

УДК 621.357.7:621

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ В МАТЕРИАЛАХ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Н. Н. ФЕДОСЕНКО, кандидат технических наук, доцент¹

Н. А. АЛЕШКЕВИЧ, кандидат физико-математических наук, доцент¹

П. В. АСТАХОВ, кандидат физико-математических наук, доцент²

А. Н. КУПО¹

¹Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», Республика Беларусь

²Государственное учреждение образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Рассмотрен метод послойного формирования трехмерных токопроводящих межсоединений на кремниевых подложках, отличающийся тем, что для повышения адгезионных свойств получаемых покрытий непосредственно на подложку наносится промежуточный подслой титана, а в целях обеспечения высокой токопроводящей способности полученных соединений процесс электрохимического осаждения сопровождается лазерной стимуляцией.

Ключевые слова: токопроводящие межсоединения, фотолитография, адгезия, электрохимическое осаждение, лазерная стимуляция.

Введение

Наряду с тенденцией увеличения степени интеграции и миниатюризации изделий в микроэлектронике, растет спрос на повышение функциональности микросистем, улучшение их характеристик, повышение производительности и снижение их себестоимости. В технологии изготовления изделий электронной техники более половины производственных затрат приходится на долю фотолитографии.

В настоящее время особый интерес представляют технологии формирования сквозных токопроводящих каналов, так называемых межсоединений. Известно, что наиболее приемлемыми характеристиками обладают поверхностные структуры, сформированные на поверхности кремния фотолитографическим методом и покрытые слоем фоторезиста. При этом используемые фоторезисты должны обладать высокой чувствительностью к действию излучения, высокой стойкостью к плазмохимическому травлению, малой дефектностью, высокой контрастностью, низкой чувствительностью к изменению параметров фотолитографического процесса и т. п. [1]. В связи с этим разработка и совершенствование технологий и материалов для создания сквозных токопроводящих каналов (межсоединений) является задачей весьма актуальной [2].

Основная часть

Основным материалом для формирования токопроводящих межсоединений фотолитографическим методом является электроосажденная медь, которая имеет низкое удельное сопротивление, высокую токонесущую способность, а сама технология дает возможность дальнейшего масштабирования (т. е. уменьшения

топологических размеров) и обладает достаточно высокой экономической эффективностью [3], [4]. Кроме того, медные микро- и наноконтакты способны выдерживать высокие плотности тока, что актуально при переходе к более компактным нанометровым межсоединениям.

Проведенные ранее исследования [5] показали, что формирование медного подслоя непосредственно на поверхности кремния с последующим нанесением и проявлением фоторезиста не позволяет получить токопроводящие структуры с высокими электропроводящими и прочностными свойствами.

В целях повышения прочности адгезионного соединения полученных покрытий было принято решение нанести дополнительно, непосредственно на подложку, промежуточный подслои титана с последующим нанесением слоя меди. С целью выбора материала, обеспечивающего более высокие токопроводящие характеристики, непосредственно сами межсоединения формировались электрохимическим осаждением ряда металлов: медь, олово и серебро. Процесс электрохимического осаждения сопровождался лазерной стимуляцией.

Формирование промежуточных слоев «титан-медь» осуществлялось на базе установки вакуумного напыления УВНИПА-1-001, содержащей газовый ионный источник ИИ-4-015, с помощью которого производится очистка и нагрев подложек; источник плазмы стационарного катодно-дугового разряда с металлическим катодом (титан/медь) [6]. Схема установки представлена на рисунке 1.

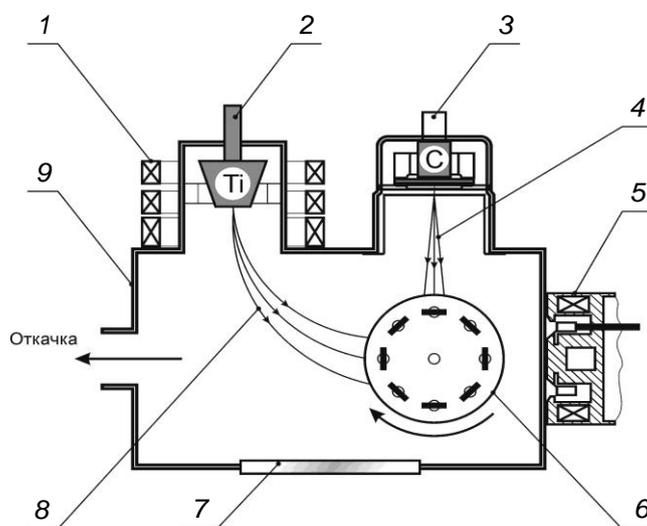


Рисунок 1 – Схема вакуумной установки, предназначенной для формирования слоев титана и меди:

- 1 – магнитные катушки; 2 – электродуговой испаритель; 3 – источник плазмы;
4 – поток углеродной плазмы; 5 – ионный источник; 6 – предметный стол;
7 – смотровое окно; 8 – поток металла; 9 – вакуумная камера

