

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО ВЧ-РАЗРЯДА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ГЕОМЕТРИЯХ: ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ^{*)}

Варшавчик Л.А., Бочарников В.А., Старовойтов Е.А., Галицын Д.Д., Никитенко С.А., Мухин Е.Е.

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия, lidia.varsh@mail.ioffe.ru

Емкостной высокочастотный (ВЧ) разряд низкого давления имеет широкий спектр применения, от чистки диагностических зеркал токамаков-реакторов до технологических процессов, таких как модификация, стерилизация и шлифовка поверхностей, травление и осаждение пленок в микроэлектронике. Разработка и оптимизация таких процессов, равно как и исследование режимов и физики ВЧ разряда, требуют проведение численного моделирования.

Существенно усложняет задачу наличие ряда условий, необходимых для практического применения результатов расчетов: для физической корректности необходима гарантия непрерывности тока на электродах (т.е. учет токов смещения), возможность моделировать разряд в произвольных геометриях требует проведения 3D расчетов, а точное описание поверхностей возможно только при использовании нерегулярной (треугольной) расчетной сетки. Дополнительными важными требованиями к проведению расчетов являются скорость расчета, наличие пользовательского интерфейса и вспомогательного функционала.

Перечисленные требования были реализованы в разработанном нами коде КИТе [1]. Помимо моделирования емкостного ВЧ разряда низкого давления, код также позволяет проводить расчет транспорта и напыления примесей в сложных геометриях, таких как диагностические каналы ИТЭР. Расчеты проводятся на суперкомпьютере ФТИ им. Иоффе.

В модификации кода 2023 года к стандартной модели расчета локальных электрических полей (задача Дирихле – уравнение Пуассона и фиксированные потенциалы на электродах), создаваемых частицами в плазме, для учета токов смещения были добавлены два дополнительных граничных условия. Из получившейся системы уравнений следует равенство нулю суммы зарядов на электродах и в плазме, что эквивалентно условию непрерывности тока. Расчет перетекания заряда по внешней электрической цепи позволит проводить моделирование разряда как с наличием постоянного смещения по напряжению, так и в режиме заземления по постоянному току. Однако дополнительные граничные условия делают матрицу системы уравнений несимметричной и плохо обусловленной, что создает технические трудности ее решения, особенно на сложных геометриях.

В данной работе показаны результаты моделирования разряда кодом КИТе на модельных геометриях, таких как вложенные сферы, плоскопараллельные пластины, расчет изолированной системы заряженных частиц. Проводится сравнение со стандартной моделью. Исследуется сходимость и устойчивость модели при вариации геометрий и расчетных сеток.

Планируется валидация кода данными с установки ГЕС и некоторыми другими.

Литература

- [1]. Varshavchik L.A. et al. Three-dimensional simulation of neutral transport in gases and weakly ionized plasmas // Plasma Physics and Controlled Fusion. 2020. Т. 63. №. 2. С. 025005.

^{*)} [DOI – тезисы на английском](#)