

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМНЫХ ВЫВОДОВ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ ОСАЖДЕННОГО МЕТАЛЛА ДЛЯ СБОРКИ ТРЕХМЕРНЫХ МИКРОСТРУКТУР

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Бранцевич В. К., Кузьмар И. И., Кушнер Л. К.

Хмыль А. А. – д-р. техн. наук, профессор

Работа носит обзорный характер и посвящена проблеме формирования объемных выводов на кремниевом кристалле на основе электрохимически осажденного металла для сборки трехмерных микроструктур.

В современной микроэлектронике остро стоит проблема миниатюризации и высокого уровня интеграции. На сегодняшний день для обеспечения более высокого уровня функциональности при минимальных размерах и максимальном быстродействии остается единственный путь развития конструкции ИС – 3D-интеграция. Под 3D-интеграцией понимается переход от планарного расположения элементов к объемному (рисунок 1) [1].

В начале третьего тысячелетия была представлена TSV-технология (*Through Silicon Via*) – технология формирования трехмерных интегральных схем на основе их сборки в стек и формирования переходных отверстий в кремнии. Электрические соединения между заполненными медью отверстиями в кремнии различных кристаллов могут быть реализованы, используя шариковые объемные выводы (“bump”). Данные объемные выводы формируют электрохимическим методом или методом напыления. Электрохимический метод имеет много преимуществ, таких как возможность применения для массового производства, простота контроля за размером объемного вывода, относительно низкая стоимость производства.

Наиболее широко используемыми материалами для формирования объемных выводов является олово и сплавы на его основе (*Sn-Ag*, *Sn-Cu*, *Sn-Ag-Cu* и др.), а также серебро. Серебро характеризуется высокой электропроводностью, стойкостью к коррозии, хорошей паяемостью и свариваемостью. При электроосаждении выводов на кремниевую пластину для формирования рисунка используется фоторезист. Фоторезист помогает управлять размером объемных выводов и обеспечивает их постоянную форму (рисунок 2б). Однако сложный технологический процесс и высокая стоимость литографии сдерживает распространение TSV технологии для 3D-сборки микроструктур. Для устранения недостатков данного процесса широко исследуется метод без применения фоторезиста. Объемные выводы выращиваются гальваническим методом непосредственно на медных TSV-структурах (рисунок 2а).

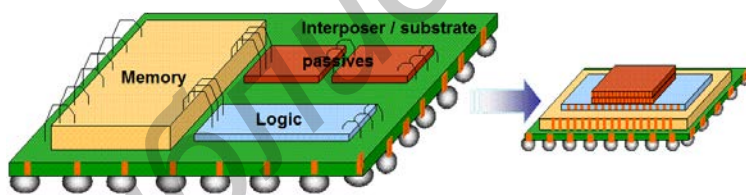


Рис. 1 – Переход от планарного расположения компонентов к объемному [3]

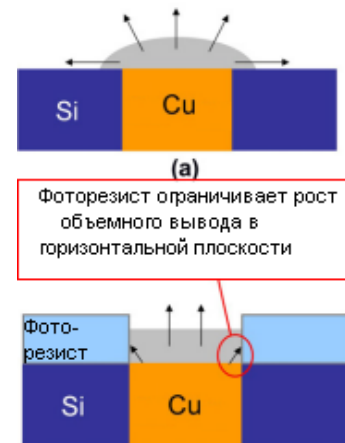


Рис. 2 – Схема формирования объемного вывода без (а) и с фоторезистом (б) [2]

Авторы [2] предлагают следующие условия формирования объемных выводов без применения фоторезиста. В состав электролита оловянирования входят 42,8 г/л $SnSO_4$, 106,8 г/л H_2SO_4 , добавки. Плотность тока 3 А/дм². Анод – платиновый. Осаждение идет с механическим перемешиванием. Объемные выводы, сформированные при таких условиях, представлены на рисунке 3.

Довольно успешными были и результаты исследований авторов [4]. В их работе электроосаждение олова также проводилось на постоянном токе, используя в качестве электролита коммерческий продукт *Slotoloy-Sn30*. Плотности тока – 4...6 А/дм². Температура электролита – 25 °С. Осаждение идет с механическим перемешиванием. Размер объемного вывода получился около 22 мкм в высоту и 68 мкм в ширину. Сформированные объемные выводы представлены на рисунке 4.

