

Устройство формирования упрочняющих покрытий на принципе согласованного действия магнетронного и дугового разрядов низкого давления

Д.Б.-Д.Цыренов, А.П.Семенов, Н.И.Сушенцов¹

Отдел физических проблем при Президиуме Бурятского научного центра СО РАН

670047 Улан-Удэ, Россия

e-mail: dmitriyazak@mail.ru

¹Марийский государственный технический университет

424000 Йошкар-Ола, Россия

e-mail: sni@mari-el.ru

Разработана гибридная технология получения функциональных композиционных покрытий TiN-Cu при совместном действии магнетронного и дугового разрядов низкого давления. Разработан генератор плазмы и рассмотрено взаимное влияние магнетронного и дугового разрядов на стабильность процесса формирования покрытий. Изучены основные электрофизические и технологические параметры генератора плазмы, показана возможность взаимоувязанной работы вакуумного дугового испарителя и планарного магнетрона. Основными преимуществами предлагаемого совмещения процессов распыления в магнетронном разряде и дуговом разряде являются расширенные возможности управления составом, структурой и свойствами покрытий, снижение температуры осаждения, и как следствие повышение качества покрытий.

Введение

Разработка гибридных технологий выращивания многофункциональных покрытий в вакууме является актуальной научной задачей, имеющей важное практическое значение. Комбинация разных ростовых процессов (испарение в дуговом вакуумном разряде, сопровождаемое ионной бомбардировкой и магнетронное распыление) в одной установке открывает новые приёмы выращивания покрытий, в частности, нитрида титана в парах меди. Данные методы универсальны по возможности получения моно- и многослойных и композиционных покрытий, обладающих уникальными эксплуатационными характеристиками. В качестве основных преимуществ использования планарного магнетрона можно выделить следующее: умеренные скорости осаждения и регулируемые в широком диапазоне значений скорости распыления, сравнительно низкая температура подложек, малая степень

загрязненности пленок посторонними газовыми включениями [1]. Процесс получения пленок испарением в дуговом вакуумном разряде с ионной бомбардировкой также имеет ряд крайне важных преимуществ: возможность нанесения покрытий на детали сложной геометрической формы, высокие скорости осаждения, высокий коэффициент ионизации испаряемых частиц, плазмохимическое осаждение.

Конструктивное совмещение двух ростовых процессов в одной вакуумной установке представляется полезным, как в практическом, так и в научном отношении. Основными достоинствами разработанной технологии выращивания покрытий являются расширенные возможности управления составом, структурой и свойствами покрытий, снижение температуры осаждения и регулируемое наполнение покрытия компонентами примеси. В настоящей работе рассмотрены режимы горения дугового и магнетронного разрядов низкого давления и возможность их согласованного

действия на примере планарного магнетрона и дугового испарителя.

Описание установки

Модернизация типовой установки ВУ-1Б была проведена путём компоновки в вакуумную камеру планарного магнетрона на основе аномального тлеющего разряда постоянного тока, предназначенного для выращивания покрытий нитридов и