Технология нанесения металлических слоев включала в себя несколько этапов и реализовывалась в следующей последовательности:

- откачка вакуумной камеры до остаточного давления $5 \cdot 10^{-3}$ Па;
- очистка и нагрев подложки осуществлялись с помощью ионного источника АИДА ($P_{\text{ар}} = 6 \cdot 10^{-2}$ Па, ток разряда 3 А, напряжение разряда 350 В). Очистка производилась в течении 15 мин;
- нанесение слоя титана катодно-дуговым методом с сепарацией капельной фазы. На стол с образцами подавался отрицательный потенциал смещения равный –

200 В (параметры работы дугового испарителя – ток дуги 90 А, напряжение 40 В). Время нанесения слоя титана составляло 3 мин;

– нанесение катодно-дуговым методом слоя меди с сепарацией капельной фазы. На стол с образцами подавался отрицательный потенциал смещения равный –150 В (параметры работы дугового испарителя – ток дуги 70 А, напряжение 40 В). Время нанесения слоя меди составляло 5 мин.

Далее на поверхности полученной двухслойной (Ti–Cu) структуры методом центрифугирования формировали слой фоторезиста с последующим спеканием в муфельной печи при температуре $90 \div 100$ °С. Полученные образцы подвергались обработке ультрафиолетовым излучением через маску, представляющую собой матрицу периодических структур с различным расстоянием между штрихами (до 10 штрихов на один миллиметр). Проявление осуществлялось в 1%-м растворе гидроксида натрия. После «задубливания» пленка фоторезиста на поверхности медного подслоя представляла собой чередование периодических структур с различным разрешением, что давало возможность использовать полученные образцы для последующей электрохимической обработки с целью осаждения металлов в сквозные пустоты, сформированные в слое фоторезиста.

Электрохимическое осаждение меди, олова и серебра проводилось при стимуляции процесса лазерным излучением с длиной волны 1,06 мкм [7]. Используемая лазерная установка характеризуется следующими параметрами: режим работы – импульсно-периодический; энергия лазерного излучения в импульсе составляет 12 Дж; длительность импульса – $(1 \div 4)10^{-3}$ с; частота следования импульсов – $(1 \div 60)$ Гц.

В рамках экспериментальных исследований методом лазерного электролитического осаждения получена серия образцов медных, оловянных и серебрянных межсоединений в слое фоторезиста. Осаждение проводилось в течение 10 мин. Толщина слоя электролита над катодом составляла 10 мм. Лазерное излучение фокусировалось на поверхность катода в пучок с диаметром поперечного сечения $d = 0,2$ мм.

Структура полученного покрытия изображена на рисунке 2.

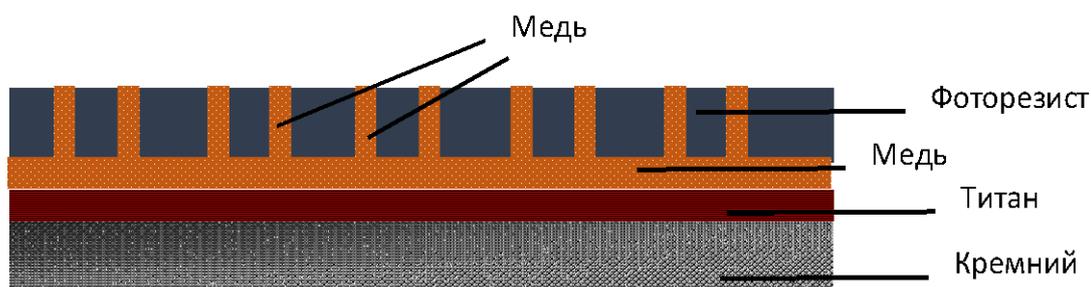


Рисунок 2 – Структура покрытия с периодическими межсоединениями на поверхности кремния

Было установлено, что в зоне воздействия лазерного излучения характер поверхности контактной площадки существенно отличается от покрытий за пределами этой зоны, а именно: формирующаяся под воздействием лазерного излучения поверхность характеризуется более высокой отражательной способностью, а значит, гладкостью рельефа. Отличительной чертой медных покрытий является более существенное увеличение скорости осаждения в зоне локального осадка по сравнению с другими металлами, что объясняется, на наш взгляд, высоким значением коэффициента теплопроводности меди.

Были выполнены экспериментальные исследования по определению зависимости удельного поверхностного сопротивления R от плотности мощности W стимулирующего лазерного излучения для локальных осадков различных металлов. Для определения поверхностного сопротивления был использован четырехзондовый метод. Результаты исследования приведены на рисунке 3.

