

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО СЛАБОТОЧНОГО ПЛАЗМОТРОНА В ПРЕДПРОБОЙНОЙ СТАДИИ

Аргунов Г. А.

Научный руководитель: Нехорошев В.О.

Томский политехнический университет

gaa3@tpu.ru

Введение

Возрастающий интерес к применению плазменных технологий в промышленности связан в первую очередь с уникальными свойствами плазмы [1, 2, 5]. Одним из наиболее перспективных направлений является плазменная обработка поверхностей с целью их физико-химической модификации [1, 3]. В большинстве случаев обработку плазмой проводят при пониженном давлении или в вакууме, что приводит к существенному усложнению и удорожанию технологической установки [1]. Поэтому интерес научных групп сосредоточен на изучении способов генерации и изучении свойств плазмы атмосферного давления. В частности, один из примеров «классического» генератора атмосферной плазмы – коаксиальный плазмотрон.

Целью работы является компьютерный анализ электрического поля плазмотрона в предпробойной стадии.

Описание модели

В общем случае, картина напряженности электрического поля (НЭП) описывается выражением $\vec{E} = -\nabla\varphi$. Это значит, что для определения картины НЭП необходимо знать геометрию объекта и распределения потенциала по расчетной области. Решение данной задачи проводилось в программном пакете COMSOL Multiphysics методом конечных элементов.

Конструкция электродов рассматриваемого плазмотрона является осесимметричной, поэтому решение данной задачи проводилось в двумерной плоскости относительно продольной оси плазмотрона. Геометрия расчетной области соответствует действительным размерам плазмотрона, принцип работы и основные параметры которого подробно описаны в работах [4-7]. Граничными условиями являются потенциалы электродов. В данном случае, потенциал катода составляет $V_c = 3$ кВ, внешний электрод (анод) заземлён, соответственно, его потенциал равен нулю. Пространство между электродами, по условию задачи, имеет электрические свойства воздуха атмосферного давления, электроды стальные. Расчетная область совместно с введенной системой координат представлена на рисунке 2.

Конечный элемент (КЭ) – треугольник, его размер изменяется автоматически, в процессе

построения сетки. Размер КЭ зависит от характерного масштаба расчетной области и выбирается значительно меньше, чем наименьший геометрический элемент в данной расчетной области. Минимальный размер КЭ в этой задаче составляет 0.0064 мм (сторона треугольника), а максимальный – 3.2 мм. Коэффициент увеличения размера КЭ равен 1,1 – характеризует скорость перехода от меньшего элемента к большему.

Результатом решения данной задачи является распределение потенциала по расчетной области.

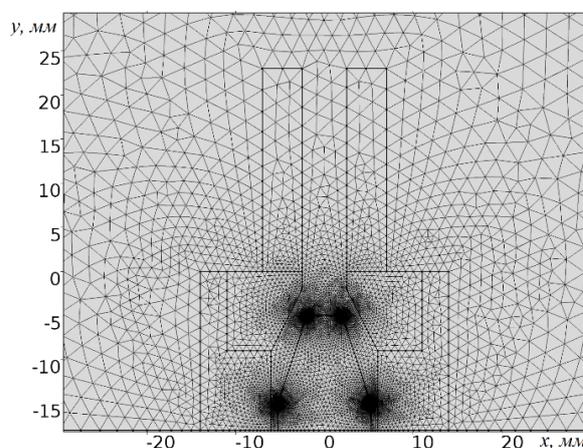


Рис. 1. Сетка конечных элементов

Результаты моделирования

В результате моделирования была построена картина НЭП плазмотрона, а также, на ее основе, график распределения напряженности по продольной оси плазмотрона.

