

УДК 533.9.011

Б.О. Дем'янчук, д.т.н., доц.**Н.О. Колесниченко**, к.т.н.**Є.В.Чередниченко***Військова академія (м. Одеса), Україна*

НЕОБХІДНІ УМОВИ ОТРИМАННЯ ПЛАЗМИ В ЕЛЕКТРОМАГНІТНОМУ ПОЛІ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

Одержані кількісні оцінки умов отримання плазми під час дії електромагнітного поля дециметрового діапазону частот на порошок-суміш іоноутворюючих речовин, наприклад, сполук натрію та калію, і частинок легких металів, наприклад, алюмінію та магнію, а саме, рівень електричної напруженості електромагнітного поля, який потрібен для виникнення іскрового розряду-пробою в суміші, запалювання порошку легких металів та підтримання процесу утворення плазми. Надвисокочастотний (НВЧ) пробій є наслідком накопичення зарядів в оксидному шарі частинок металів під час протікання поверхневих струмів цих частинок до моменту пробою шарів повітря між оксидними поверхнями частинок цих металів.

***Ключові слова:** електромагнітне поле дециметрового діапазону частот, надвисокочастотний пробій, процес утворення плазми, іоноутворюючі речовини*

Актуальність теми. Зараз її підтверджують: практичні виробничі і оборонні потреби в застосуванні низькотемпературної (до 3...5 тис. градусів Кельвіна) плазми, а також збільшена наукова зацікавленість в дослідженні проблеми взаємодії електромагнітного поля з дисперсною іоноутворюючою речовиною [1,2]. Зараз активно публікуються можливості плазмового середовища пошкоджувати оборонні об'єкти або змінювати траєкторії ракетних засобів нападу.

Метою статті є кількісний аналіз суттєвих залежностей між фізичними умовами, які потрібні для надвисокочастотного пробою (НВЧ-пробою) плазмоутворюючої хмари під час дії в її середовищі енергії концентрованого електромагнітного поля. Це сприятиме подальшому просуванню досліджень, що спрямовані на вирішення нових завдань практичного застосування.

Завданнями даної статті є:

– узгодження прийнятних параметрів електромагнітного випромінювання з параметрами плазмоутворюючої речовини і наповнювачів у виді частинок легких металів з метою надійного отримання просторової плазми;

– оцінка параметрів плазмоутворення під час дії поля дециметрового діапазону частот, перш за все, напруженості поля, що необхідна для утворення плазми;

Основний матеріал. Під час взаємодії НВЧ-поля з електропровідними наповнювачами на поверхні металевих частинок виникає поверхневий струм, який призводить до електростатичної зарядки поверхневої оксидної плівки, яка в умовах повітря завжди вкриває ці металеві частинки. Заряди на оксидній поверхні цих частинок при достатній потужності НВЧ-поля у плазмоутворюючому середовищі, яке створено попередньо, приводять до виникнення електричного іскрового розряду, за допомогою якого стає можливим ініціювання запалювання електропровідного порошку. З іншого боку, миттєве лавиноподібне згорання порошку в НВЧ-полі безумовно призводить до нерівновагової іонізації частинок іоноутворюючої речовини.

В даній статті досліджені нові можливості надійного отримання і підтримки нерівновагових плазмових утворень у дисперсному плазмоутворюючому просторі обмеженого обсягу шляхом ініціювання запалювання суміші металевого порошку за допомогою концентрованого джерела електромагнітних хвиль дециметрового діапазону в об'ємі, який є узгодженим з об'ємом плазмоутворюючого простору.

Експерименти проводились в камері об'ємом 18л, в якій створювалося рівномірне НВЧ-поле з частотою 2450 МГц і напруженістю поля 3700 В/м. Металевий порошок АСД-4 насипали на діелектричну термостійку (фторопластову) поверхню. Запалююча іскра ініціювалася між металевими частинками алюмінію і магнію.

