

Alexander Savvatimskiy

Carbon at High Temperatures

Аннотация автора (для русскоговорящих читателей)

Монография посвящена экспериментальному (и частично расчетному) исследованию проблемы плавления углерода (в том числе, высокотемпературным свойствам графена) и получению физических свойств жидкого углерода, в частности, таких как: электросопротивление, энтальпия, теплоемкость C_p и C_v , тепловое расширение, теплота плавления. Рассмотрен вопрос об измерении температуры плавления углерода, отмечено существенное влияние сублимации углерода на измерение температуры выше 3000 К. Предложен выбор модели черного тела для получения истинной температуры. Приведено описание ключевых экспериментальных работ, начиная с 1911 года и последовательное установление параметров тройной точки углерода ($P \approx 120$ атмосфер; $T \approx 4800-4900$ К), полученных как нагревом тока, так и лазерным нагревом. Предложена эволюция фазовой Р-Т диаграммы углерода в течение последнего 50-летия, включая смещение фазовой диаграммы для малых углеродных частиц. Подробно рассмотрены авторские исследования основоположников импульсного нагрева током при высоких давлениях: Фрэнсиса Банди (США); Л.Ф. Верещагина (СССР) и Мотохиро Тогайя (Япония). Показана металличность свойств жидкого углерода и ее изменчивость при высоком давлении. Отмечена роль ОИВТ РАН в исследовании высокотемпературных свойств углерода, с рассмотрением конкретных достижений авторов (М.А.Шейндлин, В.Н.Сенченко, А.В.Кириллин, А.В.Костановский, А.Ю.Башарин и др.). Рассмотрены работы исследователей, работающих в США (Газерс, Шанер, Хиксон); в Австрии (Гернот Поттлахер); во Франции (Мишель Бовину). Приведены оригинальные данные автора (совместно с С.В.Лебедевым, В.Н.Коробенко, А.Д.Рахелем, С.В.Онуфриевым, А.М.Кондратьевым) для свойств жидкого углерода, начиная от точки плавления до температур 12 кК при быстром нагреве импульсом электрического тока. Проведено сравнение результатов измерения свойств, полученных при быстром нагреве (микросекунды) и при медленном нагреве (миллисекунды). На примере экспериментальных результатов убедительно представлена независимость температуры плавления углерода от скорости его нагревания. В этой связи рассмотрены результаты расчетов по определению температуры плавления (для различных межатомных потенциалов). Отмечено эффективное исследование Владимира Стегайлова и Никиты Орехова, которые получили сравнительную характеристику для различных потенциалов.

С сожалением отмечено, что развитие расчетных методов часто происходит независимо от результатов экспериментальных работ; эти два метода исследования начинают развиваться в отрыве друг от друга.

Отдельная глава посвящена исследованию свойств графена (эксперимент плюс расчет) при высоких температурах, на примере работ А. Баландина (США). Приведены результаты американских ученых при быстром нагреве алмазной пластинки (ударное нагружение) при давлениях до 60 Мбар и температурах до 30 000 К, с регистрацией области плавления.

В заключение автор монографии приводит ссылки на работы последних лет:

- отсутствие термодинамического перегрева металлов при микросекундном нагреве;

- быстрый нагрев карбидов и нитридов, приводящий к соответствию результатов равновесной фазовой диаграмме соединений;

- появление неравновесных эффектов при быстром нагреве металлов и соединений (увеличение теплоемкости C_p перед плавлением и быстрая релаксация после плавления), в связи с предполагаемым возникновением парных дефектов Френкеля (вакансия и междоузельный атом) быстро нагреваемых веществ.

Книга предназначена для теплофизиков, исследующих углерод при высокой температуре и при высоком давлении; специалистов широкого профиля, занимающихся углеродом, а также импульсным нагревом тугоплавких веществ. Изложенный материал также может быть полезен студентам и аспирантам соответствующих специальностей как справочник по современным исследованиям высокотемпературных свойств веществ.

Заключение (в английском варианте книги, здесь дан перевод на русский) Углерод представлен многими различными формами. Он тугоплавкий, и при этом хорошо обрабатывается. Это обеспечивает его эффективное применение в промышленности (энергетике, авиации, космической отрасли, ядерных технологиях, электронике и медицине). Благодаря высокой температуре плавления (4800-4900 К) изучение жидкого состояния углерода возможно, как правило, только в импульсных процессах нагрева. Жидкий углерод – область наших новых знаний, с возможным использованием в будущих импульсных технологиях. В дополнение к углероду промышленность требует знания высокотемпературных физических свойств соединений углерода, таких как, например, карбиды. Свойства этих тугоплавких соединений (как и графита) – важны для практических приложений, поскольку тугоплавкие карбиды, нитриды и углерод входят в защитные покрытия газотурбинных трактов, сопла ракет, защитные плитки ракетных систем, матрицы ядерных топлив.