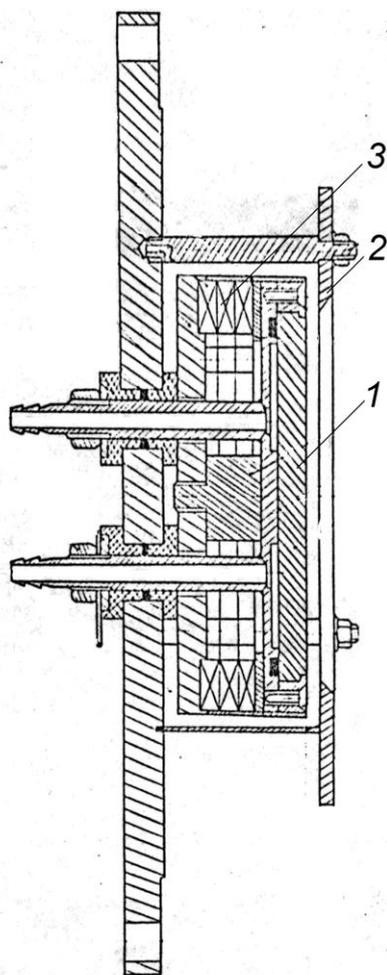


Рис.1. Конструкция магнетрона

карбидов. Магнетрон установлен на боковой стенке вакуумной камеры вертикально. Мощность источника питания магнетрона ~ 3 кВт. Высоковольтный генератор рассчитан на напряжение до 10^3 В. С помощью блока управления магнетрона,

производится регулировка мощности разряда и скорости распыления мишени.

Магнетрон рис.1 состоит из медного катода (мишени) 1 в виде диска диаметром 120 мм и толщиной 12 мм и кольцевого анода 2, выполненного из нержавеющей стали. Магнитная система образована постоянными стержневыми самарий кобальтовыми магнитами 3 и полюсными наконечниками, которые формируют над поверхностью мишени арочное магнитное поле с индукцией 0,2-0,8 Тл.

Электрическое питание подается на заземлённый анод 2 (положительная полярность) и изолированную мишень 1 (отрицательная полярность).

Катодный узел рис. 2 дугового разряда состоит из охлаждаемого сварного корпуса 1, магнитной катушки 2, обеспечивающей равномерное выгорание катода, дополнительного анода 3, электростатического экрана 4, изолированного, как от катода, так и от дополнительного анода. Катод 5 выполнен из титана марки ВТ-1-0, диаметром 60 мм и охлаждается проточной водой. Для получения плазмы инициирующей разряд в вакууме, испаритель оснащен поджигающим устройством, представляющим собой электромагнитное реле 6, якорь которого в виде штока, движется возвратно-поступательно и перемещает молибденовый пруток 7, коммутирующий (электрически размыкает и замыкает) промежуток анод - катод. Мощность источника питания катодного узла ~ 2 кВт. Внутри вакуумной камеры расположен вращающийся держатель деталей, обеспечивающий равномерность распределения наращиваемых покрытий по толщине. Подаваемое на детали опорное напряжение до 1,5 кВ, ускоряет плазменные ионы, обеспечивающие разогрев покрываемой поверхности деталей и их ионную очистку. Газовую смесь готовят в отдельном вакуумном смесителе. Перед заполнением смеситель откачивается до

давления $\sim 10^{-2}$ Па, заполняется в заданной пропорции аргоном и азотом.

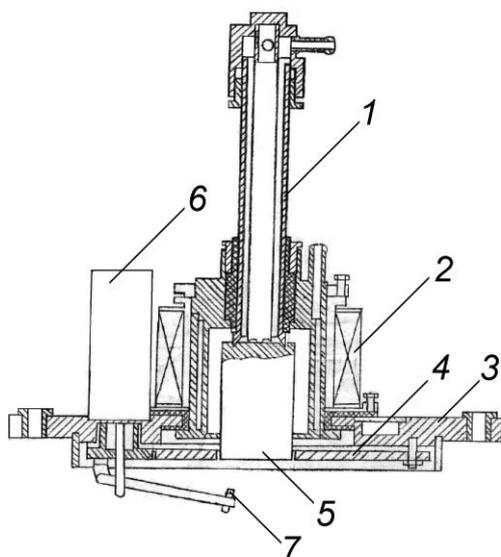


Рис. 2. Конструкция катодного узла

Установка рис. 3 имеет типовую вакуумную систему на основе диффузионного насоса Н400\700. Предварительное разряжение насоса обеспечивается форвакуумным насосом НВПР-16-066. В высоковакуумной части, состоящей из вакуумной камеры, манометров и затвора, установлена заливная азотная ловушка емкостью 0,3 л. Система, в целом, отличается несложной конструкцией, минимальным обратным потоком масла и малым временем достижения предельного вакуума $5 \cdot 10^{-4}$ Па.