Оцінювання критичного значення напруженості електричного поля $E_{кр}$ проведено, виходячи з умови, при якій припускалося, що при $E_{кр}$ вільний електрон на відстані середньої довжини вільного пробігу набуває енергії, яка дорівнює потенціалу іонізації молекул. З іншого боку, фактична напруженість поля E в об'ємі, якій досліджується, повинна бути більшою, або дорівнювати критичній енергії. Ця напруженість електромагнітного поля дорівнює

$$E = \frac{1}{R \arctg(D_0 / 2R)} \sqrt{\frac{PT_n}{2\tau} W} \geq E_{кр}, \quad (1)$$

де P – середня потужність джерела випромінювання електромагнітних хвиль;

W – хвильовий опір плазмоутворюючого середовища;

τ і T_n – тривалість і період проходження імпульсів випромінювача;

R – відстань від НВЧ-випромінювача до простору плазмоутворюючого середовища;

D_0 – діаметр простору дисперсного плазмоутворюючого середовища, узгоджений з діаметром поперечного перетину діаграми спрямованості НВЧ-випромінювача.

Під час іскрового нагрівуючого впливу НВЧ-поля на плазмо-утворююче середовище з додаванням металевих частинок, кінетичну енергію найшвидкіших частинок можна порівняти з енергією зв'язку електронів в атомах цього середовища. Це відповідає початку іонізації газу. Довільне розділення зарядів в цих утвореннях можливе, як відомо, лише за умови, що робота проти електричного поля, яку потрібно при цьому здійснити, є меншою, ніж теплова енергія частинки, оскільки у вказаних утвореннях електростатична взаємодія є настільки великою, що свавільне розділення зарядів є можливим лише в тих областях, які за розміром порівнянні з дебаєвським радіусом D .

Енергія електростатичного поля плазмового утворення має вид:

$$W_e = \frac{q^2}{2S\xi/d} = \frac{e \cdot (n \cdot S \sqrt{\frac{3}{2}} D)^2}{2 \cdot S \cdot \xi / 10D} = \frac{10e \cdot n^2 \cdot S \cdot \frac{3}{2} D^3}{2\xi}, \quad (2)$$

де q – заряд частинок;

S – площа шару нерівновагової області;

ξ – діелектрична проникливість;

n – концентрація електронів;

e – заряд електрона;

d – відстань між шарами нерівновагової області плазмо-утворюючого простору.

У прикладі відстань d між шарами нерівновагової області обрана $10D$, тобто – на рівні десяти дебаєвських радіусів.

Повна теплова енергія W_m усіх частинок через напруженість електричного поля, яка дорівнює E , має таку залежність

$$W_m = n \cdot S \cdot 30D \cdot \frac{\sigma}{c \cdot \rho} E^2 \cdot t_0, \quad (3)$$

де σ – питома електропровідність середовища;

c – теплоємність середовища;

ρ – густина середовища;

t_0 – час впливу НВЧ-поля.

Дорівнюючи (2) і (3), згідно до закону збереження енергії, отримуємо критичне значення напруженості електричного поля у вигляді

$$E_{кр} = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{e \cdot n \cdot c \cdot \rho}{\xi \cdot \sigma \cdot t_0}} \quad (4)$$

Тоді умова отримання нерівновагових плазмових утворювань набуває вигляду

$$\frac{1}{R \arctg(D_0 / 2R)} \sqrt{\frac{P \cdot T_n}{2\tau} W} \geq \frac{D}{2} \sqrt{\frac{e \cdot n \cdot c \cdot \rho}{\xi \cdot \sigma \cdot t_0}} \quad (5)$$

Параметрами n , ρ , ξ , σ можна керувати для досягнення пробою між електропровідними частинками та для підтримання процесу плазмоутворення.

