	Вязкость, сСт	Метод нанесения
5-SLC	Sn-Pb, бессвинцовые	210–350	37	Центрифугирование, распыление, погружение
SC 5R	С высоким содержанием свинца, Sn-Pb, бессвинцовые	125–350	38	Центрифугирование, распыление
WS-3518	Sn-Pb, бессвинцовые	–	96	Центрифугирование, распыление
WS-3401	Sn-Pb, бессвинцовые	–	42	Центрифугирование, распыление
WS-3543	Sn-Pb, бессвинцовые	–	91	Центрифугирование, распыление
WS-3543-A	Sn-Pb, бессвинцовые	–	92	Центрифугирование, распыление

Нанесение флюса выполняется на центрифуге при 15–800 об/мин, либо посредством распыления. Также существуют флюсы, пригодные для нанесения путем погружения (например, Indium 5-SLC). Важно, чтобы толщина нанесенного флюса превышала высоту выводов из припоя. В противном случае будут проявляться дефекты из-за неполного смачивания поверхности припоя.

Нанесение флюса на центрифуге – самый распространенный метод. Зависимость толщины пленки флюса от скорости вращения центрифуги проиллюстрирована на рис. 4. Во многом процесс сходен с нанесением фоторезиста, но существует и отличие. Несмотря на то, что вязкость флюса сравнима с вязкостью фоторезиста, динамика их нанесения различается. В флюсах применяются растворители с низкой скоростью испарения, поэтому они медленно испаряются, а сам флюс дольше сохраняет способность растекаться по пластине. Такое поведение материала приводит к тому, что при длительном времени вращения он перетекает к краям, в результате чего в центре его толщина будет меньше. Соответственно, в отличие от нанесения фоторезиста при центрифугировании флюса необходимо уменьшать время вращения.

Оплавление припоя выполняется в атмосфере азота или формиоргаза. Максимально допустимое содержание кислорода в атмосфере печи составляет 20 ppm. Нагрев и охлаждение пластины осуществляются по термопрофилям, примеры которых приведены на рис. 5.

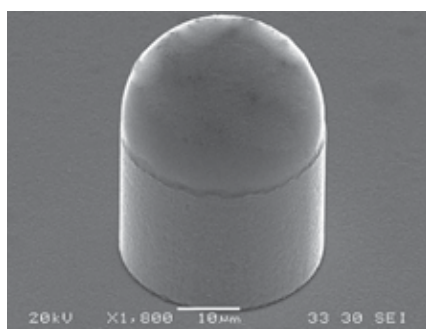


Рис. 6. Медный столбик с оплавленным припоем после отмычки остатков флюса

Для удаления флюсов используются специальные отмывочные жидкости (например, ZESTRON FA+, VIGON A 201, VIGON N 600). Существуют флюсы, смываемые в деионизированной воде (например, WS-3401). Пример шарикового вывода на кристалле после оплавления припоя и отмычки остатков флюса приведен на рис. 6.

Таким образом, технология формирования выводов припоя весьма сложная – она требует выполнения напыления, фотолитографии, гальванического осаждения, нанесения флюса и оплавления припоя. Правильный выбор технологических материалов для каждого этапа исключительно важен для получения надежных и качественных выводов.

Группа компаний Остек сотрудничает с производителями материалов для наиболее критичных этапов процесса: напыления, фотолитографии, оплавления припоя. Специалисты Остека готовы оказать технологическую поддержку в области применения материалов для создания выводов припоя на уровне пластины, совместно с производителями провести исследования и тесты, подобрать оптимальный технологический маршрут и материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Materials for Advanced Packaging, edited by D. Lu and C. P. Wong, Springer, 2008
2. Copper Pillar Electroplating Tutorial. <http://blog.dowelectronicmaterials.com/en/posts/2016/12/copper-pillar-electroplating-tutorial>
3. Thick Resist Processing. – https://www.microchemicals.com/technical_information/thick_resist_processing.pdf
4. TechniStrip NI555 Product description. – Technic Inc., <https://www.technic.com>
5. Mackie A. C. Spin-Coating Waferbumping Fluxes for Semiconductor Assembly: Ensuring Pristine Microbumps in Dimensional Devices. – Indium Corporation Tech. Paper, 2013.