

## ПОЛУЧЕНИЕ МИЛЛИСЕКУНДНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА В ФОРВАКУУМЕ

А.П. Андрейчик, А.В. Казаков, А.В. Медовник

Научный руководитель: профессор, д.т.н. Е.М. Окс

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 40, 634050

E-mail: [andreichik94@mail.ru](mailto:andreichik94@mail.ru)

## GENERATION OF THE MILLISECOND ELECTRON BEAM AT FOREVACUUM

A.P. Andreychik, A.V. Kazakov, A.V. Medovnik

Scientific Supervisor: Prof., Dr. E.M. Oks

Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,

Russia, Tomsk, Lenin str., 40, 634050

E-mail: [andreichik94@mail.ru](mailto:andreichik94@mail.ru)

***Abstract.** The possibility of generation of a quasicontinuous electron beam with pulse duration up to 4.2 ms from arc discharge plasma in the forevacuum pressure range is presented. It is shown, that the voltage-current characteristic of the forevacuum plasma electron source generating millisecond electron beam has a "classical" form for electron sources with a plasma cathode.*

**Введение.** Электронные пучки получили широкое распространение в различных областях науки и техники благодаря большим технологическим возможностям [1]. Для источников электронов, функционирующих в традиционном диапазоне давлений ( $10^{-3}$ – $10^{-1}$  Pa) существует проблема зарядки при облучении непроводящей мишени. Использование форвакуумных плазменных источников для генерации электронных пучков не накладывает ограничений на номенклатуру обрабатываемых материалов ввиду отсутствия такой проблемы: наряду с металлами возможна эффективная обработка и диэлектриков, среди которых различные виды керамик [2] и полимеров [3]. Зарядовая компенсация обеспечивается ионами пучковой плазмы, образуемой электронным пучком на пути его распространения, и ионами несамостоятельного разряда между мишенью и стенками вакуумной камеры [4] – в совокупности это снимает необходимость привлечения дополнительного оборудования. В тоже время существует необходимость получения «длинных» импульсов, связанная с реализацией режимов, представляющих интерес для ряда технологических процессов – там, где возможен и/или требуется переход к моноимпульсному воздействию на объект. Ранее полученных длительностей импульса 1 мс [5] и 1,8 мс [6], недостаточно для отдельных применений моноимпульсной обработки больших поверхностей и материалов с очень высокими температурами плавления. Таким образом, целью настоящей работы является получение электронных пучков длительностью единицы миллисекунд в форвакуумном диапазоне давлений.

**Схема и методика проведения эксперимента.** Для генерации электронного пучка использовался форвакуумный плазменный источник электронов, конструкция, характеристики и параметры которого подробно изложены в [5]. Он состоял из медного стержневого катода 1, заключенного в трубчатый керамический изолятор 2, и полого цилиндрического анода 3. В противоположном катоду основании

анода выполнено эмиссионное окно, перекрытое мелкоструктурной сеткой 4. Зажигание дугового разряда осуществлялось вспомогательным разрядом по поверхности диэлектрика между катодом 1 и поджигающим электродом 5. Импульсное напряжение подавалось генератором поджигающего импульса 6. Горение основного дугового разряда обеспечивал блок питания разряда 7.

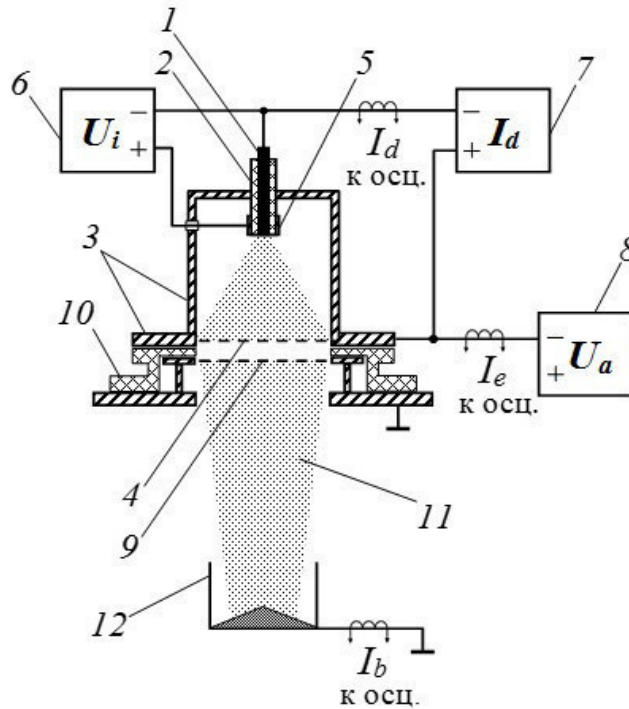


Рис. 1. Схема форвакуумного плазменного импульсного источника электронов и схема измерений:  
 1 – катод; 2 – анод; 3 – керамический изолятор; 4 – эмиссионный электрод; 5 – поджигающий электрод  
 (триггер); 6 – генератор поджигающих импульсов; 7 – блок питания разряда; 8 – блок питания  
 ускоряющего промежутка; 9 – экстрактор; 10 – капролоновый изолятор; 11 – пучок; 12 – цилиндр  
 Фарадея

Постоянное ускоряющее напряжение, формируемое блоком питания 8, подавалось между анодом и экстрактором 9. Для электрического разделения электродов ускоряющего промежутка использовался капролоновый изолятор 10.

