

## Применение метода двухспектральной пирометрии для измерения температуры поверхности материалов, находящихся под воздействием плазменной струи

Г. Ю. Сотникова, С. А. Александров, А. В. Воронин, Н. А. Уржумцев

*Обоснован выбор радиационного высокоскоростного метода измерения температуры поверхности объекта, находящегося под воздействием струи водородной плазмы. Проведена теоретическая оценка вклада интенсивности рекомбинационного и тормозного излучения плазмы на показания пирометра, из которой следует, что при определенных условиях водородную плазму можно считать прозрачной для теплового излучения в области длин волн среднего ИК-диапазона спектра (MWIR).*

*Рассмотрен инфракрасный пирометр спектрального отношения, выполненный на не охлаждаемой двухспектральной фотодиодной MWIR сэндвич-структуре, разработанный для контроля температуры исследуемого объекта в экспериментальной установке водородной плазменной пушки. Приведены экспериментальные результаты мониторинга температуры поверхности образцов композитных материалов в процессе импульсного воздействия плазмы.*

*Ключевые слова:* пирометр спектрального отношения, MWIR фотодиодный сэндвич, композитные материалы, водородная плазма, пристеночная плазма.

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-5-88-94

**Сотникова Галина Юрьевна**<sup>1</sup>, с.н.с., к.ф.-м.н.  
E-mail: gga\_holo@mail.ru. g.sotnikova@mail.ioffe.ru  
**Александров Сергей Евгеньевич**<sup>1</sup>, н.с.  
**Воронин Александр Васильевич**<sup>1</sup>, с.н.с., к.т.н.  
**Уржумцев Никита Алексеевич**<sup>1,2</sup>, лаборант, студент.  
<sup>1</sup> ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН.  
Россия, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26.  
<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения.  
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая  
Морская, 67, лит. А.

Статья поступила в редакцию 28 июля 2022 г.

© Сотникова Г. Ю., Александров С. Е., Воронин А. В.,  
Уржумцев Н. А., 2022

### ЛИТЕРАТУРА

1. Pitts A., Carpentier S., Escourbiac F., Hirai T., Komarov V., Ligo S., Kukushkin A. S., Loarte A., Merola M., Sashala Naik A., Mitteau R., Sugihara M., Bazylev B., Stangeby P. C. // Journal of Nuclear Materials.

2013. Vol. 438. P. 48.

2. Ueda Y., Coenen J. W., De Temmerman G., Doerner R. P., Linke J., Philipps V., Tsitron E. // Fusion Engineering and Design. 2014. Vol. 89. P. 901.

3. Российская метрологическая энциклопедия. – СПб: Метрологическая академия РФ, 2001.

4. Воронин А. В., Судьенков Ю. В., Семенов Б. Н., Апрошенко С. А., Наумова Н. С. // ЖТФ. 2014. Т. 84 (7). С. 36.

5. Лукьянов С. Ю. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. – М.: Наука, 1975.

6. Фрунзе А. // Фотоника. 2009. № 4. С. 32.

7. Воронин А. В., Гусев В. К., Герасименко Я. А., Судьенков Ю. В. // ЖТФ. 2013. Т. 83 (8). С. 36.

8. www.ioffeled.com

9. Александров С. Е., Гаврилов Г. А., Сотникова Г. Ю., Тер-Мартirosян А. Л. // ФТП. 2014. Т. 48. С. 135.

10. Гаврилов Г. А., Матвеев Б. А., Сотникова Г. Ю. // Письма ЖТФ. 2011. Т. 37 (18). С. 50.

11. Криксунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Советское радио, 1978.

12. PYROMETER OVERVIEW. <https://www.advancedenergy.com>

## Two-color pyrometry methods for measuring the surface temperature of materials exposed to a plasma jet

G. Yu. Sotnikova<sup>1</sup>, S. A. Alexandrov<sup>1</sup>, A. V. Voronin<sup>1</sup>, and N. A. Urzhumtsev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Ioffe Institute

26 Politekhnikeskaya st., St. Petersburg, 194021, Russia  
E-mail: gga\_holo@mail.ru. g.sotnikova@mail.ioffe.ru

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation  
67 Bolshaya Morskaya st., St. Petersburg, 190000, Russia

Received July 28, 2022

***The choice of a radiation high-speed non-contact method for measuring the surface temperature of an object under the influence of a hydrogen plasma jet is substantiated.***

***A theoretical assessment was made of the contribution of the intensity of recombination and bremsstrahlung plasma radiation to the pyrometer readings. It is shown that under certain conditions hydrogen plasma can be considered transparent to the thermal radiation of the material in the mid-IR wavelength (MWIR) range of 3–5 μm.***

***An infrared spectral ratio pyrometer based on an uncooled two-spectral MWIR photodiode sandwich structure designed to control the temperature of an object under study in an experimental setup of a hydrogen plasma gun is considered. The experimental results of monitoring the surface temperature of some composite materials samples in the process of pulsed plasma exposure are presented.***

**Keywords:** spectral ratio pyrometer, two-spectral MWIR photodiode sandwich, composite materials, hydrogen plasma, plasma-wall interaction

DOI: 10.51368/1996-0948-2022-5-88-94

### REFERENCES

1. R. A. Pitts, S. Carpentier, F. Escourbiac, T. Hirai, V. Komarov, S. Lisgo, A. S. Kukushkin, A. Loarte, M. Merola, A. Sashala Naik, R. Mitteau, M. Sugihara, B. Bazylev, and P. C. Stangeby, *Journal of Nuclear Materials* **438**, 48 (2013).
2. Y. Ueda, J. W. Coenen, G. De Temmerman, R. P. Doerner, J. Linke, V. Philipps, and E. Tsitron, *Fusion Engineering and Design* **89**, 901 (2014).
3. *Russian metrological encyclopedia*. (St. Petersburg, Metrological Academy of the Russian Federation, 2001) [in Russian].
4. A. V. Voronin, Y. V. Sud'enkov, B. N. Semenov, S. A. Atroshenko, and N. S. Naumova, *Tech. Phys.* **59** (7), 981 (2014).
5. S. Yu. Lukyanov, *Hot plasma and controlled nuclear fusion*. (Nauka, Moscow, 1975) [in Russian].
6. A. Frunze, *Photonics Russia*, No. 4, 32 (2009).
7. A. V. Voronin, V. K. Gusev, Y. A. Gerasimenko, and Y. V. Sud'enkov, *Tech. Phys.* **58** (8), 1122 (2013).
8. www.ioffeled.com
9. S. E. Aleksandrov, G. A. Gavrilov, G. Y. Sotnikova, and A. L. Ter-Martirosyan, *Semiconductors* **48** (1), 129 (2014).
10. G. A. Gavrilov, B. A. Matveev, and G. Y. Sotnikova, *Tech. Phys. Lett.* **37** (9), 866 (2011).
11. L. Z. Kriksunov, *Reference book on the basics of infrared technology*. (Soviet radio, Moscow, 1978) [in Russian].
12. PYROMETER OVERVIEW. www.advancedenergy.com