

ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МАГНЕТРОННЫМИ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ

В.В. Одинок

АННОТАЦИЯ

Рассмотрено несколько конструкций технологических вакуумно - плазменных камер с планарными магнетронными распылительными системами, снабженными средствами дополнительной ионизации распыленного материала мишеней для металлизации глубоких отверстий и щелей при формировании контактов с заполнением высокоаспектных структур в микроэлектронике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ВАКУУМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННАЯ КАМЕРА МАГНЕТРОННАЯ
РАСПЫЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА, МЕТАЛЛИЗАЦИЯ, ИОНИЗАЦИЯ

VACUUM-PLASMA EQUIPMENT WITH MODIFIED MAGNETRON SPUTTERING SYSTEMS

V.V. Odinkov

ABSTRACT

Several designs of technological vacuum-plasma chambers with planar magnetron sputtering systems equipped with means of additional ionization of the sprayed target material for metallization of deep holes and crevices during the formation of contacts with filling of high-aspect structures in microelectronics are considered.

KEYWORDS

VACUUM EQUIPMENT, VACUUM PLASMA CHAMBER MAGNETRON SPRAY SYSTEM,
METALLIZATION, IONIZATION

ВВЕДЕНИЕ

Для конформного покрытия высокоаспектных ступеней, щелей и отверстий используется магнетронное распыление с повышенной ионизацией распыляемого материала (Ionized physical vapor deposition - IPVD) [1]. Процессы IPVD реализуются с применением мощных магнетронов на постоянном (self-ionized plasma - SIP) и импульсном (high power impulse magnetron sputtering -HiPIMS) токах. Также IPVD процессы обеспечиваются введением дополнительных источников плазмы в виде СВЧ (ECR-MS) и ВЧ (ICP-MS) разрядов в области между мишенью магнетрона и пластиной. На рисунке 1 показано формирование межслойного контакта в глубокой щели элемента СБИС.

Операции формирования переходного контакта:

1. Обезгаживание и ВЧ очистка контакта (CuO)
2. Нанесение адгезионного слоя (Ti, Ta, TaN) (Рис.1а)
3. ВЧ травление адгезионного слоя (Рис.1.б)
4. Нанесение барьерного слоя (Ti, TiN, Ta, TaN) (Рис.1.с)
5. ВЧ травление барьерного слоя (Рис.1.д)

6. Нанесение «зародышевого слоя» Cu (Рис.1.е)
7. Гальваническое заполнение отверстий (Рис.1.е)
8. Химико-механическое удаление Cu с поверхности

