Моделирование Высокочастотного емкостного разряда в условиях динамического вакуумА [[1]](#footnote-1)\*)

Лазарев Е.Н., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю.

Казанский (Приволжский) федеральный университет, evgenln11401@gmail.com; vzheltukhin@gmail.com, vchebakova@mail.ru

ВЧЕ-разряд с продувом газа в диапазоне давлений 13.3-133 Па (динамический вакуум) эффективно используется для обработки различных материалов с целью повышения функциональных и эксплуатационных свойств изделий [1]. Для оптимизации режимов обработки необходимо понимание процессов, протекающих в разряде. С этой разработана математическая модель высокочастотного емкостного (ВЧЕ) разряда. Модель разработана для следующих условий горения разряда: частота поля 13.56 МГц, мощность разряда от 0.5 до 5 кВт, расход газа до 0.2 г/с [1].

Модель представляет собой решение нелинейной системы уравнений, включающей начально-краевые задачи для уравнений баланса концентрации электронов, ионов, нейтральных и метастабильных атомов, сохранения энергии электронного газа, краевые задачи для уравнения сохранения энергии несущего газа и уравнения Пуассона для потенциала электрического поля.

Уравнения баланса электронного и ионного газов, метастабильных атомов и атомов в нейтральном состоянии учитывают процессы прямой ионизации, рекомбинации, ступенчатой и пеннинговой ионизации, процессы возбуждения и тушения метастабильных состояний. Граничные условия для уравнений баланса электронного и ионного газов, а также метастабильных атомов формулируются в общепринятом виде [2, 3]. Граничные условия для уравнения баланса нейтральных атомов формулируются, исходя из уравнения идеального газа. Граничные условия для потенциала учитывают синусоидальное изменение напряжения на нагруженном электроде.

Для численной реализации модели использовалась неявная конечно-разностная схема с равномерным разбиением сетки. Для вычисления диффузионно-дрейфового потока заряженных частиц использовался алгоритм Шарфеттера-Гуммеля [4, 5].

Результаты численного моделирования показали, что учет нагрева газа существенно влияет на распределение и долю заряженных и возбужденных частиц в разрядном промежутке.

Исследование выполнено при финансовой поддержке 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 ун-та, 2000.
2. Райзер Ю.П., Шнейдер М.Н., Яценко Н.А. Высокочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения. М.: Издательство МФТИ, 1995.
3. Чебакова В.Ю. // Уч. записки Казан. ун-та. Сер. физ.-мат. науки. 2015. Т. 157, кн. 2. С. 126–140.
4. Scharfetter D.L., Gummel H.K. // IEEE Trans. Electron Devices, 1969, **16** (1) 64–77.
5. Желтухин В.С., Фадеева М.С., Чебакова В.Ю. // Уч. записки Казан. ун-та. Сер. физ.-мат. науки. 2017. Т. 59, кн. 4. С. 444–457.
1. \*) [DOI – тезисы на английском](http://www.fpl.gpi.ru/Zvenigorod/L/Lt/en/FS-Zheltukhin_e.docx) [↑](#footnote-ref-1)