



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42072 (13) U  
(51) МПК (2009)  
H01J 27/16МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ПАТЕНТУ  
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

(54) ЕНЕРГОЕФЕКТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ІОНІВ

1

2

(21) u200815043

(22) 26.12.2008

(24) 25.06.2009

(46) 25.06.2009, Бюл.№ 12, 2009 р.

(72) ДУДІН СТАНІСЛАВ ВАЛЕНТИНОВИЧ, ЗИКОВ  
ОЛЕКСАНДР ВОЛОДИМИРОВИЧ, РАФАЛЬСЬКИЙ  
ДМИТРО В'ЯЧЕСЛАВОВИЧ(73) ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИ-  
ТЕТ ІМЕНІ В.Н. КАРАЗІНА(57) Енергоефективне джерело іонів, що включає  
діелектричну розрядну камеру з підключенням до  
джерела ВЧ напруги через розділовий конденса-

тор потенціальним електродом площею  $S_1$  і іонно-оптичною системою у вигляді заземленого електрода-сітки площею  $S_2$ , а також ВЧ індуктор, що охоплює камеру зовні, яке відрізняється тим, що потенціальний електрод складений з нерухомої і рухомої частин та виконаний з можливістю зміни його площі  $S_1$  завдяки пересуванню його рухомої частини, причому максимальній енергетичній ефективності відповідає положення рухомої частини потенціального електрода, коли  $S_1 = S_2(\varphi + 1,5)$ , де  $\varphi$  - амплітуда ВЧ напруги на потенціальному електроді у кіловольтах.

Корисна модель відноситься до електровакуумних приладів з іонним пучком, зокрема до іонних джерел з використанням високочастотного збудження, і може бути використана у іонно-плазмових технологіях для оброблення виробів у вакуумі іонами інертних та хімічно активних газів при виготовленні виробів мікро- та наноелектроніки, мікромеханіки та оптики.

Відомі плазмові джерела іонів, які складаються з газорозрядної камери (ГРК), в якій за допомогою газових розрядів різних типів (дугового, тліючого, високочастотного) створюється плазма, і іонно-оптичної системи (ІОС), яка слугує для "витягання" та прискорення іонів. У відомих конструкціях плазмових джерел іонів для підтримки газового розряду використовують джерела живлення постійного або змінного струму. Для прискорення іонів до ІОС, що складається з декількох перфорованих електродів, під'єднані один або декілька додаткових джерел живлення постійного струму.

Відоме джерело іонів [1] на базі газового розряду постійного струму з холодним катодом в магнітному полі, що містить ГРК з розташованими в ній циліндричним анодом, торцевим і перфорованим катодами, магнітну та іонно-оптичну системи. У ГРК джерела іонів з боку торцевого катода, співвісно з анодом встановлено додатковий циліндричний електрод з можливим його подовжнім переміщенням та введено засоби підтримки на ньому електричного потенціалу, незалежного по відношенню до катода і аноду ГРК. Метою винахо-

ду було регулювання розподілу щільності струму іонів по перетину пучка.

Недоліком даної конструкції є низька енергетична ефективність і значна ерозія електродів, обумовлені високою розрядною напругою (більше 500 В).

Найближчим аналогом корисної моделі є високочастотне джерело іонів [2], в якому для створення плазми в ГРК використовується високочастотний розряд індукційного типу, а для прискорення іонів застосовується односітчаста ІОС з живленням ВЧ напругою. Дія ІОС заснована на ефекті авто-зсуву. Зазначене джерело включає діелектричну розрядну камеру з підключенням до джерела ВЧ напруги через розділовий конденсатор потенціальним електродом площею  $S_1$  і іонно-оптичною системою у вигляді заземленого електрода-сітки площею  $S_2$ , а також ВЧ індуктор, що охоплює камеру зовні.

