МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЕМКОСТНОГО РАЗРЯДА ПОНИЖЕННОГО ДАВЛЕНИЯ С УЧЕТОМ МЕТАСТАБИЛЬНЫХ АТОМОВ

\*И.Ш. Абдуллин, \*В.С. Желтухин, \*\*М.Н. Шнейдер, В.Ю. Чебакова

Казанский (Приволжский) федеральный университет
\*Казанский национальный исследовательский технологический университет
\*\*Принстонский университет

Высокочастотный емкостный (ВЧЕ) разряд при давлениях p=13,3 – 133 Па и межэлектродных расстояниях 20-30 см эффективно применяется для обработки кожевенно-мехового полуфабрикатов[1]. В настоящее время подробно исследованы модели ВЧЕ–разряда среднего и низкого диапазонов давлений при межэлектродных расстояниях d = 3-5 см. В работе [2] показано, что существенными факторами, оказывающим влияние на происходящие процессы, являются потери энергии на нагрев газа и наличие метастабильных атомов; так как энергия метастабильного состояния достаточна для того, чтобы через различные процессы возбуждения и девозбуждения метастабильных атомов, а также через процессы ступенчатой ионизации влиять на нагрев газа и электронную температуру.

Поэтому для определения диапазона устойчивого горения ВЧЕ–разряда пониженного давления в плазмотроне с большим межэлектродным расстоянием разработана математическая модель, включающая в себя уравнения непрерывности для электронного и ионного газа, уравнение Пуассона для распределения потенциала электрического поля, уравнение баланса метастабильных атомов, уравнение электронной теплопроводности, уравнение теплопроводности атомно-ионного газа с соответствующими краевыми и начальными условиями. Построенная математическая модель остается актуальной и для небольших межэлектродных расстояний, так как позволяет провести более точные расчеты основных характеристик ВЧЕ–разряда.

Для численной реализации модели использовалась неявно конечно–разностная схема с равномерным разбиением сетки. Оператор конвективного переноса аппроксимировался методом направленных разностей. Применение интегро–интерполяционного метода обеспечило консервативность конечно–разностной схемы [3]. Расчеты проводились до выхода процесса на стационарный режим, когда достигался полный баланс заряда в межэлектродном промежутке: заряд, который уносится за период на электрод электронами, в точности компенсируется выносом положительного заряда ионами. Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными [4] и результатами численного расчета по модели[5].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ ( грант 14-01-31347 и 14-01-00755, 13-01-00908).

Литература

1. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Кашапов Н.Ф. Высокочастотная плазменно-струйная обработка ма-териалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения.- Казань: Изд-во Казанского ун-та,2000,348 с
2. Абдуллин И.Ш., Желтухин В.С., Чебакова В.Ю., М.Н. Шнейдер, Ученые записки Казанского университета. Серия физико-математические науки, 2013,Т.155,Кн.2, С. 127-134
3. Самарский А.А., Вабищевич П.Р. Численные методы решения задач конвекции-диффузии. Эдиториал УРСС, Москва,1999,248с
4. Лисовский В.А, Журнал технической физики, 1998, том 68, вып.5, с52-60.
5. Dimitris P. Lymberopoulos, Demetre J. Economou., J. Appl. Phys., Vol. 73, No. 8, 15 April 1993. - P. 3668-3679