

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦИРКОНИЯ И ГАФНИЯ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

А. В. Дороватовский, М. А. Шейндлин, Д. В. Минаков

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

В данной работе выполнялись измерения зависимости энтальпии, электрического сопротивления, коэффициента теплового расширения от температуры для металлических циркония и гафния в диапазоне давлений от 1 до 4000 бар с применением имеющейся установки для измерения термодинамических свойств электропроводных материалов методом импульсного нагрева электрическим током [1, 2]. Данная методика позволяет измерять свойства в широком диапазоне температур, на несколько тысяч кельвинов превышающих температуру плавления при сохранении формы образца за счет сил инерции. Типичный темп нагрева в применяемой установке составляет около $1,5 \cdot 10^8$ К/с. Температура регистрировалась специально разработанным широкодиапазонным пирометром с диапазоном регистрируемых температур не менее 1300–6000 К. Кроме этого, для ряда металлов производилось измерение изменения температуры плавления в зависимости от давления, что позволяет оценить наклон кривой плавления на участке до 4000 бар. Методика базируется на предположении о независимости излучательной способности металлов от давления. Проведение такого эксперимента осложняется высокими требованиями к стабильности пирометра и оптического тракта. Одним из важных факторов является изменение коэффициента преломления газа, и следовательно, коэффициента пропускания на границе газ-сапфир. Для рассматриваемых металлов изменение сигнала пирометра за счет коэффициента пропускания оптической системы сопоставимо с изменением яркости излучения при росте температуры плавления. Ранее попытка оценить наклон кривой плавления тугоплавкого металла предпринималась в эксперименте по импульсному нагреву вольфрамовой проволоки в капилляре [3]. Такой подход является менее точным, чем используемый в данной работе, так как не позволяет контролировать давление, которое определяется косвенными измерениями, однако требования к погрешности пирометрических измерений в этом случае менее строгие.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 20-79-10398).

Литература

1. **Dorovatovsky, A. V.** Direct Measurement of Zirconium Melting Line up to 4 kbar by Isobaric Pulse Heating Method [Text] / A. V. Dorovatovsky, M. A. Sheindlin, D. V. Minakov // High Temp. – 2023. – Vol. 61, No. 6. – P. 871–874.
 2. **Paramonov, M. A.** High-temperature thermophysical properties of liquid zirconium: Quantum molecular dynamics and pulse heating experiment [Text] / M. A. Paramonov, D. V. Minakov, A. V. Dorovatovsky et al. // Phys. Rev. B. – 2024. – Vol. 110, No. 18. – P. 184204.
 3. **Kloss, A.** Scanning The Melting Curve Of Tungsten By A Submicrosecond Wire-Explosion Experiment [Text] / A. Kloss, H. Hess, H. Schneidenbach, R. Grossjohann // Int. J. Thermophys. – 1999. – Vol. 20, No. 4. – P. 1199–1209.
-