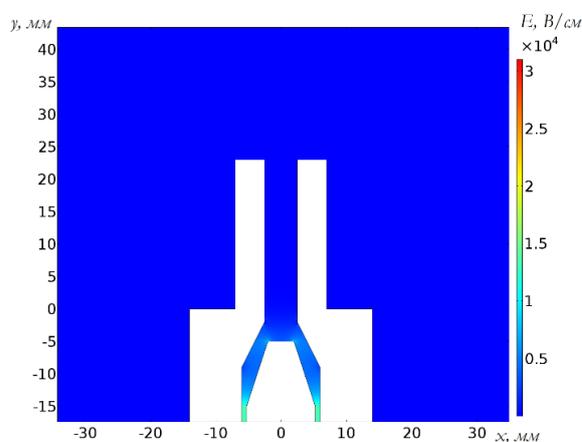


Рис. 2. Картина напряженности электрического поля плазмотрона

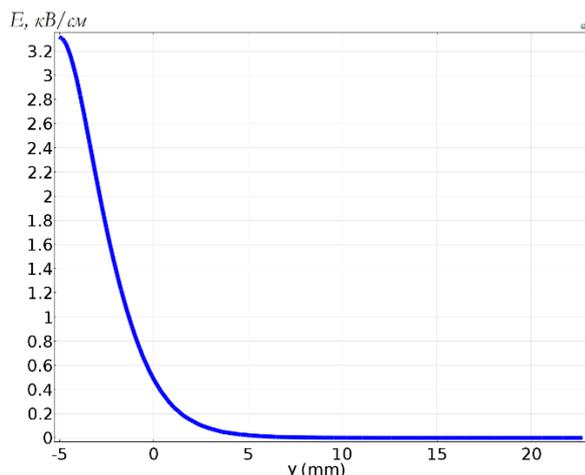


Рис. 3. Общий вид зависимости НЭП на оси плазматрона от расстояния до катода

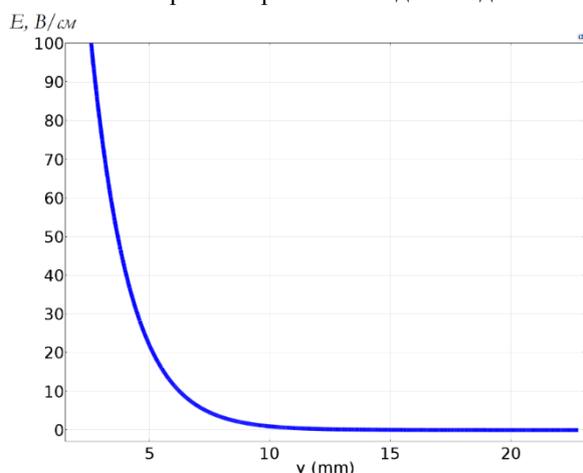


Рис. 4. Распределение НЭП в плазматроне (детально)

Анализ полученных данных

При напряжении на катоде 3 кВ, напряженность электрического поля вблизи его торцевой поверхности достигает 3,2 кВ/см. Максимальная напряженность вблизи электродов плазматрона составляет десятки кВ/см (более 30 кВ/см, рис. 2), что связано с эффектом усиления поля вблизи поверхностей с малыми радиусами кривизны.

По мере удаления от катода наблюдается резкий спад напряженности поля от единиц кВ/см до единиц В/см. Столь резкий спад связан с тем, что в такой конструкции поле локализовано внутри заземленного корпуса и сопла плазматрона. В области от 10 мм и далее, по координате «у» наблюдается поле малой напряженности $E < 0.1$ В/см, которое практически не оказывает никакого влияния на процессы поддержания плазмы.

В наименьшем межэлектродном зазоре напряженность поля превышает 10 кВ/см, что является благоприятным фактором для возникновения искрового разряда и инициации пробоя промежутка [8].

Заключение

Анализ данных, полученных в ходе компьютерного моделирования поля нестационарного слаботокового плазматрона позволил выявить характерные области вблизи электродов плазматрона.

Было установлено, что металлическое сопло плазматрона оказывает значительное влияние на снижение напряженности поля по его длине.

НЭП в узких областях межэлектродного промежутка достигает десятков кВ/см. Модель позволяет определить наиболее вероятные места пробоев, а также области, где возможно протекание тока через плазму.

Список использованных источников

1. Лопатин И. В. Ахмадеев Ю. Х., Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Математика, Физика. Азотирование образцов титановых сплавов в плазме тлеющего разряда с полым катодом, Выпуск № 5 (100) / том 22 / 2011
2. Великодный В.Ю., Беркова М.Д., Воротилин В.П., Гриши В.Г. Плазменные технологии очистки сточных вод // Прикладная физика. М., 2008.
3. Берлин Е.В., Коваль Н.Н., Сейдман Л.А. Плазменная химико-термическая обработка поверхности стальных деталей М.: Техносфера, 2012. – 464с.
4. Y. D. Korolev, O. B. Frants, N. V. Landl, V. G. Geyman, and I. B. Matveev, “Nonsteady-state gas-discharge processes in plasmatron for combustion sustaining and hydrocarbon decomposition,” IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 37, no. 4, pp. 586-592, Apr. 2009.
5. Y. D. Korolev, O. B. Frants, N. V. Landl, A. I. Suslov, “Low-current plasmatron as a source of nitrogen oxide molecules,” IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 40, no. 11, pp. 2837-2842, Nov. 2012.
6. Yu.D.Korolev, O.B.Frants, N.V.Landl, V.G.Geyman, and I.B.Matveev, Glow- to-Spark Transitions in a Plasma System for Ignition and Combustion Control, IEEE Trans. Plasma Sci., vol. 35, no. 6, pp. 1651–1657, Dec. 2007.
7. Korolev Y.D., Frants O.B., Geyman V.G., Kasyanov V.S., Landl N.V. // IEEE Trans. Plasma Sci. – 2012. – V. 40. – No. 11. – P. 2951–2960.
8. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М., 1992. — 536 с.