

ВЛИЯНИЕ НА СТРУКТУРУ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА ВАКУУМНЫХ ДУГОВЫХ ИСПАРИТЕЛЕЙ ВНЕШНИХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Иванов И.А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Вакуумное оборудование ионно-плазменного нанесения защитных покрытий широко использует различные программируемые системы управления. Управление технологическими процессами начинается с момента откачки рабочего объёма и заканчивается управляемой работой плазменных испарительных устройств. Эффективность использования управляющих программных продуктов во многом зависит от качества экспериментального материала по изучению влияния различных технологических параметров процесса на среднюю энергию и зарядовый состав ионов плазменного потока. В большинстве вакуумно-плазменных установках нанесения покрытий для обеспечения стабильного горения дугового разряда, за счет ограничения области существования катодного пятна на поверхности катода, и транспортировки потока по криволинейному плазмоводу, широко применяется внешнее магнитное поле. Наложение внешнего магнитного поля может существенно изменить характер протекания процессов в прикатодной области и в потоке. Степень этого воздействия зависит от величины поля. С его ростом наблюдается возрастание напряжения на разрядном промежутке, а также изменение характеристик самого потока [1].

В работе приведены результаты изучения влияния внешних магнитных полей на структуру плазменного потока вакуумных дуговых испарителей.

При исследовании влияния магнитного поля на параметры плазмы дугового разряда следует помнить, что магнитное поле не влияет на изменение энергии ионов, а только оказывает влияние на направление движения заряженных частиц. Это влияние на параметры плазмы дугового разряда состоит в увеличении числа столкновений заряженных частиц друг с другом и с частицами технологического газа за счет сжатия плазменного потока и увеличения длины пути, проходимой заряженной частицей в технологическом объёме вакуумной камеры. Многократная ионизация в плазме вакуумного дугового разряда ведет к повышению среднего заряда ионов потока и, как следствие, к увеличению энергии конденсирующихся ионов без повышения ускоряющего напряжения, подаваемого на подложку. Наиболее значительно влияние на средний заряд потока сильных магнитных полей. Для числовых значений магнитных полей, используемых в вакуумных плазменных испарительных устройствах (до 5 мТл), это влияние не приводит к существенному изменению зарядового

состава ионов плазменного потока. Наложение фокусирующего магнитного поля приводит к увеличению средней энергии ионов и росту в потоке количества высоко энергетичных ионов. Более существенную роль играют давление и род технологического газа и расстояние от испарителя до поверхности конденсации. Однако для общего понимания механизма и характера влияния внешних магнитных полей на параметры плазменных потоков следует остановиться на анализе имеющихся экспериментальных данных по влиянию сильных магнитных полей. Под сильным магнитным полем следует понимать магнитное поле, которое влияет на существенное изменение траектории движения не только электронного, но и ионного компонентов плазмы. Такое поле способно более длительное время удерживать ионы потока в области интенсивной ионизации.

В работе [2] исследовалось влияние зарядового состава плазмы в магнитном поле с импульсами до 10 кГс. Авторы отмечают, что в присутствии сильного магнитного поля в плазменном потоке появляются такие многозарядные ионы, как C^{3+} , Ti^{5+} , Cr^{5+} , Mo^{6+} и другие. Доля ионов с зарядом $2+$ и $3+$ также резко увеличивается. Расчёты показывают [3], что с ростом величины внешнего магнитного поля наблюдается увеличение как концентрации электронов в потоке, так и электронной температуры. Это повышает эффективность неупругих электрон-ионных столкновений и, как следствие, рост среднего ионного заряда в потоке. Установлена строгая связь между ростом среднего заряда ионов потока и возрастанием напряжения горения дуги. При максимальных значениях магнитного поля и тока дуги, обеспечивающих достижение наибольшей доли высоко зарядных ионов величина напряжения горения дуги достигала 100 – 120 В, что, в среднем, в 5 – 6 раз превышает напряжение на разрядном промежутке при относительно низких значениях тока дуги и в отсутствие магнитного поля. Увеличение тока дуги, приблизительно, до 1кА практически не влияет на зарядовое распределение ионов плазменного потока. Это позволяет сравнивать результаты различных экспериментов по измерению зарядового состава плазменных потоков вакуумной дуги. Однако при токах разряда существенно превышающих данный порог величина собственного магнитного поля столба дуги составляет порядка 1 кГс, что соизмеримо с величиной внешнего магнитного поля.

1. Емельянов В.А., Иванов И.А., Мрочек Ж.А. Вакуумно-плазменные способы формирования защитных и упрочняющих покрытий.- Мн.:БЕСТПРИНТ, 1998.- 284с.
2. Николаев А.Г., Окс Е.М., Юшков Г.Ю. Зарядовое распределение ионов в плазме вакуумного дугового разряда в сильном магнитном поле// Журнал технической физики.- 1998.- т.68.- № 5.- С. 39 – 43
3. Кринберг И.А., Матафонов Г.К. Структура протяженной плазменной струи в вакуумной дуге в аксиальном магнитном поле// Журнал технической физики.- 2006.- том 76.- вып. 4.- С. 114 – 119