

**Характеристики ВЧ катода-нейтрализатора при использовании аргона
в качестве рабочего газа**

*Д. А. Бондаренко, К. В. Вавилин, С. А. Двинин, И. И. Задириев, Е. А. Кралькина,
И. А. Лобастов, С. Ю. Маринин, А. М. Никонов, М. Ю. Селиванов*

Представлены первые результаты экспериментального исследования характеристик катода-нейтрализатора, рабочий процесс которого основан на индуктивном ВЧ-разряде в аргоне. Рассмотрен диапазон расходов аргона 4–10 см³/мин, диапазон мощностей ВЧ-генератора 35–150 Вт. Показано, что при достижении порогового значения напряжения между коллектором ионов и положительно заряженным относительно коллектора электродом (анодом) наблюдается скачкообразный рост электронного тока.

Ключевые слова: катод-нейтрализатор, индуктивный, высокочастотный, разряд, плазма, ионы, ток электронов.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-3-11-16

ЛИТЕРАТУРА

Бондаренко Дмитрий Алексеевич¹, инженер.

E-mail: i@dbondarenko.ru

Вавилин Константин Викторович², вед. инженер, к.ф.-м.н.

E-mail: viline@inbox.ru

Двинин Сергей Александрович², доцент, д.ф.-м.н.

Задириев Илья Игоревич², инженер, к.ф.-м.н.

Кралькина Елена Александровна², в.н.с., д.ф.-м.н.

E-mail: ekralkina@mail.ru

Лобастов Игорь Алексеевич³, инженер.

E-mail: lobastov@kerc.msk.ru

Маринин Сергей Юрьевич¹, нач. сектора.

Никонов Александр Михайлович², физик, к.ф.-м.н.

Селиванов Михаил Юрьевич³, в.н.с., к.т.н.

E-mail: Michael.selivanov@gmail.com

¹ АО «Корпорация «ВНИИЭМ».

Россия, 107078, Москва, Хоромный тупик, 4, стр. 1.

² Физический факультет МГУ.

Россия, 111991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 2.

³ АО ГНЦ «Центр Келдыша».

Россия, 125438, Москва, Онежская улица, 8.

Статья поступила в редакцию 04 марта 2022 г.

© Бондаренко Д. А., Вавилин К. В., Двинин С. А.,
Задириев И. И., Кралькина Е. А., Лобастов И. А.,
Маринин С. Ю., Никонов А. М., Селиванов М. Ю., 2022

*Исследование выполнено при частичной
финансовой поддержке РФФ в рамках
научного проекта № 21-72-10090.*

1. Kaufman H. R., Robinson R. S. Operation of Broad Beam Sources. – Alexandria: Commonwealth Scientific, 1984.

2. Goebel Dan M., Katz Ira. Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters. – California: Jet Propulsion Laboratory, 2008.

3. Гориков О. А., Муравьев В. А., Шагайда А. А., Коротеев А. С. Холловские и ионные плазменные двигатели для космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 2008.

4. Mazouffre S. // Plasma Sources Sci. Technol. 2016. Vol. 25. P. 033002.

5. Scholze F., Tartz B. M., Neumann H. // Review of scientific instruments. 2008. Vol. 79. P. 02B724.

6. Jahanbakhsh Sina, Satir Mert, Celik Murat // Review of scientific instruments. 2016. Vol. 87. P. 02B922.

7. Dietz Patrick, Beckery Felix, Keib Konstantin, Holstev Kristof, Klar Peter J. // IEPС-2019-207.

8. Scholze Frank, Spemann Daniel, Feili Davar // IEPС-2019-475.

9. Smirnov P., Smirnova M., Schein J., Khartov S. // IEPС-2019-840.

10. Hatakeyama Tomoyuki, Irie Masatoshi, Watanabe Hiroki, Okutsu Aasami, Aoyagi Junichiro, Takegahara Haruki // IEPС- 2007-226.

11. Godyak Valery, Raitses Yevgeny, Fisch Nathaniel J. // IEPС-2007-266.

12. Weis S., Schartner K. H., Lob H., Feili D. // IEPС-2005-086.

13. Longmier B. W., Hershkowitz H. // AIAA Paper 2005-3856, 2005.

14. Hidaka Y., Foster J., Getty W., Gilgenbach R., Lau Y. // *J. Vac. Sci. Technol.* 2007. Vol. A 25. P. 781.
15. Weatherford B., Foster J., Kamhawi H. // *Rev. Sci. Instrum.* 2011. Vol. 82. P. 093507.
16. Filatyev A. S., Yanova O. V. // *Acta Astronautica.* 2019. Vol. 158. P. 23.
17. Kralkina E. A., Rukhadze A. A., Pavlov V. B., Vavilin K. V., Nekliudova P. A., Petrov A. K., Alexandrov A. F. // *Plasma Sources Sci.&Technol.* 2016. Vol. 25. P. 015016. <https://doi.org/10.1063/1.5023631>.
18. Jahanbakhsh Sina, Celik Murat // 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference. 2014.

