

АНАЛИЗ НЕУСТОЙЧИВОСТИ В ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ МЕТАЛЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Н.И. Полетаев

Институт горения и нетрадиционных технологий,
Одесский национальный институт имени И.И. Мечникова,
ул. Дворянская 2, 65082, Одесса, Украина, Poletaev@ukr.net

В работе получено линейное дисперсионное соотношение для исследования условий возникновения пылевых акустических волн в термоэлектронной плазме продуктов сгорания, состоящей из субмикронных частиц окиси металла и термоэлектронов при температурах горения металлических порошков в кислородсодержащих средах ($T \sim 3000$ K) [1]. Приведены результаты численного анализа влияния характеристик пылевой плазмы на частоту пылевых колебаний и критической напряженности электрического поля для пылевого факела частиц алюминия.

Для вывода дисперсионного соотношения использовались уравнения неразрывности и сохранения импульса для электронной и пылевой компоненты плазмы. Полученное соотношение имеет вид:

$$1 - \frac{\omega_e^2}{\Omega_e(\Omega_e + i\nu_e) - K^2 \lambda_{De}^2 \omega_e^2} - \frac{\omega_p^2}{\Omega_p(\Omega_p + i\nu_p) - K^2 \lambda_{Dp}^2 \omega_p^2 - i\nu_{pe}\Omega_e} + \frac{i\nu_{pe}\Omega_e}{\Omega_p(\Omega_p + i\nu_p) - K^2 \lambda_{Dp}^2 \omega_p^2 - i\nu_{pe}\Omega_e} = 0 \quad (1)$$

где $\omega_e = \sqrt{4\pi e^2 n_e / m_e}$ и $\omega_p = \sqrt{4\pi Z_p^2 e^2 n_p / m_p}$ - собственные циклические частоты колебаний электронов и частиц в плазме, $\Omega_i = \omega - K v_{i0}$ ($i=e, p$), $\nu_e = \nu_{en} + \nu_{ep}$ и $\nu_p = \nu_{pn} + \nu_{pe}$ - частоты столкновений электронов с нейтральными молекулами (ν_e) и частицами и частиц с нейтральными молекулами и электронами (ν_p); $\lambda_{De} = \sqrt{kT_e / 4\pi m_e e^2}$ и $\lambda_{Dp} = \sqrt{kT_p / 4\pi N_p Z_p^2 e^2}$ - дебаевский радиус экранирования плазмы по электронной и пылевой компонентам, v_{i0} - дрейфовая скорость.

Первые три слагаемые в (1) представляют вклад электронов и частиц конденсированной фазы в диэлектрическую проницаемость $\epsilon(\omega, K)$. Четвертое слагаемое обусловлено эффектом торможения пылевой ком-

поненты за счет соударения с электронами. Характерные частоты определялись по аналогии с работой [2].

Частоту колебаний, входящую в (1) представили в виде $\omega = \omega_r + i \cdot \omega_i$, где $\omega_r = \text{Re}(\omega)$ и $\omega_i = \text{Im}(\omega)$ действительная и мнимая составляющие частоты. При этом условие $\omega_i < 0$ соответствует затуханию колебаний (декремент затухания), а $\omega_i > 0$ их нарастанию (инкремент нарастания), то есть появлению неустойчивости. Частота $\omega = \omega_r + i \cdot \omega_i$ подставлялась в (1), из полученного уравнения выделялась действительная и мнимая части, которые приравнялись к нулю. Полученные уравнения анализировались численно.

Анализ полученного дисперсионного соотношения для ламинарного диффузионного пылевого факела частиц Al позволил установить существование критической напряженности электрического поля ($E_0 \sim 30000$ В/м), при которой в термоэлектронной плазме возникают низкочастотные колебания. Колебания существуют в достаточно узком диапазоне напряженностей $E_0 = 24000-36000$ В/м, который зависит от заряда частиц. Показано, что с увеличением заряда частиц пороговое значение напряженности электрического поля возрастает. Для больших зарядов инкремент нарастания колебаний становится больше, а его максимум смещается в область более высоких напряженностей электрического поля. При некотором предельном значении напряженности колебания затухают.

При напряженностях электрического поля выше критического наблюдается резкое увеличение инкремента нарастания и частоты колебаний и увеличение фазовой скорости колебаний. Проведенный анализ, что позволил подтвердить сделанный ранее вывод [1], о том, что наблюдавшиеся на опыте колебания обусловлены токовой неустойчивостью, возникающей в результате отличия дрейфовых скоростей электронов и положительно заряженных частиц в постоянном электрическом поле

Литература:

1. N.I. Poletaev, A.V. Florko, Yu.A. Doroshenko, D.D. Polishchuk On a Possibility of the Existence of Dusty Plasma Oscillation in the Front of an Aluminum Particle Flame // *Ukrainian Journal of Physics*, 2008. - Vol. 53, N 11. - P. 1066 - 1074.
2. S. A. Khrapak and G. E. Morfill. Waves in two component electron-dust plasma // *Physics of Plasmas*, 2001. - V. 8, 6. - P. 2629 - 26.