

04;12

## **Генерация стационарных электронных пучков форвакуумным плазменным источником в области давлений 100 Па**

© А.А. Зенин, А.С. Климов, В.А. Бурдовицин, Е.М. Окс

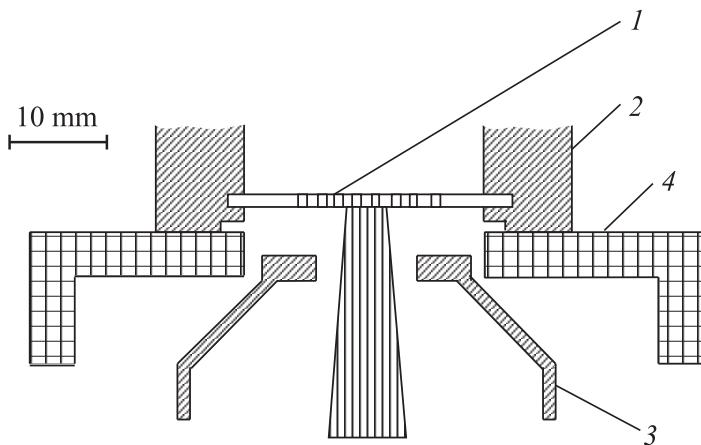
Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники  
E-mail: burdov@fet.tusur.ru

Поступило в Редакцию 14 января 2013 г.

Показано, что при повышении давления газа в форвакуумном плазменном источнике электронов нарушение электрической прочности ускоряющего промежутка (пробой промежутка) обусловлено влиянием обратного потока ионов из плазмы, генерируемой как электронным пучком, так и высоковольтным тлеющим разрядом (ВТР). Модернизация геометрии электродной системы ускоряющего промежутка электронного источника позволила снизить в 2–3 раза ток ВТР и обеспечила повышение верхнего предела рабочих давлений источника до 100 Па при использовании в качестве рабочего газа воздуха и до 160 Па — гелия.

Потребность в генерации электронных пучков в области повышенных давлений обусловлена привлекательностью использования электронно-лучевых методов для обработки непроводящих материалов [1,2], синтеза различных функциональных покрытий [3], плазмохимии [4] и ряда других применений. На сегодняшний день так называемые форвакуумные плазменные источники [5] обеспечивают эффективную генерацию электронных пучков при давлениях вплоть до 20 Па (рабочий газ — воздух) и до 30 Па (гелий). Достигнутый уровень рабочих давлений достаточно высок, однако развитие электронно-лучевых технологий требует повышения этого уровня.

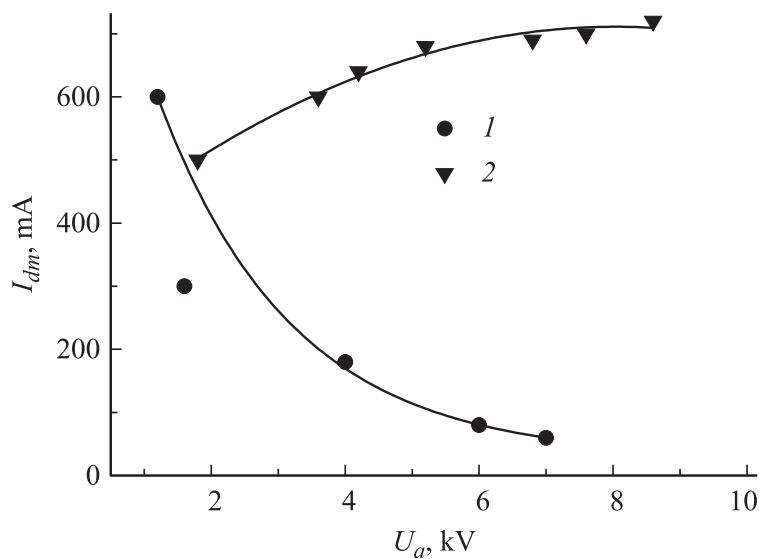
Цель данной работы состояла в проведении исследований, направленных на поиск путей повышения рабочего давления в форвакуумных плазменных источниках электронов.



**Рис. 1.** Схема ускоряющего промежутка: 1 — перфорированный эмиссионный электрод, 2 — анод, 3 — ускоряющий электрод, 4 — изолятор.

