Особенности струйного ВЧ-разряда в условиях динамического вакуума [[1]](#footnote-1)\*)

Шемахин А.Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, [shemakhin@gmail.com](mailto:shemakhin@gmail.com)

Актуальной задачей инновационного развития промышленности и проведения качественных изменений в современном индустриальном цикле является повышение надежности, долговечности изделий из материалов органической и неорганической природы и придание им качественно новых свойств. Одним из эффективных способов усовершенствования характеристик материалов является их обработка в струе плазмы высокочастотного (ВЧ) разряда пониженного давления [1].

Плазма ВЧ-разрядов в динамическом вакууме при давлении p = 13.3-133 Па применяется для модификации поверхностей различных материалов, таких как сталь, титан, полиэтилен, кожа, мех и др. [2].

Плазма, создаваемая данным видом разряда, обладает следующими свойствами: степень ионизации 10-4-10-5, концентрация электронов 1015-1019 м-3, электронная температура 1-4 эВ, температура атомов и ионов в плазменном сгустке 0.2 — 0.3 эВ, в плазменной струе 0.03 — 0.07 эВ.

Полученные экспериментальные данные [1] показывают, что исследуемый вид разряда не относится ни к одному из существующих, так как в струе ВЧ-плазмы в вакуумной камере найдена как азимутальные Hφ, так и аксиальные компоненты Ez напряженностей электрического и магнитного полей, что для H-формы разряда является нетипичным. Стоит заметить, что в разрядной камере обнаруживается только Hz и Eφ, то есть в разрядной камере разряд находится в H-форме, как показывают результаты экспериментальных исследований [1]. К тому же рождение заряженных частиц происходит по всей длине вакуумной камеры, а не является потоком распадающейся плазмы. То есть струя является самостоятельным новым видом разряда, который можно называть «струйным разрядом».

Для описания струйного ВЧ-разряда в динамическом вакууме разработана математическая модель, включающая уравнение Больцмана для несущей компоненты плазмы, уравнение сохранения энергии для электронной температуры, телеграфные уравнения для ВЧ-компоненты плазмы, уравнение Пуассона в калибровке Лоренца для амбиполярной компоненты электромагнитного поля, уравнения неразрывности для электронов, ионов и метастабилей. Коэффициенты подвижности и диффузии определяются из функции распределения электронов по энергиям, записанной с учетом присутствия ВЧ-поля.

Таким образом, построена математическая модель, позволяющая рассчитывать основные характеристики разряда и струи, определять параметры слоя положительного заряда. В результате установлено, что при вышеуказанных режимах энергия ионов может варьироваться от 30 до 100 эВ, а плотность ионного тока от 0.5 до 15 А⸱м–2.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-71-10055).

Литература

1. Абдуллин И. Ш., Желтухин В. С., Кашапов Н. Ф. Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения. Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2000.
2. Абдуллин И. Ш., Желтухин В. С., Сагбиев И. Р. Модификация нанослоев в высокочастотной плазме пониженного давления. Монография. Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2007

1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Lt/en/EU-Shemakhin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)