

Генерация пучков многозарядных ионов тантала в вакуумном дуговом ионном источнике с субмикросекундной длительностью импульса

А. Г. Николаев, В. П. Фролова, Г. Ю. Юшков

В вакуумных дуговых ионных источниках, функционирующих при амплитуде импульса тока дуги в сотни ампер и длительности импульса более десятков микросекунд, средняя зарядность ионов материала катода в ионном пучке находится в пределах от 1+ для углерода до около 3+ для тяжелых металлов. Повышение зарядовых состояний ионов плазмы вакуумной дуги позволяет обеспечить увеличение энергии ионов в извлекаемом пучке без соответствующего повышения ускоряющего напряжения, либо наоборот, получить ионы с заданной энергией при существенно меньшем ускоряющем напряжении. Это расширяет возможности ионных источников при решении задач науки и практики. Зарядовые состояния ионов могут быть существенно увеличены в случае вакуумной дуги с субмикросекундной длительностью импульса. В данной статье представлено исследование процессов генерации пучков многозарядных ионов тяжелых металлов на примере ионов тантала. За счет сокращения длительности импульса тока дуги до субмикросекундного уровня были получены рекордные для тантала зарядовые состояния вплоть до 13+ при среднем заряде ионов тантала в пучке 11+.

Ключевые слова: вакуумный дуговой ионный источник, многозарядные ионы, ионы тяжелых металлов, ионный пучок.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-3-30-36

Николаев Алексей Геннадьевич¹, с.н.с., к.т.н.

E-mail: nik@opee.hcei.tsc.ru

Фролова Валерия Петровна^{1,2}, н.с., доцент, к.т.н.

Юшков Георгий Юрьевич¹, гл.н.с., д.т.н.

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН.

Россия, 634055, г. Томск, просп. Академический, 2/3.

² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники.

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

Статья поступила в редакцию 06 мая 2022 г.

© Николаев А. Г., Фролова В. П., Юшков Г. Ю., 2022

*Работа была выполнена при поддержке
гранта Российского Научного Фонда
№ 22-29-00118.*

ЛИТЕРАТУРА

1. Reich H., Spaedtke P. and Oks E. M. // Rev. Sci. Instrum. 2000. Vol. 71. P. 707.

2. Adonin A., Hollinger R. // Rev. Sci. Instrum. 2018. Vol. 89. P. 052304.

3. Nikolaev A., Oks E. M., Savkin K., Yushkov G. Yu., Brenner D. J., Johnson G., Randers-Pehrson G., Brown I. G., MacGill R. A. // Surf. Coat. Technol. 2007. Vol. 201. P. 8120.

4. Nikolaev A. G., Oks E. M., Savkin K. P., Yushkov G. Yu., Brown I. G. // Rev. Sci. Instrum. 2012. Vol. 83. P. 02A501.

5. Anders A. // Phys. Rev. E. 1997. Vol. 55. P. 969.

6. Николаев А. Г., Окс Е. М., Юшков Г. Ю. // ЖТФ. 1998. Т. 68. № 5. С. 39.

7. Yushkov G., Oks E., Anders A., Brown I. // J. Appl. Phys. 2000. Vol. 87. P. 8345.

8. Бугаев А. С., Гушенец В. И., Юшков Г. Ю., Окс Е. М., Андерс А., Браун Я., Гершкович А., Шнедеке П. // Изв. Вузов. Физика. 2001. Т. 44. № 9. С. 15.

9. Vodopyanov A. V., Golubev S. V., Khizhnyak V. I., Mansfeld D. A., Nikolaev A. G., Oks E. M., Savkin K. P., Vizir A. V., Yushkov G. Yu. // Rev. Sci. Instrum. 2008. Vol. 79. P. 02B304

10. Водопьянов А. В., Голубев С. В., Мансфельд Д. А., Николаев А. Г., Окс Е. М., Разин С. В., Савкин К. П., Юшков Г. Ю. // ЖТФ. 2005. Т. 75. № 9. С. 101.

11. Yushkov G. Yu., Anders A. // Appl. Phys. Lett. 2008. Vol. 92. P. 041502.

12. Yushkov G. Yu., Frolova V. P., Nikolaev A. G., Oks E. M. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2019. Vol. 47. P. 3586.

13. Yushkov G. Yu., Nikolaev A. G., Frolova V. P., Oks E. M., Rousskikh A. G., Zhigalin A. S. // Physics of Plasmas. 2017. Vol. 24. P. 123501.