Физический предел функционирования источников электронов обусловлен нарушением электрической прочности (пробоем) ускоряющего промежутка. В области давлений свыше 10 Па решающую роль в развитии этого пробоя играет высоковольтный тлеющий разряд (ВТР) [6], интенсивность которого в значительной степени определяет концентрацию пучковой плазмы, формирующейся в области транспортировки электронного пучка. Для продвижения в область более высоких давлений, прежде всего, следует обеспечить условия для снижения тока ВТР.

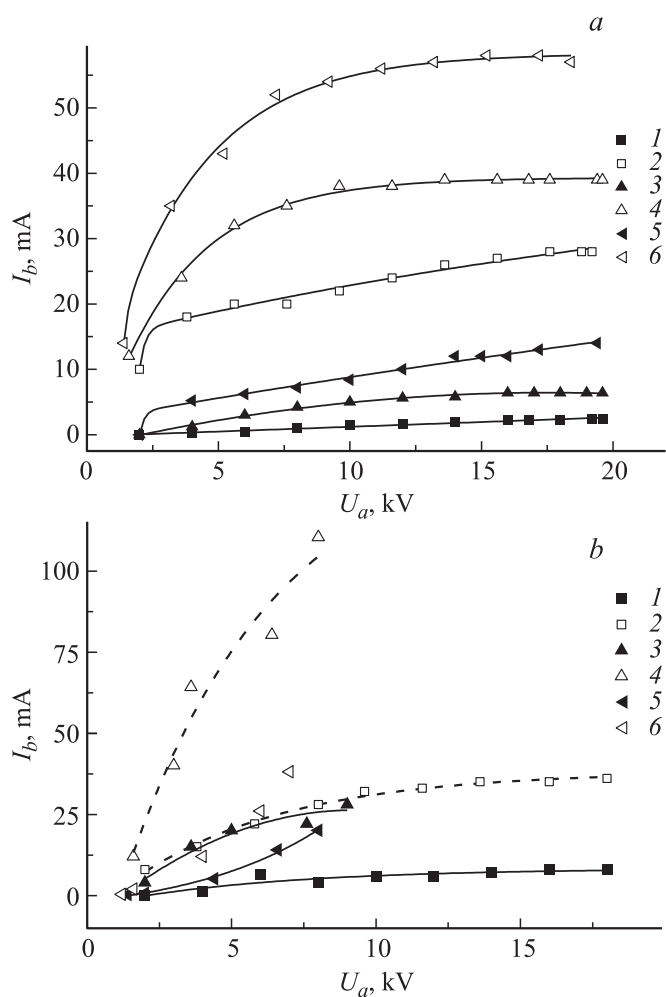
Схематическое изображение электродов модернизированной ускоряющей системы форвакуумного плазменного источника электронов на основе тлеющего разряда с полым катодом (более детально источник описан в [7]) представлено на рис. 1. Эмиссионный электрод был выполнен из танталовой пластины толщиной 1 мм, перфорированной элементарными эмиссионными отверстиями диаметром 0,6 мм. В качестве рабочих газов использовались воздух и гелий. Измерение давления производилось емкостным вакуумметром Pfeiffer active capacitive transmitter CMR 362. Принцип действия этого устройства позволяет



**Рис. 2.** Предельный разрядный ток как функция ускоряющего напряжения: 1 — 100, 2 — 27 Па. Воздух.

утверждать независимость показаний от рода газа, что повышает достоверность измерения давления. Регистрируемыми величинами были напряжение  $U_a$  на ускоряющем промежутке, ток  $I_d$  разряда, ток  $I_b$  пучка на коллекторе. Коллектор представлял собой цилиндр Фарадея и располагался на расстоянии 70 mm от фокусирующей системы. Снижение тока ВТР в данной работе было достигнуто модернизацией конфигурации электродов ускоряющего промежутка и сокращением протяженности межэлектродного расстояния с одновременным уменьшением диаметра эмиссионного отверстия с 15 до 6 mm и с 20 до 8 mm соответственно. Как показали эксперименты, такая модернизация обеспечила кратное снижение тока ВТР и таким образом практически исключила влияние этого паразитного разряда на электрическую прочность ускоряющего промежутка.

