

03;12

## Пирометрические зонды на основе кристаллов карбида кремния

© В.А. Карачинов, С.В. Ильин, Д.В. Карачинов

Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого  
E-mail: svyaz.@novgorod.net

Поступило в Редакцию 12 января 2005 г.

Предложен и исследован новый класс карбидокремниевых зондов — пирометрические зонды, позволяющие измерять температуру нагретых газовых потоков.

1. Измерение температур раскаленных газовых потоков представляет интерес как для проведения фундаментальных исследований, так и для диагностики различных технических систем (газосварочное оборудование, металлургические печи, реактивные двигатели и др.) [1–3]. Известно, что оптические бесконтактные методы в виде пирометрии и спектроскопии обеспечивают регистрацию максимальных или средних температур газового потока. В то же время для измерения распределения температур в выделенных сечениях потока преимущественно используются зондовые методы на основе термоприемников (термопары, калильные трубки) [3,4]. Такие зонды, выполненные из традиционных материалов, обладают не только значительной тепловой инерцией, но и подвержены быстрой деградации из-за высокой реакционной способности раскаленных газов. Среди тугоплавких соединений, способных выдерживать на воздухе тепловые нагрузки свыше  $1000^{\circ}\text{C}$ , значительный интерес для решения ряда задач пирометрии представляет карбид кремния [5]. Изделия из этого материала в виде поликристаллических силитовых нагревателей и глобаров известны давно, а тонкопленочные структуры „карбид кремния на изоляторе“ находят применение в современной ИК-спектроскопии [6].

В данном сообщении приводятся результаты исследований, направленных на создание карбидокремниевых пирометрических зондов (микробиолучателей) для измерения температур нагретых газовых потоков.

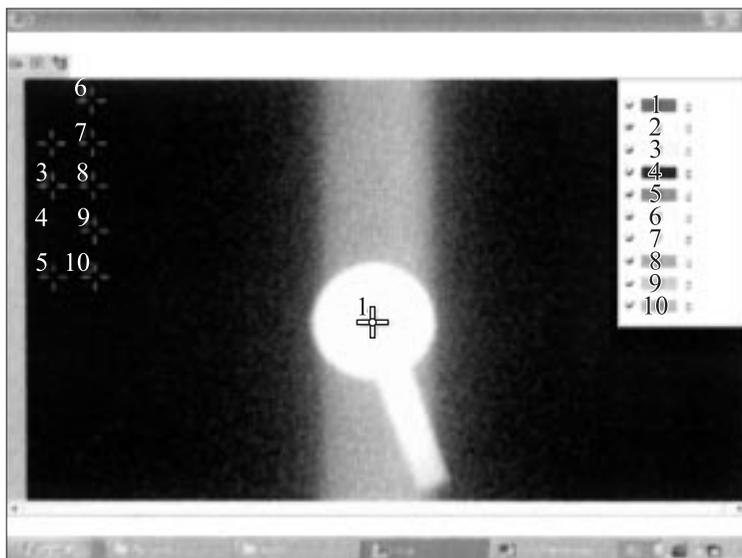
Температура эксплуатации зонда, К	1073	1313	1873
Критическое значение скорости, m/s	Продольный обдув		
	585	650	390
	Поперечный обдув		
	390	430	260

2. Пирометрические зонды, как одиночные, так и многоэлементные, изготавливались из монокристаллического SiC методами эрозионного профилирования в жидком диэлектрике [7,8]. Использовались кристаллы 6Н-SiC(N), полученные методами Лели и „ЛЭТИ“ с концентрацией нескомпенсированных доноров  $N_d - N_a = (1 \div 3) \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  без видимых макродефектов. После операции резки проводились химическое травление зондов в расплавке KOH при температуре  $T = 600^\circ\text{C}$  и последующая установка их на цилиндрические держатели из поликристаллического SiC. Ввод зонда в заданную точку исследуемого газового потока осуществлялся с помощью позиционера (точность установки  $\pm 0.5 \text{ mm}$ ).

