

РАСЧЁТ ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА МЕТАЛЛ В ПЛАЗМЕ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ МЕТАЛЛА ^{*)}

Иванов В.А., Терещенко М.А., Коныжев М.Е., Камолова Т.И., Дорофеев А.А.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, ivanov@fpl.gpi.ru

Воздействие плазмы на металлы используется в ряде технологических процессов, включая очистку металлов от поверхностных загрязнений, модификацию структуры поверхностных слоев металла, а также для формирования прочного микрорельефа на поверхности металла. Для стабильной воспроизводимости этих процессов необходимы методы расчета потоков электронов и ионов из плазмы на металл, при различных значениях электрического потенциала Ψ_0 , так как установившийся баланс потоков частиц вблизи поверхности металла приводит к возникновению области разделения зарядов и электрического поля, величина которого определяет возникновение таких сильных явлений как взрывная эмиссия и образование микроплазменных разрядов [1, 2]. Цели работы состоят в определении основных процессов в плазме, формирующих потоки заряженных частиц на металл, и в расчете величин потоков как на металл, так и во всей области разделения зарядов вблизи металла, а также в невозмущенной плазме. Рассматривается неизотермическая однородная плазма вдоль поверхности металла, по нормали к поверхности которого (ось Ox) формируется область разделения зарядов и рассчитываются потоки. В расчетах учитываются сила F_e , действующая на электроны с температурой T_e вследствие наличия градиента электрического потенциала $\Psi(x)$ в плазме, и сила F_g , обусловленная градиентом плотности плазмы $n_e(x)$, при этом столкновения частиц в плазме не учитываются:

$$F_e = -e \frac{\partial \Psi}{\partial x}; \quad F_g = -\frac{T_e}{n_e} \frac{\partial n_e}{\partial x}. \quad (1)$$

В отсутствие ионизации фонового газа и рекомбинации заряженных частиц, получено уравнение для средней скорости потока электронов u_e , учитывающее процессы в слое плазмы, прилегающем к металлу:

$$u_e \frac{\partial u_e}{\partial x} = -\frac{e}{m_e} \frac{\partial \Psi}{\partial x} - \frac{T_e}{m_e n_e} \frac{\partial n_e}{\partial x}. \quad (2)$$

При сохранении потока частиц плазмы $\frac{\partial}{\partial x}[n_e(x)u_e(x)] = 0$ и при $T_e \gg m_e u_e^2$ из уравнения (2) при фиксированном потенциале металла Ψ_0 следует соотношение $n_{em}/n_{e0} = \exp(-e\Psi_0/T_e)$, где n_{em} – плотность электронов вблизи поверхности металла, n_{e0} – плотность невозмущенной плазмы. Величина потока электронов из плазмы на металл $(n_e u_e)_m$ будет определяться выражением:

$$(n_e u_e)_m = n_{e0} \left(\frac{T_e}{2\pi m_e} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{e\Psi_0}{T_e} \right). \quad (3)$$

Литература

- [1]. А.С. Сахаров, В.А. Иванов Автоэлектронная эмиссия как механизм инициирования микроплазменных разрядов на металле в потоке плазмы // Успехи прикладной физики. 2016. Т.4. №2. С.150-166. <https://advance.orion-ir.ru/UPF-16/2/UPF-4-2-150.pdf>
- [2]. V.A. Ivanov, M.E. Konyzhev, M.A. Tereshchenko, A.A. Dorofeyuk, T.I. Kamolova and S.N. Satunin Electric field on the surface of a metal electrode with dielectric film in plasma // Plasma Physics Reports, 2024, Vol. 50, No. 7, pp. 856-865. DOI: 10.1134/S1063780X24601056

^{*)} DOI – тезисы на английском