ГОРЕНИЕ И ВЗРЫВ, 2026. Том 19. №2. С. 67–76

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ ПИРОМЕТРИИ ЭВОЛЮЦИИ РАЗМЕРА И ТЕМПЕРАТУРНОЙ КИНЕТИКИ ЛЕТЯЩИХ ЧАСТИЦ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ ПРОДУКТОВ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ САПФИРА*

Д. Сидельников[1], М. Н. Ларичев[2], Г. Е. Беляев[3]

Аннотация: Методом оптической двухлучевой пирометрии исследована температурная кинетика и эволюция размера отдельно летящих микрочастиц конденсированной фазы (КФ) оксида алюминия, образующихся в процессе лазерной абляции сапфира в вакуум. Для анализа экспериментальных результатов была разработана математическая модель, описывающая охлаждение изотропно излучающей капли расплава за счет излучения и испарения вещества с ее поверхности. Среди зарегистрированных частиц размером от 20 до 300 мкм были выявлены частицы, скорости остывания которых превышают предсказанные данной моделью значения. Это позволило оценить эффективную теплоемкость и сделать выводы о возможной структуре летящих частиц, в частности различать летящие раздутые субоксидами алюминия замкнутые оболочки (пузыри) и капли. С целью углубленного изучения свойств пузырей и раздувающих их субоксидов алюминия предложен вариант усовершенствования конструкции двухлучевого пирометра и проведено математическое моделирование его предполагаемой оптической системы. Результаты работы имеют значение для фундаментальных и прикладных задач, связанных с высокотемпературным образованием оксидов алюминия, а также с методами высокоэнергетического воздействия, включая лазерное воздействие, на содержащие алюминий и его оксид вещества и материалы.

Ключевые слова: оксид алюминия; лазерная абляция; тепловой взрыв; субоксиды алюминия; температурная кинетика продуктов лазерной абляции; рекомбинация субоксидов алюминия; тепловые потери; оптическая пирометрия

DOI: 10.30826/CE26190207 **EDN:** WWURHC

Литература

1. *Walker F. E., Wasley R. J.* Critical energy for shock initiation of heterogeneous explosives // Explosivstoffe, 1969.Vol. 17. No. 1. P. 9–13.
2. *Chen J., Peng F., Tian B., et al.* Simultaneous temperature and particle size measurement of burning iron particles using a single color camera / Measurement, 2025. Vol. 241. P. 115679.
3. *Wang Z., Zhang J., Li Y., et al.* A highly spatiotemporal resolved pyrometry for combustion temperature measurement of single microparticles applied in powder-fueled ramjets // Nanomaterials — Basel, 2025. Vol. 15. No. 3. P. 223.
4. *Pakhomov A. V., Thompson M. S., Gregory D. A.* Laser-induced phase explosions in lead, tin and other elements: Microsecond regime and UV-emission // J. Phys. D Appl. Phys., 2003. Vol. 36. No. 17. P. 2067.
5. *Song N., Wu Y., Yuan G., et al.* Investigation of the effects of alumina particle phase transition on internal flow field and engine performance in solid rocket motors // Phys. Fluids, 2024. Vol. 36. No. 12.
6. *Larichev M. N., Belyaev G. E., Stepanov I. G., et al.* Application of two-color pyrometer for studying of flying luminous particles: Products of alumina laser ablation // Rev. Sci. Instrum., 2019. Vol. 90. P. 043904.
7. *Paradis P.-F., Ishikawa T., Saita Y., Yoda S.* Non-contact thermophysical property measurements of liquid and undercooled alumina // Jpn. J. Appl. Phys., 2004. Vol. 43. No. 4A. P. 1496–1500.
8. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / Под ред. В. П. Глушко. — М.: Наука, 1978–1982.
9. *Persad A. H., Ward C. A.* Expressions for the evaporation and condensation coefficients in the Hertz–Knudsen relation // Chem. Rev., 2016. Vol. 116. No. 14. P. 7727–7767.

*Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований РАН и имела государственное финансирование (номер ГЗ FFZE-2025-0030). Авторы выражают благодарность студентам факультета фундаментальной физико-химической инженерии МГУ им. М. В. Ломоносова Марии Владимировне Абрамовой и Всеволоду Максимовичу Закутаеву за участие в выполнении настоящей работы.

[1]Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, sidelnikov.d@phystech.edu

[2]Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, mlarichev@chph.ras.ru

[3]Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н. Н. Семёнова Российской академии наук, belyaev_g@yahoo.com

10. *Zhao H., Nadal F.* Droplet evaporation in inert gases // J. Fluid Mech., 2023. Vol. 958. P. A18.
11. *Safarian J., Engh T. A.* Vacuum evaporation of pure metals // Metall. Mater. Trans. A, 2013. Vol. 44. No. 2. P. 747–753.
12. *Снегирёв А. Ю., Сажин Се. С., Талалов В. А.* Модель и алгоритм расчета теплообмена и испарения капель диспергированной жидкости // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки, 2011. № 1(116). С. 44–55.
13. *Yan Z., Zhao Q., Chrisey D. B.* Structural evolution of hollow Al_2O_3 particles formed on excimer laser-induced bubbles // Mater. Chem. Phys., 2011. Vol. 130. No. 1-2. P. 403–408.
14. *Ларичев М. Н., Величко А. М., Беляев Г. Е., Никитин А. И., Осокин А. С., Сигачева И. А., Артемов В. В., Янилкин И. В.* Исследование конденсированной фазы, образующейся при взаимодействии мощного лазерного импульса с кристаллическим оксидом алюминия // Известия Российской академии наук. Сер. физическая, 2016. Т. 80. № 12. С. 1690–1694.

Поступила в редакцию 01.12.2025
После доработки 05.02.2026
Принята к публикации 09.02.2026