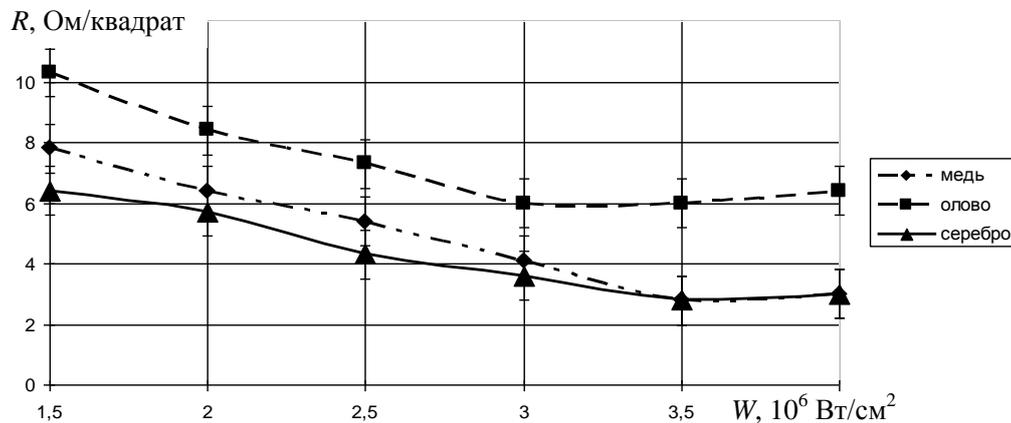


Рисунок 3 – Зависимость поверхностного удельного сопротивления от плотности мощности лазерного излучения

Как видно из рисунка, поверхностное сопротивление локальных осадков металлов, полученных электрохимическим методом с использованием стимулирующего лазерного излучения с увеличением плотности мощности в интервале $(1,5 \div 3,5) \cdot 10^6$ Вт/см², уменьшается и практически достигает значения, соответствующего идеально гладкой поверхности, затем вновь возрастает. Эти результаты согласуются с динамикой характера микроструктуры локальных осадков, полученных при различных значениях плотности мощности [7]. Увеличение плотности мощности лазерного излучения в указанном диапазоне первоначально приводит к образованию более упорядоченной микроструктуры, т. е. к формированию менее шероховатой поверхности, затем наблюдается деградация свойств и электрохимический осадок разрушается.

Заключение

Предложенный метод послойного формирования токопроводящих межсоединений на кремниевых подложках позволяет формировать трехмерные (сквозные) контактные площадки, обладающие высокими адгезионными свойствами за счет использования титанового подслоя без потери электропроводящих свойств. Токопроводящие свойства полученных межсоединений (контактов) могут быть повышены за счет использования в процессе электрохимического осаждения стимулирующего лазерного излучения. Стимулирующее действие лазерного излучения при соответствующем подборе режима облучения (плотность мощности порядка $3,5 \cdot 10^6$ Вт/см²) приводит к улучшению морфологии поверхности и соответственно к уменьшению поверхностного сопротивления пленок.

Литература

- 1 Зеленцов, С. В. Современная фотолитография : учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Новые материалы электроники и оптоэлектроники для информационно-телекоммуникационных систем / С. В. Зеленцов, Н. В. Зеленцова. – Н. Новгород, 2006. – 56 с.

- 2 Дубинин, М. В. Формирование наноразмерных медных межсоединений элементов интегральных микросхем / М. В. Дубинин, В. Е. Борисенко // Докл. БГУИР. – 2011. – № 8 (62). – С. 34–38.
- 3 Edelstein, D. C. // IBM Res. Magazine. – 1997. – Vol. 16, № 4. – P. 773.
- 4 R. Rosenber [et al.] // Annu. Rev. Mater. Sci. – 2000. – Vol. 30. – P. 229.
- 5 Хмыль, А. А. Формирование трехмерных токопроводящих микроструктур на поверхности кремния / А. А. Хмыль, Н. Н. Федосенко, А. Н. Купо // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. – 2012. – № 6 (75). – С. 95–98.
- 6 Structure and Mechanical Properties of (Cu, Ti) – Binary Metal Doped Diamond-Like Carbon Films / Xiaohong Jiang Bing Zhou¹, Dzmitry G. Piliptsov, Aliaksandr V. Rahachou // Advanced Materials Research Vols. – 2011. – P. 217–222 (Trans Tech Publications, Switzerland).
- 7 Технология и техника прецизионного лазерного модифицирования твердотельных структур / А. П. Достанко [и др.] ; под общ. ред. А. П. Достанко и Н. К. Толочко. – Минск : Технопринт, 2002. – 375 с.

Поступила в редакцию 03.10.2013

N. N. Fedosenko, N. A. Aleshkevich, A. N. Kupo
METHOD OF FORMING GANG INTERCONNECTIONS IN ELECTRONICS
MATERIALS

A method for forming three-layered conductive wiring on silicon substrates, characterized in that to improve adhesion of coatings applied directly to the substrate in between the titanium underlayered, and in order to ensure high current-carrying capacity of the compounds of the electrochemical deposition process followed by laser stimulation.