

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ОБЛАСТИ ПЛАЗМЕННОЙ СТРУИ СЛАБОТОЧНОГО ПЛАЗМОТРОНА

Г.А. Арзунов^{1,3}, В.О. Нехорошее^{2,3}

Научный руководитель: профессор, д. ф.-м. н. Ю.Д. Королёв^{1,2,3}

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет

²Национальный исследовательский Томский государственный университет

³Институт сильноточной электроники СО РАН

E-mail: gaa3@tpu.ru

Введение

Нестационарный слабоочный плазматрон – один из примеров генератора низкотемпературных плазменных струй атмосферного давления. Анализ электрического поля рассматриваемого плазмотрона проведен с помощью компьютерного моделирования в программном пакете COMSOL Multiphysics. В результате моделирования оценен вклад электрического поля в процессы формирования и поддержания плазмы в струе. Полученные результаты будут использованы в дальнейшем, для изучения плазменных струй атмосферного давления, с учетом потока газа и теплового поля.

Компьютерная модель

Программный пакет COMSOL Multiphysics позволяет рассчитывать электрические поля в одно, двух и трехмерном пространстве. В нашем случае геометрия плазмотрона является осесимметричной, поэтому моделирование проведено в декартовой системе координат относительно продольной оси плазмотрона. Геометрия задачи соответствует действительным размерам плазмотрона, подробно описанного в работах [1– 3]. Пространство между электродами, по условию задачи, имеет электрические свойства воздуха атмосферного давления, т.е. $\varepsilon_r=1$. Граничными условиями являются потенциалы электродов: внешний электрод (анод) заземлён, потенциал катода $V_c = -1$ кВ, что соответствует среднему значению напряжения горения разряда. Расчетная область совместно с введенной системой координат представлена на рис. 1. Распределение потенциала описано в соответствии с уравнением Пуассона:

$$\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

где φ – электрический потенциал, ρ – плотность распределения заряда, ε_r – диэлектрическая проницаемость среды, а ε_0 – диэлектрическая проницаемость вакуума.

Анализ результатов моделирования

Из полученного пространственного распределения потенциала φ (рис.1) построена графическая зависимость напряженности электрического поля ($\frac{d\varphi}{dy}$) от расстояния до катода – координаты y . На графиках, представленных на рисунках 3 и 4, координата $x = 0$ (показана на рисунке 1), а y соответствует представленной на рисунке 1.

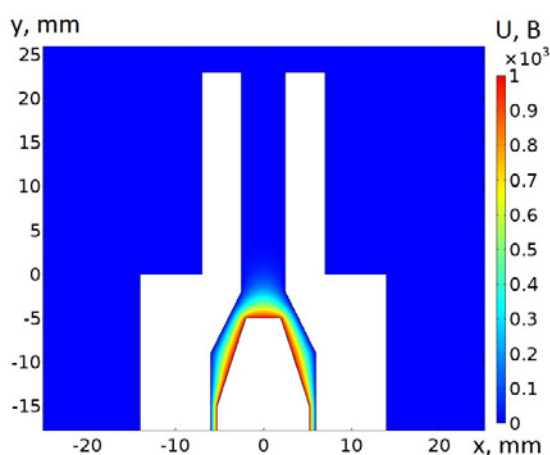


Рис. 1. Распределение потенциала

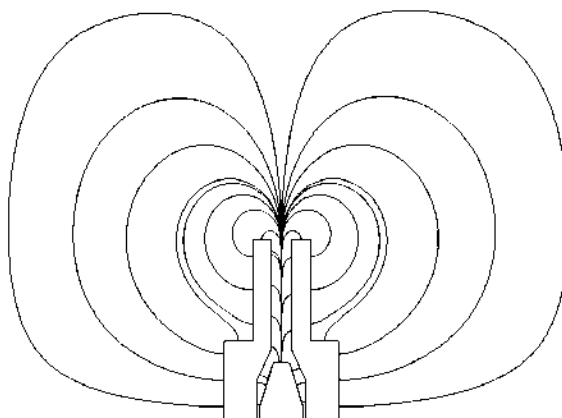


Рис. 2. Линии напряженности электрического поля

Линии напряженности электрического поля (рис. 2) показывают траекторию, по которой движутся заряженные частицы плазмы, а величина напряженности характеризует силу, с которой поле действует на заряженные частицы. Безусловно, стоит учитывать и влияние направленного потока газа, который играет существенную роль в движении заряженных частиц. Под его воздействием частицы в плазменной струе движутся со скоростью ~ 10 м/с и выносятся через сопло. На данном этапе исследования будет представлена

