

УДК 533.9.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВОЗБУЖДЕНИЯ РАЗРЯДА С ЭФФЕКТОМ ПОЛОГО КАТОДА В $N_2$ В ТРУБЧАТОМ ЭЛЕКТРОДЕ

Божко А.И., Бордусов С.В., Мадвейко С.И., Лушакова М.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Республика Беларусь

Применительно к задачам интенсификации процессов вакуумно-плазменной обработки материалов интерес представляет изучение и разработка метода предварительной активации рабочего газа в стороннем плазменном источнике [1-2] в качестве которого может использоваться разряд с полым катодом.

Исследования влияния некоторых конструктивных особенностей газоразрядной системы на возбуждение разряда с эффектом полого катода проводились с использованием цилиндрического электрода-катода трубчатой формы держателем которого являлась кварцевая трубка (рисунок 1).

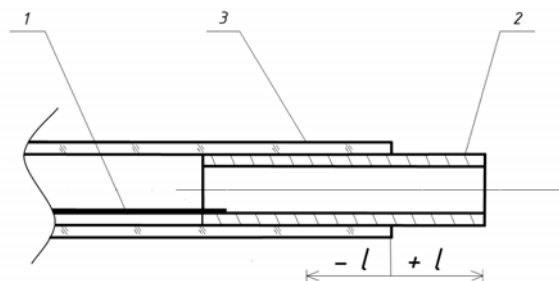


Рисунок 1 – Конструкция плазменной разрядной системы: 1 – проволока-токоподвод; 2 – трубчатый полый катод; 3 – трубка кварцевая

Полый катод 2 выполнен в виде цилиндра с внутренним диаметром 5 мм из коррозионностойкой стали, который помещен в один из концов длинной кварцевой трубки 3. Этот конец находится непосредственной в вакуумной камере. Кварцевая трубка выполняет одновременно несколько функций: является держателем электрода-катода; обеспечивает подачу плазмообразующего газа через электрод; служит защитным экраном для металлического токоподвода; является изолятором для части наружной поверхности электрода.

При проведении ряда экспериментов использовался заземлённый противозлектрод (анод). Диск размещался перпендикулярно оси электрода-катода на разном расстоянии от него.

Для возбуждения разряда с ЭПК на катод подавалось импульсное напряжение отрицательной полярности с частотой следования импульсов прямоугольной формы  $f = 50$  кГц и скважностью импульсов  $S = 4$ .

В качестве плазмообразующего газа использовался азот ( $N_2$ ) высокой степени очистки. При проведении экспериментов диапазоны регулирования режимов процесса плазмообразования составляли: амплитуда импульсов напряжения генератора изменялась от -450 В до -1300 В; дав-

ление  $N_2$  в вакуумной камере установки варьировалось в интервале 50-700 Па.

Экспериментальные данные по амплитудным значениям напряжения возбуждения разряда при различных положениях катода относительно торца кварцевой трубки для разных величин давления представлены на рисунке 2.

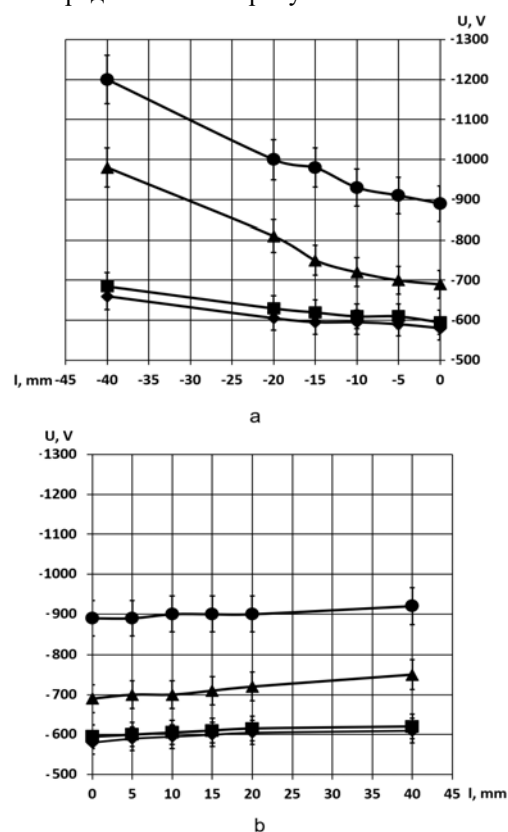


Рисунок 2 – Зависимости величин напряжения возбуждения разряда от положения катода в кварцевой трубке при разных величинах давления (газ –  $N_2$ ) при углублении в кварцевый чехол (а), выдвигении из кварцевого чехла (б)

Из приведённых зависимостей видно, что в пределах исследованных величин выдвигение электрода из кварцевой диэлектрической трубки существенного влияния на значения амплитуды импульсов напряжения возбуждения разряда с ЭПК не оказывает.