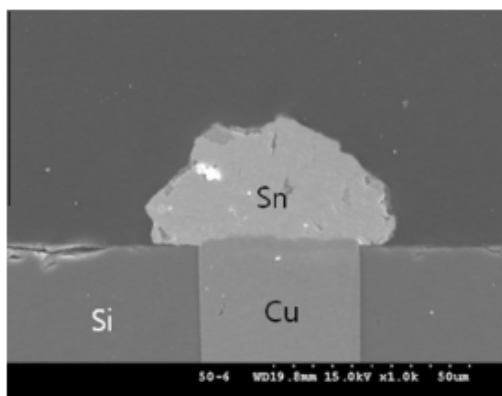


Рис. 3 – Поперечное сечение объемного вывода (3 А/дм², 30 мин)

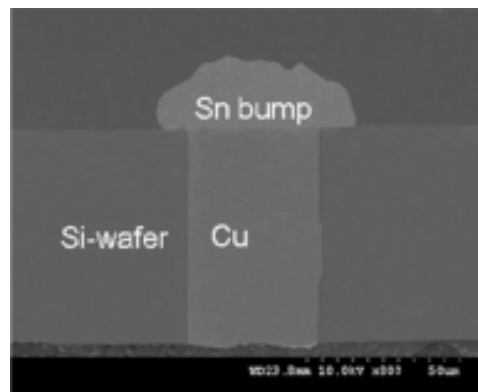


Рис. 4 – Поперечное сечение объемного вывода (5 А/дм², 30 мин)

Авторы [5] предлагают использовать нестационарные режимы электролиза при электроосаждении серебряных выводов из дицианоаргентатного электролита серебрения.

Применение импульсного электролиза для формирования объемных серебряных выводов позволило существенно изменить тонкую структуру материала изделий, вследствие ее формирования в течение коротких промежутков времени при высоких мгновенных значениях плотности тока. Она стала мелкокристаллической, плотноупакованной с блестящей поверхностью. Одновременно улучшились геометрические характеристики выводов: уменьшились средний диаметр и величина разброса по высоте. Частота импульсного тока оказала незначительное влияние на характеристики получаемых изделий.

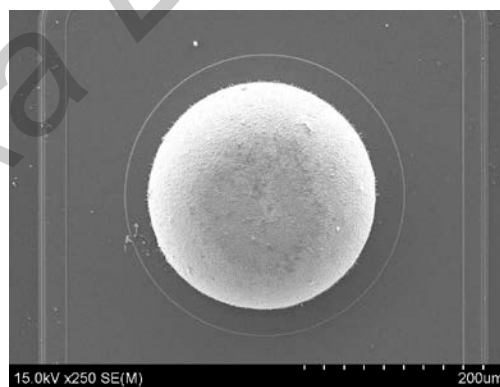
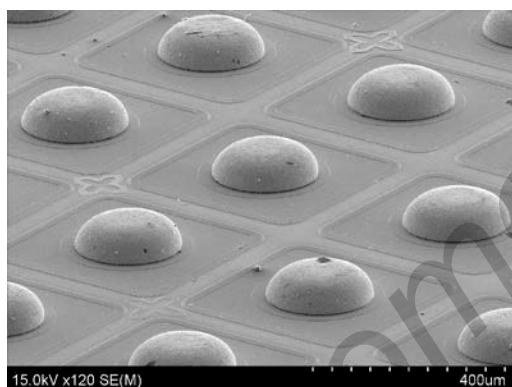


Рис. 5 – Объемные серебряные выводы, сформированные на кремниевой пластине [5]

Как следует из рисунка 5, осаждение на импульсном и реверсированном токе позволило снизить боковое разрастание и разновысотность выводов, улучшить качественные характеристики изделий, повысить плотность упаковки, и тем самым улучшить производительность технологического процесса и обеспечить экономию драгметалла.

Таким образом, из вышеуказанного вытекают такой путь развития технологии формирования объемных выводов на основе электрохимически осажденного металла для сборки трехмерных микроструктур, как использование нестационарных режимов электролиза без использования фоторезиста. Данный способ ведет к упрощения технологического процесса формирования объемных выводов, а вследствие и к удешевлению стоимости производства.

Список использованных источников:

- [1] Современные технологии 3D-интеграции / Александр Васильев. – КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ, № 1, 2010. – С. 156-158.
- [2] Characteristics of electroplated Sn bumps fabricated without a PR mould on a Si chip for 3D packaging / Jiheon Jun, Wanggu Lee, Jae Pil Jung, Y. Norman Zhou. – Microelectronic Engineering, № 93, 2012. – С. 85–90.
- [3] TSV vertical based interconnections, overview, state of the art / D. Henry, A. Berthelot, R. Cuchet, G. Simon, Y. Lamy, P. Leduc, J. Charbonnier – AIDA Meeting / 08 & 09th of April 2013.
- [4] Sn Bumping Without Photoresist Mould and Si Dice Stacking for 3-D Packaging / Sung Jun Hong, Ji Heon Jun, Jae Pil Jung, Michael Mayer, Member, IEEE, and Y. Norman Zhou – IEEE TRANSACTIONS ON ADVANCED PACKAGING, VOL. 33, NO. 4, NOVEMBER 2010. – С.912-917
- [5] Формирование объемных выводов полупроводниковых приборов методом электрохимического осаждения / Хмыль А.А., Кузьмар И.И., Кушнер Л.К., Богуш Н.В., Борисик М.М., Завадский С.М. – Доклады БГУИР, № 8 (78), 2013. – С. 34-38.