составляющая только электрического поля. Данные графика, представленного на рис. 3 свидетельствуют о том, что напряженность электрического поля вблизи катода составляет единицы кВ/см, что оказывает существенное влияние на перенос заряженных частиц в этой области. На удалении от катода более чем на 10 мм ($y > 5$ мм), напряженность поля в струе составляет единицы – десятки В/см, что в меньшей степени, но всё же оказывает влияние на перенос заряженных частиц в плазменной струе. В соответствии с данными, представленными на рисунке 4, напряженность поля на расстоянии более 15мм от катода ($y > 10$ мм) составляет менее 1 В/см. Поле такой величины практически не играет роли в движении заряженных частиц плазмы и, тем более, в ионизационных процессах.

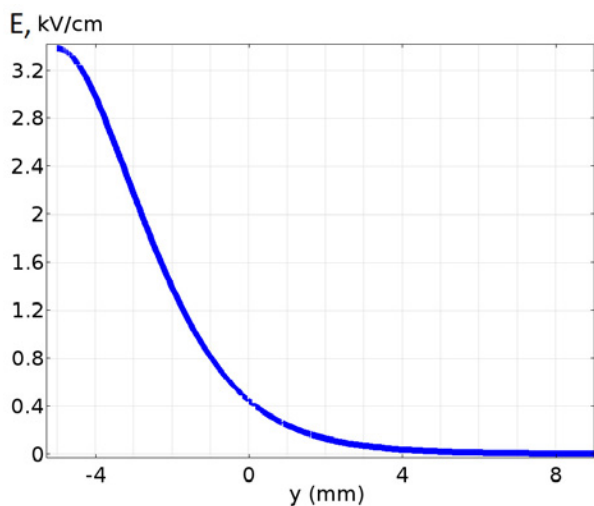


Рис. 3. Зависимость напряженности поля (E) от координаты y

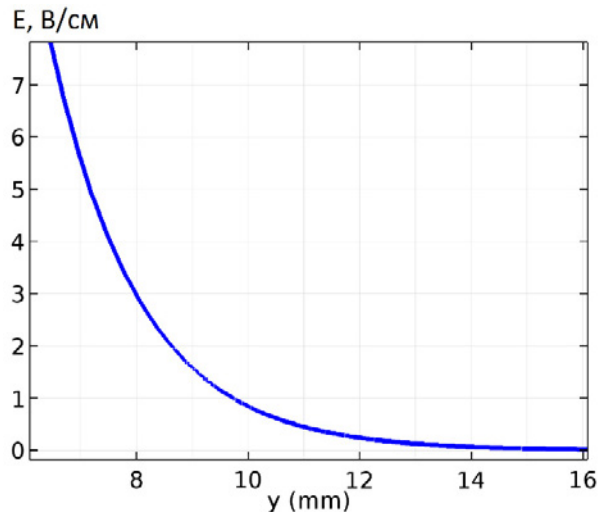


Рис. 4. Зависимость напряженности поля (E) от координаты y в области малых значений E

Заключение

Представленная модель имеет определённые упрощения, например – не учитывается объёмный заряд в области плазменной струи, который искажает электрическое поле. Однако, полученные данные, всё же, позволяют оценивать влияние электрического поля на процессы переноса заряженных частиц. Анализ данных, полученных в ходе компьютерного моделирования, позволил выявить характерные области вблизи электродов плазматрона. Было установлено, что металлическое сопло плазматрона оказывает значительное влияние на снижение напряженности электрического поля по его длине. Установлены области, в которых электрическое поле практически не участвует в переносе заряженных частиц. В дальнейшем планируется дополнить данную модель движением потока газа и распределением теплового поля, что позволит более точно описать движение заряженных и нейтральных частиц в плазменной струе.

Список литературы

1. Korolev Y.D., Frants O.B., Landl N.V. et al. Nonsteady-state gas-discharge processes in plasmatron for combustion sustaining and hydrocarbon decomposition // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2009. – Vol. 37, No. 4. – P. 586–592.
2. Korolev Y.D., Frants O.B., Landl N.V. et al. Low-current plasmatron as a source of nitrogen oxide molecules // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2012. – Vol. 40, No. 11. – P. 2837–2842.
3. Korolev Y.D., Frants O.B., Landl N.V. et al. Plasma-assisted combustion system based on nonsteady-state gas-discharge plasma // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2009. – Vol. 37, No. 12. – P. 2314–2320.