Особенностью разработанного устройства является размещение магнетрона вблизи катодного узла. Согласование режимов самостоятельного горения магнетронного и дугового разрядов низкого давления требует устранения их взаимного влияния. Поскольку рассматриваемые разряды имеют различные параметры, условия зажигания и горения, то возникает необходимость экспериментального определения возможности взаимоувязанной работы этих устройств.

Как показали эксперименты, магнитное поле магнетрона оказывает

влияние на поведение дугового разряда, который горит в форме хаотично перемещающихся по поверхности мишени катодных пятен. Компоновка магнетрона и согласование режимов горения дугового и магнетронного разрядов низкого давления показали следующее. Под влиянием магнитного поля магнетрона катодные пятна дугового разряда переключаются с поверхности мишени на стенку камеры (разряд в магнетроне не зажигался). Происходит недопустимый нагрев стенки камеры и неравномерное испарение материала катода, притом, распыление стенки камеры ведет к появлению неконтролируемой примеси, и как следствие, снижению качества покрытия. Проведены измерения величины индукции магнитного поля и построена пространственная картина



Рис. 3. Общий вид модернизированной установки ВУ-1Б

распределения силовых линий магнитного поля в вакуумной камере. Для измерения индукции магнитного поля использовался прибор РШ1-10, величина магнитной индукции изменялась в диапазоне 0,023-0,78 Тл. Моделирование распределения силовых линий магнитного поля в пространстве магнетрон – катодный узел дало основание внести изменения в конструкцию катодного узла, что тем самым позволило устранить влияние магнитного поля магнетрона на распространение катодных пятен за

границу распыляемой торцевой поверхности титановой мишени.

Методика эксперимента

Отработанные технологические режимы осаждения покрытий в условиях согласованного действия вакуумного дугового испарителя и планарного магнетрона. Титановый катод испаряют в вакууме под действием низковольтной электрической дуги постоянного тока. При испарении в вакуумной камере образуется высоко ионизированная металлическая плазма в парах титана. Формирование покрытия TiN начинается благодаря диссоциации в плазме молекулярного азота и взаимодействия паров титана с атомарным азотом на покрываемой поверхности детали, сопровождаемой ионной бомбардировкой. В результате реакции атомарного азота и паров титана образуется на поверхности детали плотное и равномерное по толщине покрытие TiN. Между катодом и покрываемой поверхностью детали создается регулируемая разность потенциалов. В электрическом поле положительные ионы плазмы ускоряются до энергии, пропорциональной этой разности потенциалов и происходит сопровождаемое ионной бомбардировкой осаждение покрытия на поверхность детали. В качестве реакционного газа использовали газообразный азот высокой степени очистки. Предельное остаточное давление в вакуумной камере $6,6 \cdot 10^{-3}$ Па. В состав плазмообразующего газа входили аргон и азот (3-5 % по объему). Газовую смесь готовили в отдельном смесителе объемом до 3 л, который предварительно откачивали до давления 10^{-2} Па (по термо-ионизационному преобразователю ПМИ-3). Газы смешивали в смесителе напуском соответствующих газов через игольчатый натекагель из баллонов высокого давления [2]. Режим

нанесения покрытий обеспечивал получение равномерных слоев в интервале толщин 1,0-4,5 мкм. Предварительную активацию покрываемой поверхности детали проводили в тлеющем разряде при напряжении 1 кВ.

Одновременно методом магнетронного распыления создавался поток паров меди. Для этого зажигали тлеющий разряд при напряжении 250 В и токе 0,6 А и регулировали ток разряда до 2-3 А, рис. 4. В процессе действия двух испарителей и благодаря перемешиванию наноразмерных зерен TiN и паров Cu формировались металлокомпозитные покрытия TiN-Cu. Предполагается, что в этих условиях наноразмерные зерна TiN покрываются по границе зерен медной прослойкой, тем самым повышая пластичность покрытий при сохранении их высокой микротвердости. Вероятность такого процесса велика, так как медь не взаимодействует с азотом. Однако Cu может образовывать с Ti интерметаллическое соединение Ti-Cu. Интерметаллиды, как правило, обладают высокой твердостью и химической стойкостью, в частности, Ti-Cu характеризуется повышенной хрупкостью, обусловленной появлением ионной и ковалентной составляющих на фоне металлической связи [3]. В этой ситуации вместо Cu можно использовать мишени из Ag или Al, которые образуют с Ti менее хрупкие интерметаллические соединения.

