

**МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ОТВЕРСТИЙ ПРИ СОЗДАНИИ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ
ЭЛЕМЕНТОВ ИМС**

Кушнер Л.К.¹, Кузьмар И.И.¹, Степанова Л.И.², Лазарук С.К.¹, Василец В.К.¹ Хмыль А.А.¹,
¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
²Учреждение БГУ «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем
E-mail: kushner@bsuir.by

Abstract. *Metall filling of Through Silicon Vias (TSV), as one of the critical and enabling technologies for Three Dimensional Packaging, is presented in this paper. Copper electroplating techniques are investigated for the filling and metallization of vias. The results are demonstrated in this paper.*

Миниатюризация интегральных устройств и возрастающая функциональность требуют увеличения плотности межсоединений в ИС и МЭМС. 3D-интеграция является основным путем развития конструкции ИС, обеспечивающим более высокий уровень функциональности при минимальных размерах. Одним из направлений 3D-интеграции является трехмерная интеграция с помощью сквозных отверстий через кремний (TSV).

Используя преимущества меди в качестве материала межсоединений, состоящие в ее низком удельном сопротивлении и высокой токонесущей способности, разработан процесс электрохимического заполнения глухих отверстий в кремнии с барьерно-затраповочным слоем, полученным химическим осаждением никеля.

Как показали проведенные исследования, осаждение меди из электролитов без органических добавок на постоянном токе не всегда обеспечивает качественное заполнение отверстий. При использовании постоянного тока для осаждения меди в отверстия наблюдается неоднородное распределение плотности тока, которая во много раз выше на углах отверстия, чем в глубине, в результате чего глухие отверстия зарастают, так и не заполняясь изнутри. В результате в отверстиях образуются пустоты, которые могут приводить к выходу из строя систем металлизации в процессе работы схем.

Для беспустотного заполнения осаждение на поверхности подложки должно быть остановлено, в то время как в глубине отверстия – ускорено, для достижения так называемого заполнения «снизу вверх» или суперконформного заполнения, что обеспечивается электроосаждением с применением замедляющих и ускоряющих добавок. Использование добавок, создающих барьерный слой в местах наибольших градиентов (на поверхности и углах (выступах)), ингибирует там осаждение и ускоряет рост меди в углублениях.

Изучение механизма электрохимического осаждения меди из сульфатных электролитов показало, что рост катодной поляризации больше для электролита с добавками, что обусловлено подавлением процесса осаждения под действием добавок. Замедляющая добавка, адсорбируясь на поверхности меди и блокируя ее, уменьшает скорость осаждения, что видно из поляризационных исследований (рис. 1). Ускоритель уменьшает эффект ингибитора при адсорбции на медной поверхности и способствует ее активированию и адсорбции атомов меди, увеличивая скорость осаждения. В процессе электролиза ускоритель разлагается с образованием продуктов, ускоряющих процесс осаждения еще в большей степени. Эти закономерности характерны как для осаждения на плоский образец, так и на пластину с отверстиями. Усложнение поверхности (например, наличием отверстий) приводит к некоторому изменению механизма действия добавок. Высокий коэффициент диффузии и медленная абсорбция молекул ускорителя позволяют им легко проникать внутрь отверстия и повышать скорость осаждения. При протекании катодного тока ингибиторы вследствие высокой абсорбционной способности образуют пассивирующую

пленку на поверхности. Поверхностная концентрация ингибитора обратно пропорциональна концентрации ускорителя, поэтому ингибиторы преимущественно пассивируют внешнюю часть окон, что приводит к осаждению снизу-вверх (рис.2).

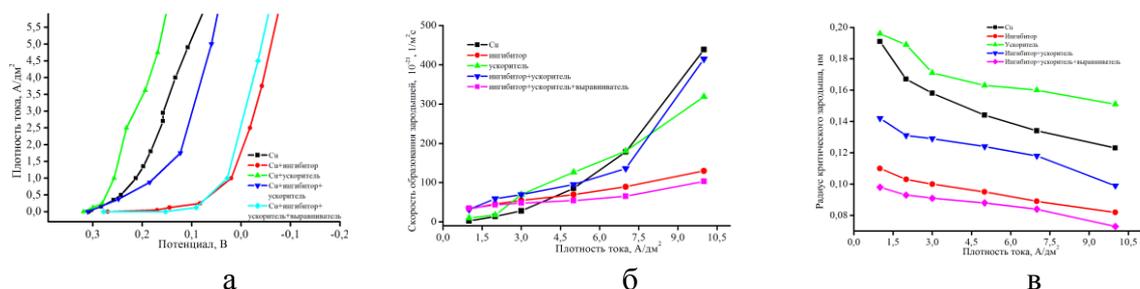


Рисунок 1 –Влияние состава электролита меднения на ВАХ процесса осаждения (а) и параметры зародышеобразования (б, в) медных осадков

Выравнивающая добавка вводится в электролит для выравнивания осадка за счет относительного увеличения скорости осаждения в углублениях и уменьшения скорости на выступах поверхности.

Повышение катодной поляризации при введении в электролит добавок приводит к увеличению скорости зародышеобразования (что особенно важно в условиях ограниченного массопереноса в отверстиях с большим аспектным отношением) (рис. 1) и формированию более плотных мелкокристаллических осадков с лучшей прочностью сцепления с барьерно-адгезионным слоем.

Для заполнения отверстий с большим аспектным отношением (> 5) использовано электроосаждение на реверсированном токе с применением замедляющих и ускоряющих добавок. Механизм импульсной металлизации с реверсом тока заключается в том, что выравнивающие добавки, которые адсорбируются на поверхности катода при реверсе тока пропорционально градиенту тока, создают барьерный слой, препятствующий осаждению металла на выступах и острых кромках, способствуя преимущественному осаждению в глубине отверстий, с последующим анодным растворением при обратном импульсе металла преимущественно на выступающих участках. Кроме того, при обратном импульсе идет анодное травление металла на больших градиентах тока, то есть именно там, где произошло большее наращивание при прямом токе. Наблюдается интенсивное разрушение концентрационной катодной поляризации, что способствует обновлению электролита в прикатодном слое.

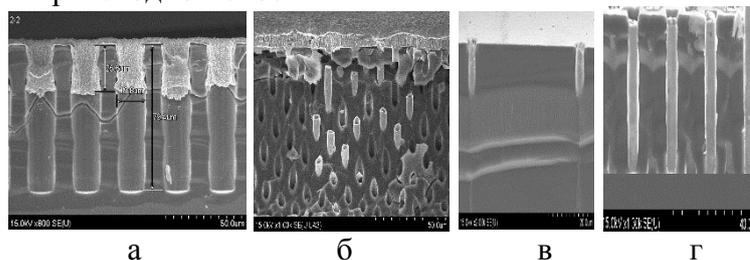


Рисунок 2 – Влияние состава электролита на заполнение медью отверстий в кремнии: а – в отсутствие добавок, б – в присутствии ингибитора, в – в присутствии ингибитора, ускорителя и выравнивателя, г – в присутствии 3-х добавок на реверсированном токе

В результате проведенных исследований оптимизирован состав сульфатного электролита меднения и отработаны технологические режимы электрохимического заполнения медью соединительных отверстий в кремнии в зависимости от их геометрических размеров.