При углублении электрода в кварцевую трубку наблюдалась близкая к линейной зависимость повышения величины напряжения пробоя от расстояния до торца трубки. При этом по мере повышения давления  $N_2$  степень такого влияния увеличивается. По нашему мнению, этот эффект может быть связан с увеличением вероятности

гибели плазменных частиц на внутренней поверхности кварцевой диэлектрической трубки и, соответственно, ухудшением условий плазмообразования.

В процессе проведения экспериментов установлено, что положение полого катода трубчатого типа в кварцевой трубке влияет на диапазон давлений, при котором возбуждается и стабильно горит разряд с ЭПК.

Разряд возбуждается и стабильно горит в диапазоне давлений 47–665 Па при положениях торца катода относительно края кварцевой трубки от  $l = +40$  мм до  $l = -15$  мм. При углублении катода более чем на 15 мм диапазон давлений существенно уменьшается, особенно его верхняя граница. Разряд начинает вести себя нестабильно или вовсе не загорается при давлениях свыше 350 Па.

Следует отметить, что нестабильность в данном случае проявлялась в быстром (порядка 2–5 с) затухании разряда и невозможности объективной регистрации его характеристик по осциллограмме.

Как показали результаты проведённых экспериментов, способ подачи газа в зону плазмообразования оказывает влияние на характеристики возбуждения и поддержания разряда с ЭПК.

На рисунке 3 приведены зависимости величин пикового напряжения, возбуждающего разряд с ЭПК в трубчатом электроде, от давления плазмообразующей среды при различных положениях катода в кварцевой трубке. Данные рисунка 3а получены для условий подачи газа в объем вакуумной камеры не через разрядную систему. Данные рисунка 3б получены при пропуске газа по кварцевой трубке через разряд в полом электроде-катоде.

Из представленных данных видно, что разряд возбуждается и стабильно горит в диапазоне давлений 50–660 Па при пропуске плазмообразующего газа через разрядную систему, а при подаче газа минуя разрядную систему – в более узком диапазоне 100–500 Па.

При этом видно, что в случае подачи газа через разрядную систему для возбуждения разряда с ЭПК требуются несколько большие значения импульсного напряжения. По нашему мнению, это может быть объяснено следующими факторами: при подаче плазмообразующего газа через электрод разрядной системы давление в его полости оказывается выше, чем в объёме вакуумной камеры; разряд формируется в потоке не активированного газа и на процессы плазмообразования область послесвечения плазмы существенного влияния не оказывает.

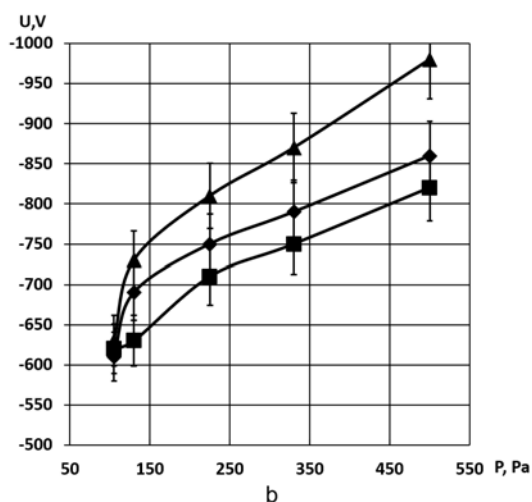
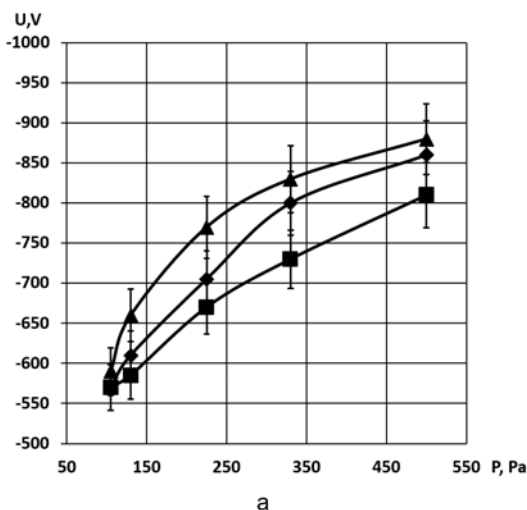


Рисунок 3 – Значения пикового напряжения возбуждения разряда с ЭПК в  $N_2$  при подаче газа минуя разрядную систему (а), через разрядную систему (б)

Применительно к возможным вариантам конструкции и расположения элементов разрядной системы изучалось влияние расстояния между полым катодом и заземлённым противоэлектродом на величину напряжения возбуждения разряда с ЭПК.

#### Литература

1. Райзер, Ю.П. Высокочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Применение / Ю.П. Райзер, М.Н. Шнейдер, Н.А. Яценко. – М. : Наука, 1995. – 320 с.
2. The influence of microwave  $CF_4$  plasma activation on the characteristics of reactive ion etching of mono-Si / S. Bordusau, S. Madveika, M. Lushakova, N. Kovalchuk // Plasma Physics and Technology – 2017. – V 4, № 1. – P. 13–15.