Таким образом, получены предварительные результаты по совместной работе магнетрона и вакуумного дугового испарителя. Следует отметить, что условия зажигания магнетронного разряда при горящем дуговом разряде по сравнению с обычным способом инициирования (напряжение зажигания ~ 250 В, давление $\sim 8 \cdot 10^{-2}$ Па), изменились, в сторону снижения напряжения зажигания на ~ 90 В. Характеристики

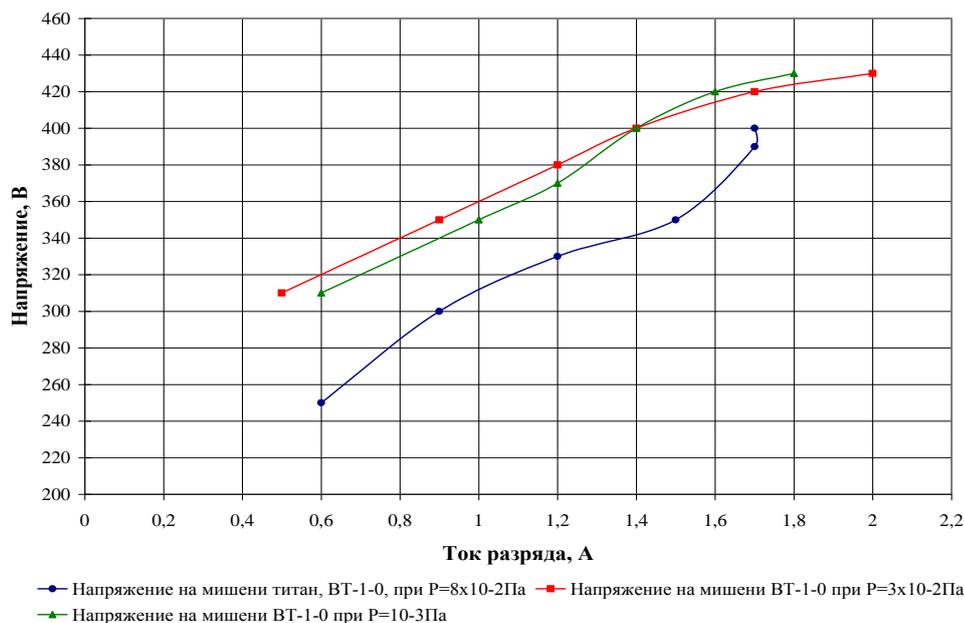


Рис. 4. Вольтамперная характеристика магнетронного разряда при распылении

дугового разряда следующие: ток дугового разряда ~ 30 А, давление рабочего газа $\sim 10^{-3}$ Па, опорное напряжение ~ 160 В.

Проведены постановочные эксперименты по нанесению упрочняющих покрытий TiN-Cu на медных сплавах БРКМц 3-1 и титановых ОТ4-1. Предложена прогнозная модель влияния параметров технологического процесса на состав, структуру и характеристики полученных защитных покрытий TiN-Cu.

Список литературы

- [1]. Данилин Б.С., Сырчин В.К. Магнетронные распылительные системы. М: Радио и связь, 1982. 72 с.
- [2]. Семёнов А.П. Пучки распыляющих ионов: получение и применение. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1999. 207 с.
- [3]. Чуларис А.А., Колпачева О.В., Колпичев А.Б., Никифоров И.Я. Природа химической связи интерметаллидов системы титан-медь // Прикладная физика. 1995. №1. С.49-56.

