

СКВОЗНАЯ МОДЕЛЬ СТРУЙНОГО ВЧИ-РАЗРЯДА Пониженного Давления *)

Шемахин А.Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, 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 с продувом газа 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 $10^{15}-10^{19}$ 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 H_ϕ , так и аксиальные компоненты E_z напряженностей электрического и магнитного полей, что для H-формы разряда является нетипичным. Стоит заметить, что в разрядной камере обнаруживается только H_z и E_ϕ , 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 ВЧИ-разряда пониженного давления 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. Высоочастотная 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

*) [DOI – тезисы на английском](#)