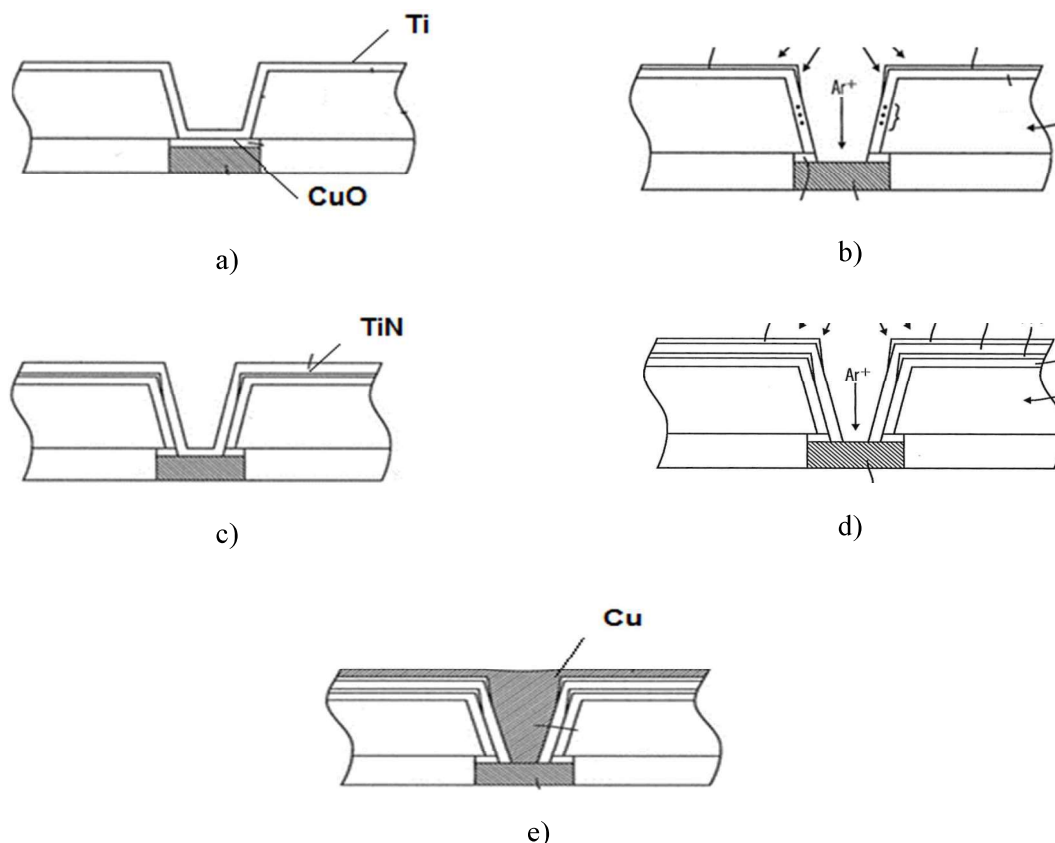


Рис. 1. Схема формирования межслойного контакта в глубокой щели элемента СБИС

С увеличением степени интеграции СБИС увеличивается отношение глубины к ширине траншей разводки и диаметру сквозных отверстий. Обычный метод магнетронного распыления не обеспечивает надежную металлизацию высокоаспектных структур. В этом случае распыленный материал мишени осаждается равномерно по плоской поверхности пластины и на дно траншей и отверстий не проникает. Образуются так называемые пленочные «козырки» (Рис. 2 а). Эти нависающие пленочные козырки необходимо распылять ионами аргона из плазмы ВЧ-разряда, создаваемого над поверхностью пластины.

Для заполнения дна и боковых поверхностей, траншей и отверстий необходимо направленное осаждение распыленного ионизированного материала мишени.

Для их заполнения разрабатываются реакторы с дополнительной ионизацией распыляемого материала (Рис. 2 b), которые обеспечивают заполнение глубоких отверстий $AR > 10$.

Направлением движения ионизированных частиц в вакууме можно управлять магнитным полем. Положительно заряженные частицы в основном движутся вдоль силовых линий магнитного поля в направлении к отрицательному электроду.

В плазме магнетронного разряда ионизации подвергаются 5-10% распыленного материала мишени. Этого недостаточно для эффективного использования распыленного материала для направленного осаждения и заполнения высокоаспектных структур СБИС.



Рис. 2. Схема осаждения с использованием нейтральных атомов мишени (a) и ионов материала мишени (b)

На рис.3 показаны системы нанесения пленок в вакууме методом дугового испарения и магнетронного распыления, которые в разной степени обеспечивают ионизацию материала мишеней.

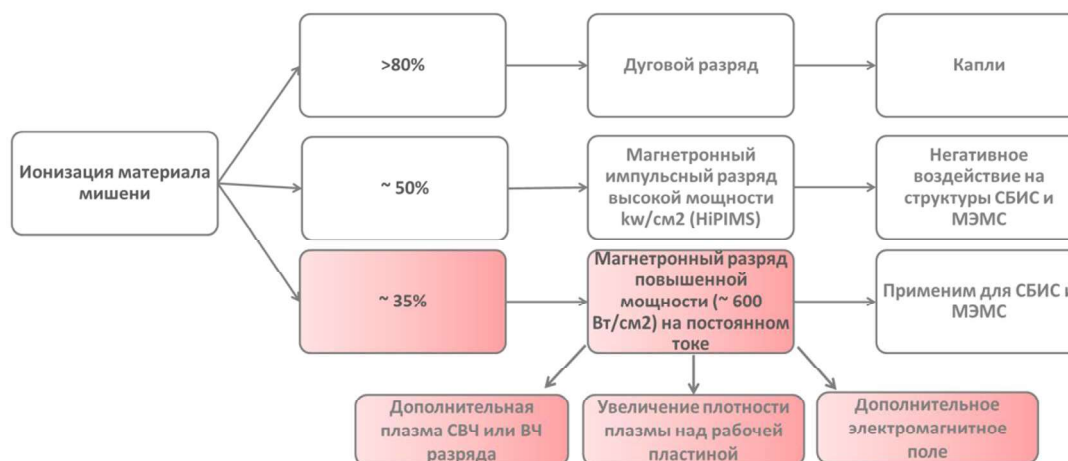


Рис.3. Классификация способов нанесения пленок в вакууме методом дугового испарения и магнетронного распыления с точки зрения ионизации наносимого материала

Испарение материала мишени дуговым разрядом в вакууме обеспечивает наибольшую ионизацию материала мишеней (более 80% для тугоплавких металлов). Однако данный метод нанесения пленок не приемлем для микроэлектроники из-за наличия капельной фазы в испаряемом потоке материала мишеней [2,3].

Использование импульсного разряда высокой мощности в магнетронных системах распыления (HiPIMS) обеспечивает высокую ионизацию распыленного материала ($\sim 50\%$) и может применяться для простых ИС. На более сложные структуры СБИС негативно воздействуют высокие энергии ионизированных частиц, распыленных в этих магнетронных распылительных системах.