Таким образом, пробой ускоряющего промежутка при повышении давления мог быть связан только с параметрами электронного пучка, формируемого при отборе электронов с эмиссионной границы плазмы



**Рис. 3.** Зависимость тока коллектора от ускоряющего напряжения для гелия (а), воздуха (б). 1, 2 — 60; 3, 4 — 100; 5, 6 — 160 Па. 1, 3, 5 —  $I_d = 0$ ; 2, 4, 6 —  $I_d = 600$  мА. 1, 3, 5 —  $I_d = 0$ ; 2, 4 —  $I_d = 200$  мА; 6 —  $I_d = I_{dm}$ , т. е. максимально допустимому при данном  $U_a$ .

разрядной системы плазменного источника. В тлеющем разряде концентрация плазмы, определяющая плотность тока эмиссии электронов из плазмы, прямо пропорциональна величине разрядного тока  $I_d$ . Зависимость предельного тока разряда  $I_{dm}$ , превышение которого вызывает пробой ускоряющего промежутка, от ускоряющего напряжения  $U_a$  представлена на рис. 2. Видно, что характер зависимости  $I_{dm}(U_a)$  определяется давлением газа. В области давлений 20–50 Па  $I_{dm}$  растет с повышением  $U_a$ , а при больших давлениях — падает. Такое разное поведение зависимости  $I_{dm}(U_a)$ , очевидно, обусловлено принципиально различными механизмами пробоя в разных диапазонах давлений. В области малых давлений реализуется так называемый „плазменный пробой“, связанный с проникновением плазмы из разрядной области в ускоряющий промежуток [5]. При больших давлениях превалирует влияние на пробой обратного ионного потока, приводящего к образованию катодных пятен на эмиссионном электроде. Сдвиг давлений, в котором этот механизм наблюдается, в большую сторону по сравнению с результатами, изложенными в [5], связан, скорее всего, с модернизацией геометрии электродной системы, обеспечившей резкое снижение тока ВТР. Вольт-амперные характеристики форвакуумного плазменного источника электронов при работе на гелии и на воздухе приведены на рис. 3, *a* и *b* соответственно.

Важнейший результат состоит в обеспечении работоспособности электронного источника при давлении до 100 Па на воздухе и до 160 Па на гелии. Эти давления в несколько раз превышают предельные рабочие давления, достигнутые нами ранее [6]. Здесь же необходимо отметить, что модернизация ускоряющей системы, обеспечившая в конечном счете столь существенное продвижение в область более высоких давлений, обусловила и некоторое снижение эффективности работы электронного источника. В данном случае для генерации определенного тока пучка требуется заметно больший ток разряда. Но, по-видимому, такая „плата“ за столь высокое рабочее давление может считаться приемлемой.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 12-08-31043) и Министерства образования и науки (проекты № 7.3101.2011, ФЦП № 12.В37.21.1162).

## Список литературы

- [1] *Annenkov Yu.M., Pritulov A.M., Surzhikov A.P.* // Proceedings of 13th Int. Conf. on Radiation Physics and Chemistry of Inorganic Materials. Tomsk, Russia, 10–15 September, 2006.
- [2] *Burdovitsin V.A., Klimov A.S., Oks E.M.* // Technical Physics Letters. 2009. V. 35. N 6. P. 511–513.
- [3] *Smirnyagina N.N., Milonov A.S., Karmanov N.S.* // Proc. 8th international conf. „Electron beam technologies“ (EBT 2006). Varna, 2006. V. 2. P. 55–56.
- [4] *Pushkarev A.I., Remnev G.E., Ponomarev D.V.* // High energy Chemistry. 2006. V. 40. N 2. P. 105.
- [5] *Burdovitsin V.A., Oks E.M.* // Laser and particle beams. 2008. V. 26. Iss. 04. P. 619–635.
- [6] *Burdovitsin V.A., Goreev A.K., Klimov A.S., Zenin A.A., Oks E.M.* // Technical Physics. 2012. V. 57. N 8. P. 1101–1105.
- [7] *Burdovitsin V.A., Zhirkov I.S., Oks E.M., Osipov I.V., Fedorov M.V.* // Instruments and Experimental Techniques. 2005. V. 48. N 6. P. 761–763.