

**В. С. Желтухин, О. В. Панкратова** (Казань, КГУ). **Сравнительный анализ методов решения уравнения распределения электрического поля в низкотемпературной высокочастотной плазме.**

Высокочастотная (ВП) плазма при пониженных давлениях применяется для обработки различных материалов, в том числе диэлектрических. Этот вид газоразрядной плазмы характеризуется следующими параметрами:  $p = 13,3 \div 133$  Па, частота поля  $f = 1 \div 18$  МГц, мощность разряда  $0,5 \div 15$  кВт, степень ионизации  $n_e/(n_e + n_a) = 10^{-5} \div 10^{-3}$ , концентрация электронов  $n_e = 10^{15} \div 10^{18}$  м<sup>-3</sup>, температура электронного газа  $3 \div 4$  эВ, температура атомов и ионов  $0,02 \div 0,08$  эВ [1]. В связи с этим моделирование взаимодействия ВЧ плазмы пониженного давления с материалами представляет научный и практический интерес.

Известно, что у поверхности образца в ВЧ плазме пониженного давления с обеих сторон образуется слой нескомпенсированного положительного заряда (СПЗ) [1]. Распределение электрического поля в СПЗ с учетом диэлектрического тела описывается уравнением Пуассона:

$$\operatorname{div}(\varepsilon \operatorname{grad} \phi_p(x, t)) = \frac{e}{\varepsilon_0}(n_i(x, t) - n_e(x, t)), \quad x \in \Omega, \quad t > 0, \quad (1)$$

с граничными условиями следующего типа:

$$\phi_p|_{\Gamma_{\Pi}} = 0, \quad \left. \frac{\partial \phi_p}{\partial \mathbf{n}} \right|_{\Gamma_b} = -\frac{q_b(t)}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \quad t > 0. \quad (2)$$

Здесь  $n_e, n_i$  — концентрации ионов,  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость среды,  $\varepsilon_0$  — электрическая постоянная,  $\phi_p(x, t)$  — потенциал электрического поля в точке  $(x, t)$ ,  $e$  — элементарный заряд электрона,  $\Gamma_b$  — граница, соответствующая поверхности образца,  $\Gamma_{\Pi}$  — условная граница, соответствующая квазинейтральной плазме.

Несмотря на относительно простой вид, задача имеет ряд специфических особенностей, осложняющих их решение. К ним относятся: зависимость плотности поверхностного заряда в граничных условиях (2) от времени; коэффициент диэлектрической проницаемости и граничные условия терпят разрыв на границах «СПЗ–квазинейтральная плазма» и «Тело–СПЗ»; граница «СПЗ–плазма» осциллирует с частотой поля; распределение потенциала в СПЗ имеет экспоненциальное распределение [2].

Проведены численные эксперименты и сравнительный анализ различных методов решения уравнений (1)–(2) и предложен оптимальный метод, позволяющий численно решать исследуемую задачу.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 10-01-00728а.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 Казан. ун-та, 2000, 348 с.
2. *Райзер Ю. П., Шнейдер М. Н., Яценко Н. А.* Высокочастотный емкостный заряд. М.: Наука, Физматлит, МФТИ, 1995, 310 с.