Наиболее перспективным методом металлизации СБИС является использование магнетронного разряда повышенной мощности на постоянном токе с дополнительными средствами ионизации распыленного материала. Для этого необходимо в промежутке между мишенью магнетронного устройства и поверхностью рабочей пластины размещать

средства создания ВЧ или СВЧ разряда или создавать дополнительные электромагнитные поля, а на рабочем электроде с пластиной создавать плазму разряда, которая способствует активной ионной бомбардировке углублений в структурах СБИС.

На рисунке 4 приведены схемы рабочих вакуумно-плазменных камер с модифицированными магнетронными распылительными системами, в которых распыленные атомы и молекулы материала мишеней подвергаются дополнительной ионизации при движении к поверхности пластин. Наиболее эффективно ионизации подвергается распыленный материал мишеней в ВЧ-индукторе.

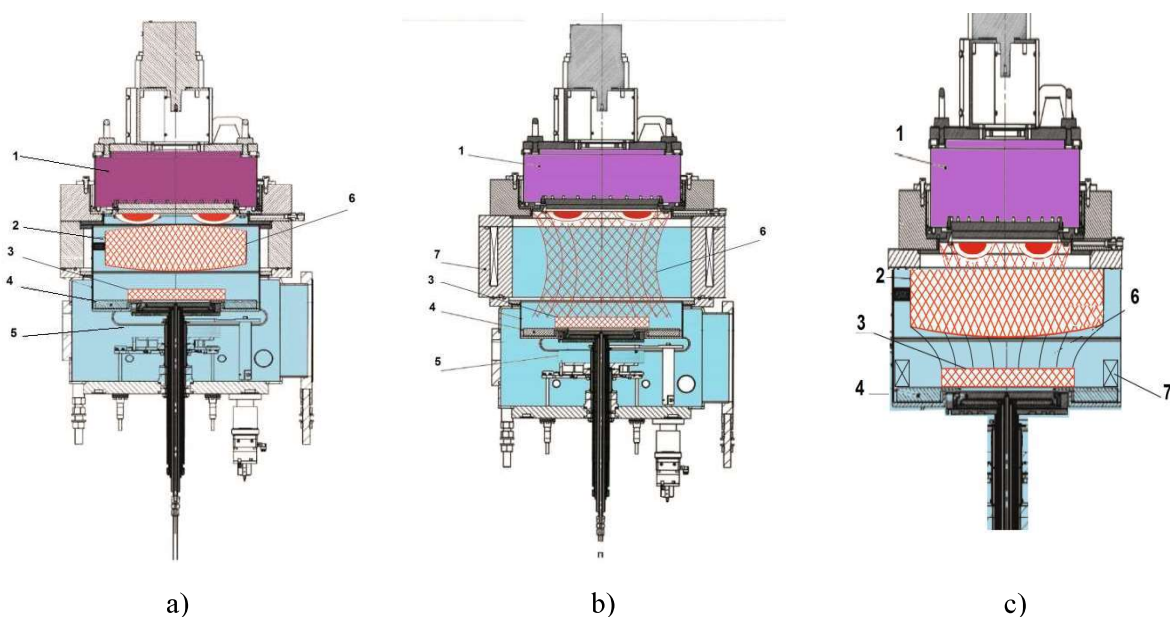


Рис. 4. Схемы рабочих вакуумно-плазменных камер с модифицированными магнетронными распылительными системами: а) - рабочая камера с ВЧ-индуктором, б) - рабочая камера с соленоидом, с) - рабочая камера с ВЧ-индуктором и соленоидом в плоскости рабочего стола в пластинах

Дополнительной ионизации материал мишеней можно осуществлять с использованием электромагнитного поля от соленоида. В этом случае ионизированные частицы дополнительно имеют направленное движение вдоль силовых линий электромагнитного поля к поверхностям пластин. С наибольшим эффектом ионизация распыленного материала мишеней и направленного его осаждения в углублениях пластин осуществляется при использовании ВЧ-индуктора и электромагнитного поля от соленоида, расположенного в плоскости расположения рабочего стола с пластиной

ВЫВОДЫ

Рассмотренное вакуумно-плазменное оборудование с различными магнетронными распылительными системами, обеспечивающими дополнительную ионизацию распыленного материала мишеней, могут быть использованы для металлизации СБИС с высокой степенью интеграции с обеспечением конформного покрытия высокоаспектных щелей и отверстий в технологии их изготовления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Norwood J. Ionized physical vapor deposition of integrated circuit interconnects. J. Phys. Plasmas, 1998, v. 5, pp. 1624-1631.
2. Кузьмичёв А. И., Бабинов Н. А., Лисенков А. А. Плазменные эмиттеры источников заряженных и нейтральных частиц. Киев, Аверс, 2016.
3. Потоки частиц и массоперенос в вакуумной дуге : Обзор по данным отеч. и зарубеж. печати за 1931-1983 гг. / [И. И. Аксенов, В. М. Хороших]. - М. : ЦНИИАтоминформ, 1984. - 57 с

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Одинокое В.В. – доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке АО НИИТМ, г. Москва, г. Зеленоград.