Згідно до (5), маємо перелік відповідних результатів для зменшення рівня критичного значення напруженості електричного поля за умов збереження надійного плазмоутворення навіть за допомогою більш слабкого джерела електромагнітного поля. Саме ці умови і результати дії мікрохвильового поля на простір відрізняють нову технологію і технологію-прототип у виді наступних варіантів досягнення мети просторового плазмо-утворення у вигляді:

$$n_e < n_n \rightarrow E_{e\text{кр}} < E_{n\text{кр}}; \quad \rho_e < \rho_n \rightarrow E_{e\text{кр}} < E_{n\text{кр}}; \quad \xi_e > \xi_n \rightarrow E_{e\text{кр}} < E_{n\text{кр}} \quad (6)$$

В дослідженні, що розглядається, напруженість поля дорівнює $E_e \cong 3,7 \text{ кВ/м} = 3,7 \text{ В/мм}$. Таким чином, в дослідженні іскріння виникає у випадку, якщо відстань між електропровідними частинками приблизно дорівнює 1 мкм. Як бачимо, оскільки частинки вкриті оксидним шаром товщиною меншою 1 мкм, то іскріння виникає між близько розташованими, контактуючими (через тонку оксидну плівку) частинками легких металів.

Висновки

1. Наведені кількісні залежності показують, що реалізація умов, що необхідні для створення нерівновагових плазмових утворювань, цілком можлива за допомогою засобів, які зараз існують.

2. Для ініціювання пробою найбільш доцільним є потужне імпульсне випромінювання. Потужність імпульсного випромінювання повинна бути пропорційною часу існування плазмового утворення за допомогою джерела мікрохвильового електромагнітного поля.

3. Істотне підвищення надійності плазмо-утворення і підтримки процесу плазмоутворення у просторі, який містить іоноутворюючу речовину та електропровідні частинки легких металів, можливо лише при погодженому у просторі впливі поля. Плазмоутворення повинно ініціюватися як у поперечному її перетині, так і за глибиною. Це залежить і від потужності випромінювача електромагнітної хвилі, і від виду частинок, і від концентрації частинок в області плазмоутворення.

Список використаних джерел

1. "Trust": Russians propose joint SDI using plasmoids // 21st century. Science & technology. Summer 1993/ - P.385.
2. Гуревич А.В., Шварцбург А.Б. Нелинейная теория распространения радиоволн в ионосфере. – М.: Наука, 1973.
3. Демьянчук Б.А. Принципы и применения микроволнового нагрева. – Одесса: Черноморье, 2004, 520 с.

НЕОБХОДИМЫМ УСЛОВИЕМ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛАЗМЫ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Б.А. Демьянчук, Н.А. Колесниченко, Е.В. Чердниченко

Полученные количественные оценки условий получения плазмы при воздействии электромагнитного поля дециметрового диапазона частот на порошок смесь ионоутворюючих веществ, например, соединений натрия и калия, и частиц легких металлов, например, алюминия и магния, а именно, уровень электрической напряженности электромагнитного поля, который нужен для возникновения искрового разряда-пробоя в смеси, зажигания порошка легких металлов и поддержания процесса образования плазмы. Сверхвысокочастотный (СВЧ) пробой является следствием накопления зарядов в оксидном слое частиц металлов во время протекания поверхностных токов этих частиц до момента пробоя слоев воздуха между оксидными поверхностями частиц этих металлов.

Ключевые слова: электромагнитное поле дециметрового диапазона частот, сверхвысокочастотный пробой, процесс образования плазмы, ионоутворюючи вещества

NECESSARY CONDITIONS FOR PLASMA ADMINISTRATION IN THE ELECTROMAGNETIC FIELD OF THE DEMOCRATIC RANGE

B. Demianchuk, N. Kolesnychenko, E.Cherednichenko

Quantitative estimates of the conditions for obtaining the plasma during the action of the electromagnetic field of the decimeter frequency range on the powder-mixture of ion-forming substances, for example, sodium and potassium compounds, and light metal particles such as aluminum and magnesium, namely, the level of electrical tension of the electromagnetic field required for the origin of a spark discharge, a breakdown in the mixture, the ignition of powder of light metals and the maintenance of the plasma formation process. The ultrahigh-frequency (UHF) breakdown is the result of the accumulation of charges in the oxide layer of metal particles during the course of surface currents of these particles until the breakdown of air layers between the oxide surfaces of the particles of these metals.

Keywords: electromagnetic field of decimeter frequency range, ultrahigh-frequency breakdown, plasma formation process, ion-forming substances