

РАСЧЁТ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ ОЛОВА ^{*)}

Апфельбаум Е.М.

ОИВТ РАН, apfel_e@mail.ru

Исследования теплофизических свойств (термодинамических и переносных) нужны для самых разных фундаментальных и прикладных задач в различных областях физики, включая и физику плазмы [1]. Поэтому их изучение продолжается уже на протяжении более века и к настоящему моменту времени есть необходимые данные для многих веществ в самых различных областях фазовой диаграммы, включая и труднодоступные для измерений области, такие как плазма [2]. Тем не менее, остаются ещё вещества, для которых такие данные отсутствуют. К ним в частности, относится и олово причём именно в области низкотемпературной плазмы (далее НТП).

Олово (Sn) обладает сравнительно низкой температурой плавления $T_m = 505.08$ К. Поэтому рассматриваемые теплофизические свойства Sn в области жидкости были достаточно точно измерены уже полвека назад [3] до приблизительно температуры кипения $T_{Boil} = 2875$ К. Есть и самые современные данные расчётов, включая и первопринципные, позволяющие достаточно точно рассчитать фазовую диаграмму олова при высоких давлениях (кристаллические фазы и плавление) [4]. Но при повышении температуры данных как измерений, так и расчётов становится существенно меньше, в частности есть результаты ударно-волновых измерений при плотностях порядка нормальной, т. е. $\rho \sim \rho_n = 7.265$ г/см³ [5], и данные спектроскопических измерений [6]. Но положение бинодали - неизвестно, а для критической точки (СР) есть только отдельные оценки $T_{CP} \sim 7-8$ кК, $\rho_{CP} \sim 2-3$ г/см³ [7]. И наконец в диапазоне $T = 5-100$ кК и $\rho \leq \rho_{CP}$ (т. е. в области НТП для большинства металлов) нет никаких опубликованных данных как измерений, так и расчётов. Более того, именно в эту область олово попадает при литографии (технологическом процессе!), где для описания теплофизических свойств - уравнения состояния и теплопроводности - приходится использовать полуэмпирические соотношения [8].

Ранее для описания теплофизических свойств веществ в НТП нами была разработана модель, построенная на химическом подходе для описания термодинамики и приближении времени релаксации для расчёта коэффициентов переноса. Эта модель успешно применялась к целому ряду металлов и полупроводников, см., например [9]. В данной работе мы модифицировали её параметры использовали для плазмы олова. Были проведены соответствующие расчёты. Их результаты за отсутствием других данных в этой области сравнивались только с полуэмпирическими моделями [8, 10] и было получено неплохое согласие.

Литература

- [1]. Фортон В. Е., Якубов И. Т., Храпак А. Г. Физика неидеальной плазмы. М.: Физматлит, 2010.
- [2]. Stanek P. E. et. al. Phys. Plasmas 2024, V. 37, 100905.
- [3]. Crawley A. F. Int. Met. Rev. 1974, V. 19, 32.
- [4]. Chen T. et. al. Phys. Rev. Mat. 2023, V. 7, 053603.
- [5]. Zhernokletov M. S. et. al. Combustion. Explosion and Shock Waves 2012, V. 48, P. 112.
- [6]. Harilal S.S., O'Shay B., Tillak M. S. J. Appl. Phys. 2005, V. 98, 013306.
- [7]. Fortov V. E., Dremin A. N., Leont'ev A. A High Temp. 1975. V. 13., P. 984.
- [8]. Basko M. M., Novikov G., Grushin A. S. Phys. Plasmas 2015, V. 22, 053111.
- [9]. Apfelbaum E. M., Phys. Plasmas. 2023, V. 30, 042709.
- [10]. Khishenko K. V., J. Phys.: Conf. Ser. 2008, V. 128, 022025.

^{*)} DOI – тезисы на английском