Недоліком цієї конструкції є низька енергетична ефективність при неоптимальному виборі параметра асиметрії  $S_1/S_2$ . При недостатній асиметрії росте потужність, що йде на прискорення іонів до стінок ГРК, збільшується розпилювання, що забруднює плазму домішками. При надмірній асиметрії лише невелика частина іонів, народжених в плазмі, потрапляють у пучок.

Технічною задачею корисної моделі є створення енергоефективного джерела іонів з односітчастою іонно-оптичною системою, що живиться високочастотною напругою, амплітуда якої може змінюватися в широкому діапазоні (100 - 1000 В),

(13) U  
(11) 42072  
(19) UA

причому енергетична ефективність джерела іонів підтримується максимально можливою в усьому цьому діапазоні.

Технічна задача вирішується тим, що потенціальний електрод складений з нерухомої і рухомої частини та виконаний з можливістю зміни його площі  $S_1$  завдяки пересуванню його рухомої частини, причому максимальній енергетичній ефективності відповідає положення рухомої частини потенціального електроду, коли  $S_1 = S_2(\varphi + 1,5)$ , де  $\varphi$  - амплітуда ВЧ напруги на потенціальному електроді у кіловольтах.

Технічний результат, що може бути одержаний при здійсненні корисної моделі, полягає у забезпеченні максимальної енергетичної ефективності джерела іонів для будь якої амплітуди високочастотної напруги, що подається на потенціальний електрод, в діапазоні амплітуд від 100 до 1000 В.

Причинно-наслідковий зв'язок геометричних розмірів електродів джерела іонів і його енергетичної ефективності можна пояснити розглядом енергетичного балансу для комбінованого ВЧ індукційно-ємнісного розряду [3]. Прикладений між двома електродами ВЧ потенціал, залежно від відношення площ електродів перерозподіляється між двома приелектродними шарами, що приводить до зміни розподілу ВЧ потужності між потоками частинок на поверхні потенціального та емісійного електродів і витратами на іонізацію в області квазінейтральної плазми. У випадку низького тиску, коли для струму позитивних іонів у ВЧ приелектродних шарах виконується закон "ступеня 3/2" і відношення напруг між плазмою і електродами зворотно пропорційне відношенню четвертого ступеня їх площ, виконується наступний вираз для  $P_1$ - потужності, що витрачається на прискорення іонів в іонно-оптичній системі.

$$P_1 = \frac{P_0}{\eta + \gamma(\delta) \cdot \varphi} \left[ \frac{\delta^4}{1 + \delta^4} \cdot \varphi + \varphi_{pl} \right] \frac{1}{1 + \delta} \cdot de\gamma(\delta) = \frac{\delta(\delta^2 - \delta + 1)}{1 + \delta^4}.$$

У формулах позначено:  $\delta = S_1/S_2$  - відношення площ ВЧ електродів ( $\delta > 1$ ),  $\varphi$  - амплітуда ВЧ напруги між електродами;  $\varphi_{pl}$  - поправка, що враховує ненульовий потенціал плазми у відсутності потенціала на електродах,  $\eta$  - енергетична ціна іона,  $P_0$  - сумарна споживана розрядом ВЧ потужність.  $P_1$  можна розцінювати як корисну частину потужності, що підводиться, а її відношення до сумарної потужності, що поглинається розрядом, як енергетичну ефективність або ККД системи.

Залежність потужності  $P_1$  від величини  $\delta$  має максимум, положення якого залежить від амплітуди ВЧ напруги  $\varphi$ , тобто для кожного значення  $\varphi$  існує оптимальне значення  $\delta$ , при якому ККД максимальний. У діапазоні від 100 до 1000 В залежність оптимального співвідношення площ електродів  $\delta_{opt}$  від величини  $\varphi$  можна апроксимувати формулою  $\delta_{opt} = \varphi + 1,5$  ( $\varphi$  виражається в кіловольтах), похибка якої у вказаному діапазоні не перевищує 5%. Ця формула може бути безпосередньо використана для вибору геометричних розмірів електродів джерела іонів відповідно до прискорюючої напруги. Задавши потрібну величиною  $\varphi$  (при  $\varphi > 50$ В та  $\delta > 1,5$  амплітуда ВЧ напруги  $\varphi$  практично співпадає з прискорюючою на-

пругою), з її допомогою можна знайти оптимальне співвідношення площ електродів.

