

его основные функции. Преимуществами являются высокий уровень мотивации участников и высокая включенность в решение поставленных задач.

Обучение по методу Sadowing (с англ. быть тенью) Применяется в процессе переквалификации на другую специальность или адаптации нового обучающегося (например, на педагогической практике). Преимущества: простота и экономичность, ускоряется процесс адаптации к новому виду деятельности; погружение обучающегося в «реальную» обстановку.

В заключение можно сказать, что применение данных методов обучения на учебных занятиях поспособствует формированию мотивации у обучающихся к обучению, предотвратит рутину и однообразие на учебных занятиях, научит обучающихся принимать решения и нести за них ответственность.

УДК 621.762.4

Асцилене Д.Л.

ТЕХНИКА МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК. ГАЗОФАЗНОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК

БНТУ, Минск

Научный руководитель Бабук В.В.

С появлением и развитием магнетронных источников магнетронное распыление прочно вошло в практику получения металлизации современных гибридных интегральных схем. Магнетронное распыление применяется в большом числе различных напылительных, как вновь разрабатываемых, так и модернизируемых вакуумных установках предыдущих годов выпуска.

Магнетронными называются системы, в которых используются неоднородные скрещенные магнитное поля.

Электрические параметры разряда в магнетронной системе в значительной степени зависят от рабочего давления, величины и конфигурации магнитного поля, конструктивных особенностей распылительной системы. Магнетронные системы относятся к системам ионного распыления, в которых распыление материала происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа (обычно аргона), образующихся в плазме аномального тлеющего разряда. Высокая скорость распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности ионного тока за счет локализации плазмы у распыляемой поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля.

Основными элементами устройства являются катод-мишень, анод и магнитная система. Силовые линии магнитного поля замыкаются между полюсами магнитной системы. Поверхность мишени, расположенная между местами входа и выхода силовых линий магнитного поля, интенсивно распыляется и имеет вид замкнутой дорожки, геометрия которой определяется формой полюсов магнитной системы. При подаче постоянного напряжения между мишенью (отрицательный потенциал) и анодом (положительный или нулевой потенциал) возникает неоднородное электрическое поле и возбуждается аномальный тлеющий разряд. Наличие замкнутого магнитного поля у распыляемой поверхности мишени позволяет локализовать плазму разряда непосредственно у мишени.

Эмитированные с катода под действием ионной бомбардировки электроны совершают движение по замкнутым траекториям у поверхности мишени. Электроны оказываются как бы в ловушке, создаваемой с одной стороны магнитным полем, возвращающим электроны на катод, а с другой стороны – отрицательно заряженной поверхностью мишени, отталкивающей их. Электроны совершают циклическое движение в этой ловушке до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами рабочего

газа, в результате которых электрон теряет полученную от электрического поля энергию и диффундирует на границу плазмы по направлению к аноду. Таким образом, большая часть энергии электрона, прежде чем он попадет на анод, используется на ионизацию и возбуждение атомов рабочего газа (чаще всего – аргона), что значительно увеличивает эффективность процесса ионизации и приводит к возрастанию концентрации положительных ионов у поверхности мишени. Это в свою очередь обуславливает увеличение интенсивности ионной бомбардировки мишени и значительный рост скорости распыления, а, следовательно, и скорости осаждения пленки. Средние скорости осаждения различных материалов с помощью магнетронной распылительной системы, имеющей плоскую дисковую мишень диаметром 150 мм при мощности источника 4 кВт и расположении подложки на расстоянии 60 мм от поверхности мишени, составляют от 10 до 70 нм/с.

Следует отметить, что плазма разряда существует, в основном, в области магнитной ловушки в непосредственной близости от мишени, и ее форма определяется геометрией и величиной магнитного поля. Создание магнитной ловушки у распыляемой поверхности мишени представляет собой простое, но весьма эффективное решение проблемы увеличения скорости распыления в плазменных распылительных системах. Но помимо этого достоинства магнетронная распылительная система обладает рядом специфических свойств, основным из которых является отсутствие бомбардировки подложки высокоэнергетическими вторичными электронами.

Известно, что при распылении материалов в плазме тлеющего разряда высокоэнергетические вторичные электроны с мишени являются основным источником нагрева подложек. В магнетронной распылительной системе вторичные электроны захватываются магнитной ловушкой и не бомбардируют подложку, что обеспечивает ее сравнительно низкую температуру. Источниками нагрева подложки в этой системе

служат кинетическая энергия и энергия конденсации осаждаемых атомов, энергия отраженных от мишени нейтрализованных ионов и энергия ионов вторичной плазмы, а также излучение плазмы.

Энергия конденсации составляет 3-9 эВ/атом, кинетическая энергия в зависимости от распыляемого материала от 5 (для алюминия) до 20 эВ/атом (для вольфрама), а излучение плазмы 2-10 эВ/атом. Энергия вторичных ионов в зависимости от конструкции магнетрона и подложкодержателя может составлять 30-50 эВ/ион. Плотность ионного тока на подложку зависит только от концентрации вторичной плазмы в области подложки, а она, в свою очередь, зависит от мощности магнетронного разряда и конфигурации и напряжённости магнитного поля магнетрона. Магнетроны условно подразделяются на «сбалансированные» и «разбалансированные» с разной степенью разбалансированности. Эту степень разбалансированности можно характеризовать отношением плотности тока вторичных ионов на подложку к плотности потока падающих на нее распыленных атомов.

От степени разбалансированности магнетрона зависит и крутизна вольтамперной характеристики разряда, и термическая нагрузка на подложки, и во многих случаях, качество и структура напыляемых пленок.

Основные рабочие параметры магнетронных распылительных систем – напряжение на электродах, ток разряда, плотность тока на мишени и удельная мощность, величина индукции магнитного поля и рабочее давление. От величины и стабильности перечисленных параметров, которые взаимно связаны между собой, зависят стабильность разряда и воспроизводимость процесса нанесения пленок.

Магнетронная распылительная система может работать в диапазоне давлений от 10^{-2} до 1 Па и выше. Важнейшими параметрами, во многом определяющими характер разряда в ней, являются геометрия и величина магнитного поля, индукция которого у поверхности мишени 0,03-0,1Т.