расчёт теплофизический свойств низкотемпературной плазмы тантала

Апфельбаум E.M.

ОИВТ РАН, Москва, Россия, apfel\_el@mail.ru

Теплофизические свойства металлов, такие как уравнение состояния и электронные коэффициенты переноса, играют важную роль в фундаментальных и прикладных задачах. Поэтому их исследования в различных областях фазовой диаграммы, включая область плазмы, проводятся на протяжении века. Однако изучение этих свойств при высоких температурах (> 5000 К, где как раз находится низкотемпературная плазма) представляет особую сложность, так как в экспериментах проблемой является уже создание соответствующего высокотемпературного состояния. В теории тоже имеются проблемы, так как аналитические разложения, справедливые для слабонеидеальной плазмы, перестают быть корректными при повышении плотности. Тем не менее, в последние пару десятков лет появились новые измерения и расчёты, включая и расчёты из первых принципов, которые существенно дополнили наши знания по этим свойствам для целого ряда металлов (см., например [1] и ссылки в этой работе). Плазма тантала, однако, остаётся изученной менее, по сравнению с другими элементами. Для неё есть данные измерений [2] на ударных адиабатах и изоэнтропах разгрузки при сравнительно высоких плотностях, больше половины от нормальной плотности ρ0 (ρ0 = 16.69 г/см3, температура плавления тантала Тm=3290 К). Для анализа этих измерений было разработано полуэмпирическое уравнение состояния [3]. Кроме этого, есть данные по измерению электропроводности взрывающихся проволочек [4], в которых вещество расширялось до 0.01ρ0, а температура могла достигать ~40 кК. И, наконец, есть расчёты давления Та из первых принципов [5] при Т <20 kK и ρ> 1.67 г/см3. А при меньших плотностях данных по давлению уже нет.

Ранее нами была разработана модель расчёта уравнения состояния и электронных транспортных коэффициентов (электропроводности, теплопроводности и термоэдм) для низкотемпературной плазмы, которая успешно применялась к ряду металлов [6,7]. Эта модель построена на основе так называемого химического подхода, когда рассматриваемое вещество предполагается состоящим из смеси электронов, положительных ионов , атомов и более сложных комплексов. Состав и термодинамические свойства такой смеси могут быть получены на основе закона действующих масс (см. [6]). А электронные транспортные коэффициенты рассчитываются в приближении времени релаксации. Была установлена и область применимости рассматриваемого подхода. В данной работе она была модифицирована для плазмы тантала, и с её помощью были рассчитаны изучаемые свойства в диапазоне температур от 10 до 100 кК и плотностей до 3 г/см3. Сравнение наших результатов с немногочисленными имеющимися данными измерений и расчётов в этой области показали хорошее согласие.

Литература.

1. Clerouin J., Noiret P. et. al., Phys. Plasmas, (2012) V. 19, 082702.
2. Жерноклетов М. В., Симаков Г. В., Сутулов Ю. Н. , Трунин Р. Ф. // ТВТ (1995) Т. 33, С. 40.

[3]. Медведев А. Б. // Вопросы Атомной Науки и Техники. (1992) Вып. 1, С.12

[4]. DeSilva A. W., Vunni G. B., Phys. Rev. E, (2011) V. 83, 037402.

[5]. Miljacic L., Demers S., Hong Qi-Jun, Van de Walle A., CALPHAD (2015) V. 51, P. 133.

[6]. Apfelbaum E. M., Phys. Plasmas, (2015) V. 22, 092703.

[7]. Apfelbaum E. M., Phys. Plasmas, (2017) V. 24, 052702.