Схема енергоефективного джерела іонів представлена на малюнку. Корисна модель включає діелектричну розрядну камеру 1 циліндричної форми, ВЧ індуктор 2, що охоплює камеру зовні, потенціальний електрод, виконаний у вигляді нерухомої частини 4 і рухомої частини 7 з вакуумним ущільнювачем 8, заземлений електрод-сітку 6, що відокремлює об'єм камери від області транспортування пучка. Потенціальний електрод підключений до ВЧ генератора 3 через розділовий конденсатор 5. ВЧ генератор, що живить індуктор на малюнку не показаний.

Джерело працює таким чином: Перед включенням пристрою, відповідно до необхідної прискорюючої напруги, проводять установку оптимальної величини співвідношення площ електродів шляхом подовжнього переміщення рухомої частини 7 потенціального електрода. Після цього проводиться відкачування ГРК 1, напуск робочого газу і створення плазми шляхом подачі ВЧ напруги на індуктор 2 від ВЧ генератора. Потім від ВЧ генератора 3 через ємність 5 подається ВЧ напруга заданої амплітуди між потенціальним електродом 4-7 і заземленим електродом-сіткою 6. Оскільки площа електрода-сітки менше площі потенціального електрода, основне падіння потенціалу, приблизно рівне амплітуді ВЧ напруги на потенціальному електроді, зосереджено в шарі біля поверхні електрода-сітки. Іони, прискорені з плазми у напрямку сітки до енергії, обумовленої падінням стаціонарного потенціалу в шарі, проходять через отвори в сітці 6 у вигляді паралельного пучка іонів. Остаточне підстроювання площі потенціального електрода проводять при фіксованих споживаній ВЧ потужності і амплітуді напруги  $\varphi$  по максимуму щільності іонного струму або швидкості травлення зразків.

Проводилися випробування експериментального пристрою, який було виконано відповідно до корисної моделі, з ГРК діаметром 200 мм і довжиною 100 мм та двохвитковим індуктором, підключеним до ВЧ генератора з частотою 13,56 МГц і потужністю до 1 кВт. Площа електрода-сітки складала 250 см<sup>2</sup>, геометрична прозорість 40 %. Потенціальний електрод було виготовлено у вигляді охолоджуваного нерухомого фланця і рухомої циліндричної частини діаметром 100 мм. За рахунок зміни довжини частини рухомого електрода, введеної в плазму, можна було змінювати сумарну площу потенціального електрода від 300 до 500 см<sup>2</sup>. Струм пучка іонів вимірювався на мішені діаметром 300 мм, розташованій на відстані 250 мм від джерела іонів. Робочим газом служив аргон під тиском в ГРК 10<sup>-3</sup> Торр.

При сумарній ВЧ потужності 700 Вт і ВЧ напрузі на потенціальному електроді 200 В струм іонів на мішень змінювався в межах 400-700 мА, залежно від довжини рухомої частини потенціального електрода, а при його площі 430 см<sup>2</sup> було досягнуто максимальне значення 700 мА. Це відповідає приведеному вище виразу.

Джерела інформації:

1. А.С. № 1144548, СССР, опуб. 08.11.1984;

2. А.С. № 1570549, СССР, МПК<sup>6</sup> H01J27/16, опуб. 20.03.1995.

3. Дудин СВ., Зыков А.В., Положий К.И. Оптимизация распылительных систем на базе комби-

нированного индукционно-емкостного ВЧ разряда // Письма в ЖТФ. - 1996, т. 22, в. 19, С. 54-59.

