

УДК 537.534.2

ПРЯМОПОТОЧНЫЙ ИСТОЧНИК ИОНОВ ДЛЯ ИМИТАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЙ ИОНОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ НА АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Камышан А.С., Пилько В.В. (ст.), Пилько В.В.

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. С использованием оригинальной геометрии прямонакального катода осуществлены экспериментальные исследования выходного тока новой конструкции источника ионов в широком диапазоне давлений атмосферного воздуха, определены давления, при которых происходит зажигание газового дугового разряда на воздушной смеси. Исследованы различные материалы катодов и комбинации напряжений питания.

Ключевые слова: источник ионов; плазма ионосферы; аэрокосмические материалы.

FORWARD-FLOW ION SOURCE FOR SIMULATION OF IONOSPHERIC PLASMA IMPACTS ON AEROSPACE MATERIALS

Kamyshan A., Pilko V. (S), Pilko V.

A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems BSU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Using the original geometry of a directly heated cathode, experimental studies of the output current of a new ion source design were carried out in a wide range of atmospheric air pressures, and the pressures at which a gas arc discharge on an air mixture was ignited were determined. Various materials of cathodes and combinations of supply voltages have been studied.

Key words: ion source; plasma of the ionosphere; aerospace materials.

Адрес для переписки: Пилько В.В., ул. Курчатова, 7, Минск 220045, Республика Беларусь
e-mail: pilkow@mail.ru

Создание и исследование параметров прямопоточного источника ионов, работающего при низких давлениях атмосферного газа, является актуальной задачей ионнолучевой техники.

Постоянство формы катода в процессе эксплуатации хорошо обеспечивается в конструкциях источников ионов с холодным катодом [1]. Это позволяет использовать катод в качестве элемента электронно-оптической системы при формировании пучка ионов. Главным недостатком этих устройств является высокое значение давления рабочего газа и большой поток нейтральных атомов газа, проходящих через отверстие для вывода пучка. Дополнительными недостатками являются большой разброс ионов по энергиям и высокое рабочее напряжение.

Наиболее эффективными при низких давлениях рабочего газа являются источники ионов с горячим катодом [2]. Как правило, в их конструкции используется разрядная камера, заполняемая плазмой газового разряда. В отверстии камеры создается плазменный мениск, с поверхности которого осуществляют экстракцию ионов дополнительным электродом, имеющим относительно разрядной камеры высокий отрицательный потенциал. Мениск и экстрактор составляют при этом основу электронно-оптической системы, а фокусирующий электрод, при необходимости, корректирует форму пучка. Форма термокатода и режим разряда оказывают на геометрию мениска

лишь опосредованное влияние, а катод и анод не являются важными компонентами электронно-оптической системы. Именно поэтому в устройствах данного типа, как правило, используется асимметричная форма катода. Разработанный прямопоточный источник ионов предназначен для получения интенсивного пучка ионов с постоянной геометрией.

Методика и обсуждение результатов. Разработан, изготовлен и апробирован источник ионов, общий вид которого приведен на рис. 1.

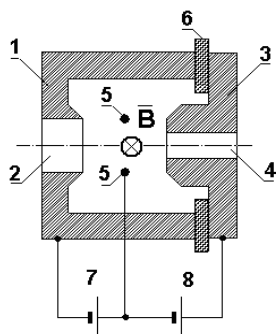


Рисунок 1 – Общий вид прямопоточного источника ионов с горячим катодом

Конструкция и принцип действия источника поясняются схематическим рис. 2.

Как видно из рис. 2, разрядная камера и анодный фланец формируют вокруг катода замкнутый объем с каналами для подачи рабочего газа и вывода пучка. Термокатод симметричен, и состоит из

двух параллельных нитей. Использованная полярность подключения источников напряжения позволяет сконцентрировать на аноде вблизи канала подачи рабочего газа термоэлектроны эмиссии катода и потоки вторичных электронов, генерируемых при столкновении ионов с катодом и краями канала для вывода пучка. Внешнее магнитное поле и поле тока накала катода многократно удлиняют траектории электронов, повышая вероятность ионизации газа. Направление потока ионов совпадает с направлением потока рабочего газа, при этом ионизированная компонента потока приобретает в ускоряющих зазорах дополнительный импульс. Магнитные поля не вносят в поток ионов существенных искажений. Характеристика пучка на выходе ионного источника иллюстрируется рис. 3. Исследования показали, что разработанный тип источника совместим как с аксиальными, так и с ленточными геометриями транспортировки ионов. Рис. 3 иллюстрирует случай вывода пучка сквозь круглое отверстие диаметром 12 мм. Профиль просканирован на расстоянии 36 мм от отверстия линейным зондом диаметром 0,5 мм. Для разработанной системы накала характерно явление автобалансировки тока накала, и при износе одной из нитей, увеличивающем ее электросопротивление, ток через вторую возрастает, увеличивая соответствующую компоненту тока эмиссии. В качестве материала катода в случае атмосферного воздуха работоспособны катоды из окисленного вольфрама.



1 – разрядная камера; 2 – отверстие для вывода пучка; 3 – анод; 4 – канал для подачи рабочего газа; 5 – катод; 6 – изолятор; 7 и 8 – источники напряжения; B – внешнее магнитное поле

Рисунок 2 – Схематическое изображение источника

Лучший результат дает торированный вольфрам, обладающий повышенной стойкостью и

большой плотностью тока эмиссии. В качестве перспективных материалов для изготовления катодов в дальнейшем необходимо рассмотреть оксидные композиции. Время наработки катода на отказ существенно зависело от рабочего давления и значительно превышало срок службы спирального и однопроводного катода. Установлено, что работоспособность источника сохраняется в диапазоне давлений атмосферного воздуха от 1 до $6 \cdot 10^{-5}$ Па, что согласно [3] соответствует слою ионосферы от 80 до 210 км. Диапазон давлений тестирования на данном этапе исследований был ограничен возможностями конвенциональной вакуумной системы, однако во всей области ударной ионизации зависимость тока от давления была близка к линейной. В диапазоне от 1 до 0,1 Па имеет место возникновение дугового газового разряда, сопровождающегося возрастанием тока на 2 порядка величины. Эти режимы являются оптимальными для систем ионной имплантации и получения мощных потоков плазмы.

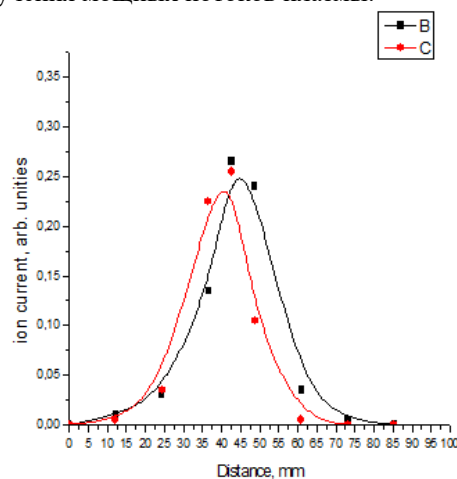


Рисунок 3 – B и C – распределения тока в сечении ионного пучка при сканировании в ортогональных направлениях

Литература

1. Ионнолучевые источники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plasma-instrument.com/istos/ion-noluchevye-istochniki>.
2. Ионные источники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pvsystems.ru/pfeiffer/mass-spektrometri/istochniki/>.
3. ГОСТ 4401–81. Атмосфера стандартная. Параметры. Часть 1. ИПК Издательство стандартов, Москва, 2004. – 180 с.