PACS 52.80.-s, 52.80.Pi

Characteristics of RF cathode-neutralizer using argon as the working gas

D. A. Bondarenko¹, K. V. Vavilin², S. A. Dvinin², I. I. Zadiriev², E. A. Kralkina²,
I. A. Lobastov³, S. Yu. Marinin¹, A. M. Nikonov², and M. Yu. Selivanov³

¹VNIIEM Corporatopn JC
Bd. 1, 4 Khoromnyi tupik, Moscow, 107078, Russia
E-mail: i@dbondarenko.ru

²Physical faculty of Lomonosov Moscow State University
Bd 2, 1 Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia

³Keldysh Research Center
8 Onezskaya st., Moscow, 125438, Russia

Received March 04, 2022

The paper presents the first results of an experimental study of the cathode-neutralizer characteristics, the working process of which is based on an inductive RF discharge in argon. The range of argon flow rates is 4–10 cm³/min, the power range of the RF generator is 35–150 W. It is shown that when the threshold voltage between the ion collector and the electrode (anode) positively charged with respect to the collector is reached, an abrupt increase in the electron current is observed.

Keywords: cathode-neutralizer, inductive, radio-frequency, discharge, plasma, ions, electron current.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-3-11-16

REFERENCES

1. H. R. Kaufman and R. S. Robinson, *Operation of Broad Beam Sources* (Alexandria, Commonwealth Scientific, 1984).
2. Dan M. Goebel and Ira Katz, *Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters* (California, Jet Propulsion Laboratory, 2008).
3. O. A. Gorshkov, V. A. Muraviev, A. A. Shagayda, and A. S. Koroteev, *Hall and Ion Plasma Thrusters for Spacecraft* (Moscow, Mashinostroyeniye, 2008) [in Russian].
4. S. Mazouffre, *Plasma Sources Sci. Technol.* **25**, 033002 (2016).
5. F. Scholze, B. M. Tartz, and H. Neumann, *Review of scientific instruments* **79**, 02B724, (2008).
6. Sina Jahanbakhsh, Mert Satir, and Murat Celik, *Review of scientific instruments* **87**, 02B922 (2016).
7. Patrick Dietz, Felix Beckery, Konstantin Keib, Kristof Holstev, and Peter J. Klar, in *Proceedings of International Electric Propulsion Conference* (Vienna, 2019), p. 207.
8. Frank Scholze, Daniel Spemann, and Davar Feili, in *Proceedings of International Electric Propulsion Conference* (Vienna, 2019), p. 475.
9. P. Smirnov, M. Smirnova, J. Schein and S. Khartov, in *Proceedings of International Electric Propulsion Conference* (Vienna, 2019), p. 840.

10. Tomoyuki Hatakeyama, Masatoshi Irie, Hiroki Watanabe, Aasami Okutsu, Junichiro Aoyagi, and Haruki Takegahara, in *Proceedings of International Electric Propulsion Conference* (Florence, 2007), p. 226.
11. Valery Godyak, Yevgeny Raitses, and Nathaniel J. Fisch, in *Proceedings of International Electric Propulsion Conference* (Florence, 2007), p. 266.
12. S. Weis, K. H. Schartner, H. Lob, and D. Feili, in *Proceedings of International Electric Propulsion Conference* (Princeton, 2005), p. 086.
13. B. W. Longmier and N. Hershkowitz, AIAA Paper 2005-3856 (2005).
14. Y. Hidaka, J. Foster, W. Getty, R. Gilgenbach, and Y. Lau, *J. Vac. Sci. Technol.* **A25**, 781 (2007).
15. B. Weatherford, J. Foster, and H. Kamhawi, *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 093507 (2011).
16. A. S. Filatyev and O. V. Yanova, *Acta Astronautica* **158**, 23 (2019).
17. E. A. Kralkina, A. A. Rukhadze, V. B. Pavlov, K. V. Vavilin, P. A. Nekliudova, A. K. Petrov, and A. F. Alexandrov, *Plasma Sources Sci. Technol.* **25**, 015016 (2016).
18. Sina Jahanbakhsh and Murat Celik, in *Proceedings of 50th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference*, (Cleveland, 2014).