Токи  $I_d$  разряда,  $I_e$  эмиссии регистрировались с помощью установленных в соответствующих цепях поясов Роговского, сигналы с которых подавались на осциллограф. Ток  $I_b$  электронного пучка 11 регистрировался цилиндром Фарадея 12 и поясом Роговского. Давление  $p$  регулировалось непосредственной подачей рабочего газа (воздуха) в вакуумную камеру.

**Результаты эксперимента.** Типичные осциллограммы импульсов токов разряда  $I_d$ , эмиссии  $I_e$  и пучка  $I_b$  представлены на рис. 2. Значения эмиссионного тока в представленных на рис. 3 вольтамперных характеристиках источника усреднены по импульсу. ВАХ имеют «классический» вид, характерный для источников с плазменным катодом [7]. Повышение давления газа при неизменном токе разряда приводит к увеличению тока эмиссии. Характер ВАХ источника при этом не изменяется.

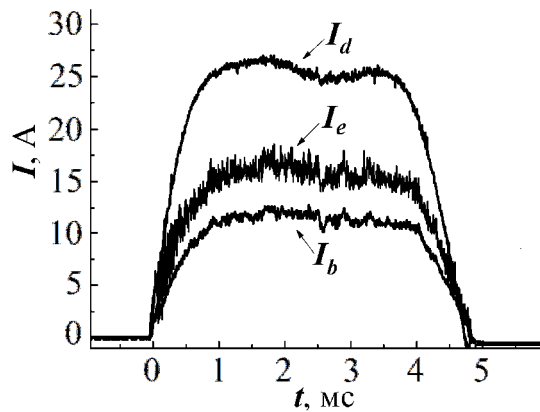


Рис. 2 Типичные осциллограммы импульсов токов  $I_d$  разряда,  $I_e$  эмиссии и пучка  $I_b$  при  $U_a = 7$  кВ и  $p = 3$  Па

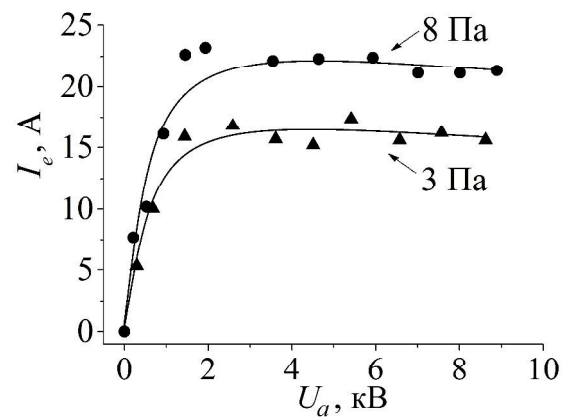


Рис. 3 Вольтамперные характеристики источника для различных давлений  $p$  газа при  $I_d = 26$  А

**Заключение.** Впервые продемонстрирована возможность получения квазинепрерывного пучка электронов длительностью импульса 4,2 мс (по полувысоте) из плазмы дугового разряда с катодным пятном в форвакуумном диапазоне давлений. В дальнейшем планируются детальные исследования такого рода пучков, направленные на выявление особенностей их генерации и транспортировки. Это позволит успешно применять миллисекундные электронные пучки для моноимпульсной обработки материалов, расширив, таким образом, сферу применений электронно-лучевых технологий.

Работа поддержана грантом РФФИ № 16-48-700487 р\_а и грантом Президента Российской Федерации МК-2703.2017.8.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современные тенденции модифицирования структуры и свойств материалов / Под общ. ред. Н.Н. Коваля и В.Е. Громова – Томск: Изд-во НТЛ, 2015. – 380 с.
2. Бурдовицин В.А. Структура поверхности алюмооксидной керамики при облучении импульсным электронным пучком / В.А. Бурдовицин, Э.С. Двилис, А.В. Медовник, Е.М. Окс, О.Л. Хасанов, Ю.Г. Юшков // Журнал технической физики. – 2013. – Т. 83, № 1. – С. 117–120.
3. Казаков А.В. Модификация поверхности полимерных материалов импульсным электронным пучком / А.В. Казаков и [др.] // Доклады ТУСУРа. – 2013. – № 4 (30). – С. 75–78.
4. Бурдовицин В.А. Потенциал диэлектрической мишени при ее облучении импульсным электронным пучком в форвакуумной области давлений / В.А. Бурдовицин, А.В. Медовник, Е.М. Окс, Е.В. Скоров, Ю.Г. Юшков // Журнал технической физики. – 2012. – Т. 82, № 10. – С. 103–108.
5. Казаков А.В. Форвакуумный импульсный плазменный источник электронов на основе дугового разряда / А.В. Казаков, В.А. Бурдовицин, А.В. Медовник, Е.М. Окс // ПТЭ. – 2013. – № 6. – С. 50–53.
6. Burdovitsin V.A. Generation of Quasi-Stationary Broad Pulsed Electron Beam by the Forevacuum Plasma Source Based on the Arc Discharge / V.A. Burdovitsin, A.V. Kazakov, A.V. Medovnik, E.M. Oks // Proc. 27th Internat. Symp. on Discharges and Electrical Insulation in Vacuum, China, 2016. – V. 2. – p. 754–757.
7. Крейнделъ Ю.Е. Плазменные источники электронов. – М.: Атомиздат, 1977. – 144 с.