

**Формирование покрытий из двухкомпонентного  
пламенного потока в среде технологического газа**

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет

Преимуществом вакуумного электродугового способа нанесения покрытий является возможность проведения реакций прямого синтеза тугоплавких соединений, таких как нитриды, карбиды, оксиды металлов. Физические процессы осаждения таких покрытий при использовании однокомпонентных катодов достаточно подробно изучены. В тоже время интерес представляет получение основных закономерностей формирования сложных покрытий в среде технологического газа при использовании в качестве источника плазмы двухкомпонентных катодов.

В статье обобщаются результаты исследований процесса вакуумного электродугового способа формирования покрытий при использовании в качестве источника плазмы двухкомпонентных катодов.

В качестве двухкомпонентных катодов рассматривались эвтектические сплавы с низким и высоким содержанием кремния. Масс-спектрометрический анализ потока говорит о присутствии в нем одно- и многозарядных ионов обоих элементов. Соединения, содержащиеся в материале катода диссоциируют под действием дугового разряда. При использовании реакционного газа (например, азота) возможно образование химических соединений титана и кремния с азотом на поверхности конденсации плазмы. Химических реакций в объеме вакуумной камеры не происходит. Интенсивности протекания химических реакций зависит от величины давления технологического газа. При низкой величине отрицательного ускоряющего потенциала (не более  $-100$  В) в интервале давлений азота от  $2,7 \times 10^{-2}$  до  $2,6 \times 10^{-1}$  Па в покрытиях формируются фазы титан-кремний и  $Ti_2N$ . Наличие образования нитрида кремния не установлено. Таким образом, присутствие азота как технологического газа при осаждении двухкомпонентной плазмы не обязательно ведет к активному взаимодействию титана с азотом, как в случае осаждения чисто титановой плазмы в среде азота. Преимущественное протекание тех или иных химических реакций на поверхности конденсации будет определяться величиной энтальпий образования возможных химических соединений. Отсутствие в получаемом приданных условиях покрытия нитрида кремния объясняется тем, что данное соединение имеет более высокую энтальпию образования по сравнению с нитридами и силицидами титана. Следует ожидать, что с ростом энергии ионов потока в покрытии может синтезироваться нитрид кремния. Как показывает рентгенофазовый анализ, отклонение положения детали от оси испарителя не изменяет их фазовый состав, несмотря на пространственное распределение плотности пламенного потока (максимум плотности приходится на движение в осевом направлении). С ростом ускоряющего потенциала возрастает интенсивность линий нитрида кремния. Одновременно в покрытии возрастает количество низших силицидов. При отрицательном ускоряющем потенциале более 300 В высший силицид ( $TiSi_2$ ) в составе покрытия отсутствует.

С ростом давления азота интенсивность линий силицидных фаз снижается, что может быть объяснено падением количества кремния в покрытии с ростом давления. Так, при  $2,7 \times 10^{-2}$  Па содержание кремния в покрытии равно 29,1 %, при  $8 \times 10^{-2}$  Па – 10,1 %. Такое падение может объясняться более интенсивным рассеиванием атомов и ионов кремния на молекулах азота по сравнению с ионами и атомами титана (масса атома кремния в два раза меньше массы атома титана). Рассеиванию подвержены как ионы кремния, так и ионы титана, что подтверждается снижением скорости роста толщины конденсата и плотности ионного тока при давлениях азота более  $5,3 \times 10^{-2}$  Па. Однако ионы кремния как более легкие рассеиваются более интенсивно. Снижение количества кремния в покрытии приводит к появлению свободного титана и, как следствие, к увеличению в покрытии  $Ti_2N$ .