14. Nikolaev A. G., Yushkov G. Yu., Savkin K. P., Oks E. M. // IEEE Trans. Plasma Sci. 2013. Vol. 41. P. 1923.

15. Бугаев А. С., Гушенец В. И., Николаев А. Г., Окс Е. М., Юшков Г. Ю. // Изв. Вузов. Физика. 2000. Т. 43. № 2. С. 21.

PACS: 52.80.Vp

Generation multiply charged tantalum ion beams in a vacuum arc ion source with a submicrosecond pulse duration

A. G. Nikolaev¹, V. P. Frolova^{1,2}, and G. Yu. Yushkov¹

¹ Institute of High Current Electronics SB RAS
2/3 Academicheskoy Ave., Tomsk, 634055, Russia
E-mail: nik@opee.hcei.tsc.ru

² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics
40 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russia

Received May 06, 2022

In vacuum arc ion sources operating at an arc current pulse amplitude of hundreds of amperes and a pulse duration of more than tens of microseconds, the average charge of the cathode material ions in the ion beam ranges from 1+ for carbon to about 3+ for heavy metals. An increase in the charge states of the vacuum arc plasma ions makes it possible to increase the ion energy in the extracted beam without a corresponding increase in the accelerating voltage, or vice versa, to obtain ions with a given energy at a significantly lower accelerating voltage. This expands the possibilities of ion sources in solving problems of science and practice. The charge states of the ions can be significantly increased in the case of a vacuum arc with a submicrosecond pulse duration. This article presents a study of the processes of generation of beams of multiply charged heavy metal ions using the example of tantalum ions. By reducing the duration of the arc current pulse to a submicrosecond level, charge states record for tantalum up to 13+ were obtained at an average charge of tantalum ions in the beam 11+.

Keywords: vacuum arc ion source, high charge state ions, heavy metal ions, ion beam.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-3-30-36

REFERENCES

1. H. Reich, P. Spaedtke, and E. M. Oks, Rev. Sci. Instrum. **71**, 707 (2000).
2. A. Adonin and R. Hollinger, Rev. Sci. Instrum. **89**, 052304 (2018).
3. A. Nikolaev, E. M. Oks, K. Savkin, G. Yu. Yushkov, D. J. Brenner, G. Johnson, G. Randers-Pehrson, I. G. Brown, and R. A. MacGill, Surf. Coat. Technol. **201**, 8120 (2007).
4. A. G. Nikolaev, E. M. Oks, K. P. Savkin, G. Y. Yushkov, and I. G. Brown, Rev. Sci. Instrum. **83**, 02A501 (2012).
5. A. Anders, Phys. Rev. E **55**, 969 (1997).
6. A. G. Nikolaev, E. M. Oks, and G. Yu. Yushkov, Technical Physics **43**, 514, (1998).
7. G. Yushkov, E. Oks, A. Anders, and I. Brown, J. Appl. Phys. **87**, 8345 (2000).
8. A. S. Bugaev, V. I. Gushenets, G. Y. Yushkov, E. M. Oks, A. Anders, I. Brown, A. Gershkovich, and P. Spadke, Rus. Phys. J. **44**, 912 (2001).

9. A. V. Vodopyanov, S. V. Golubev, V. I. Khizhnyak, D. A. Mansfeld, A. G. Nikolaev, E. M. Oks, K. P. Savkin, A. V. Vizir, and G. Yu. Yushkov, *Rev. Sci. Instrum.* **79**, 02B304 (2008).
10. A. V. Vodopyanov, S. V. Golubev, D. A. Mansfeld, S. V. Razin, A. G. Nikolaev, E. M. Oks, K. P. Savkin, and G. Yu. Yushkov, *Technical Physics* **50**, 1207 (2005).
11. G. Yu. Yushkov and A. Anders, *Appl. Phys. Lett.* **92**, 041502 (2008).
12. G. Yu. Yushkov, V. P. Frolova, A. G. Nikolaev, and E. M. Oks, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **47**, 3586 (2019).
13. G. Yu. Yushkov, A. G. Nikolaev, V. P. Frolova, E. M. Oks, A. G. Rousskikh, and A. S. Zhigalin, *Physics of Plasmas* **24**, 123501 (2017).
14. A. G. Nikolaev, G. Yu. Yushkov, K. P. Savkin, and E. M. Oks, *IEEE Trans. Plasma Sci.* **41**, 1923 (2013).
15. A. S. Bugaev, V. I. Gushenets, A. G. Nikolaev, E. M. Oks, and G. Y. Yushkov, *Russ. Phys. J.* **43**, 96 (2000).