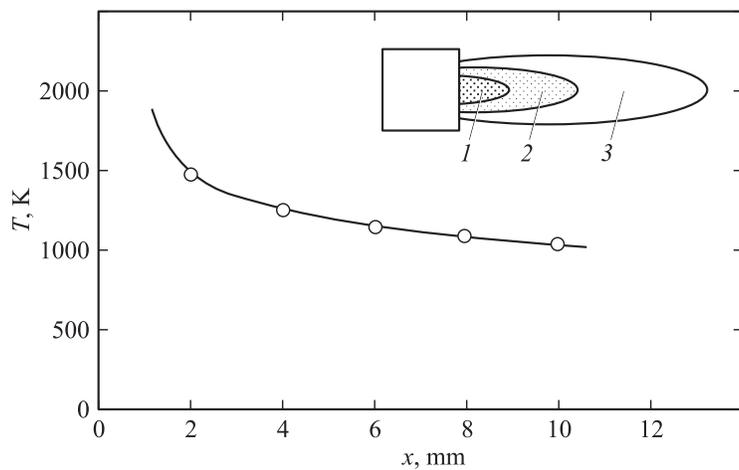
Визуализация изображений зондов и измерение температур выполнялись с помощью телевизионной пирометрической системы „Пиротел-К“ ( $\lambda \cong 0.6 - 0.72 \mu\text{m}$ ) [9]. В ней использовалась специальная программа „Парус“, которая могла обеспечить работу с десятью зондами одновременно. Роль эталонного термоприемника в экспериментах выполняла термopара — ТХА [3].

3. Расчеты термомеханических характеристик [10] позволили адаптировать конструкции пирометрических зондов к конкретному диапазону скоростей газового потока, механическим нагрузкам и тепловой инерции. Так, для зондов с плоской излучающей площадкой в форме круга диаметром  $d = 1 \text{ mm}$  на прямоугольном основании  $a \times b \times h = 0.6 \times 0.45 \times 5 \text{ mm}$  определены критические значения скорости набегающего потока воздуха в интервале температур  $T_B = 800 \div 1600^\circ\text{C}$ , при которых происходит их разрушение.

На рис. 1, 2 приведены пример использования SiC-пирометрического зонда для измерения температуры пламени газового микропаяльника и одномерное температурное поле в области факела. Эксперименты показали, что в диапазоне „умеренных“ скоростей газового потока ( $v \leq 50 \text{ m/s}$ ) точность измерения температуры данным типом зонда составила  $5 \div 7\%$  и определялась в основном методическими погреш-



**Рис. 1.** SiC-пирометрический зонд в факеле микропаяльника. Продольный обдув. Фото (главное окно программы „Парус“).



**Рис. 2.** График распределения яркостной температуры по длине факела. Эксперимент. 1 — ядро; 2 — зона восстановления; 3 — факел.

ностями, обусловленными теплопроводностью (наличием кондуктивных связей крепежа) и лучистым теплообменом (изменение коэффициента излучения поверхности SiC). Следует отметить важное преимущество SiC-зондов, заключающееся в том, что с ростом температуры уменьшается коэффициент теплопроводности материала [11] и, как следствие, снижается кондуктивный отвод теплового потока от излучающей площадки.

4. В заключение приведем основные результаты работы.

А. Предложен и апробирован новый класс SiC-зондов — пирометрические зонды.

Б. Определены критические значения скорости потока воздуха, при которых происходит разрушение SiC-зондов.

В. Классифицированы основные источники методической погрешности измерения температуры газового потока SiC-зондами.

Работа была частично поддержана Российским Федеральным агентством по образованию, грант А04–3.20–536.

## Список литературы

- [1] Хауф В., Григуль У. Оптические методы в теплопередаче. М.: Мир, 1973. 240 с.
- [2] Elder M.L., Winefordner J.D. // Prog. analit. atom. Spectrosc. 1983. V. 6. P. 293–427.
- [3] Григорьев В.А., Зорин В.М. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Т. 2. М.: Энергоатомиздат, 1988. 560 с.
- [4] Гордов А.Н. Основы пирометрии. М.: Metallurgy, 1971. 447 с.
- [5] Самсонов Г.В., Виницкий И.М. Тугоплавкие соединения. М.: Metallurgy, 1976. 560 с.
- [6] Корляков А.В., Костромин С.В., Косырева М.М. и др. // Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 12. С. 109–114.
- [7] Баженов О.Г., Карачинов В.А. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. В. 21. С. 26–29.
- [8] Карачинов В.А. // Патент 2189664 РФ МКИ<sup>7</sup> H01L 21/461. Б.И.2002. № 26.
- [9] Карачинов В.А., Ильин С.В., Торицин С.Б. и др. // Материалы VI Междунар. конфер. „Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение“. Александров: ВНИИ СИМС, 8–12 сентября, 2003. С. 91–92.
- [10] Жилин В.Г. Волоконно-оптические измерительные преобразователи скорости и давления. М.: Энергоатомиздат, 1987. 112 с.
- [11] Burgemeister E.A., Muench W., Pettenpaul E. // J. Appl. Phys. 1979. V. 50. N 9. P. 5790–5794.