

ЖИДКИЙ УГЛЕРОД - ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ~30 ТЫСЯЧ К И ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 100 КБАР

Савватимский А.И., Коробенко В.Н.*

ОИВТ РАН, Москва, Россия

**savvatimskiy.alexander@gmail.com*

Импульсный метод измерения физических свойств жидких металлов, разработанный Сергеем Владимировичем Лебедевым (1913-1990), был сформулирован им сначала в ФИАНе и затем применен в ОИВТ РАН, начиная с 1967 года. За рубежом его называли «пионером» в исследовании электровзрыва проводников. С применением этого метода в ОИВТ РАН были исследованы тугоплавкие металлы (Fe, Zr, Hf, Mo, Ta, W) и тугоплавкие карбиды {ZrC, ZrC+C, HfC, TaC, HfC+TaC, смешанный карбид (HfTaTiNbZr)C} в области плавления и в жидком состоянии. Наряду с этим исследовался и жидкий углерод (температура плавления при давлении до 1 кбар — около 5000 К) при быстром импульсном нагреве графита. Были измерены физические свойства (электросопротивление и теплоемкость C_p и C_V) в области плавления в жидкой фазе вплоть до 8000 К. Достижение высокой температуры проводника обеспечивалось джоулевым нагревом проходящего тока за несколько мкс, и не требует применения дорогой аппаратуры для длительного поддержания высокой температуры.

Для получения жидкого углерода при высоких давлениях использовались сапфировые толстостенные капиллярные трубки (внутренний диаметр 1 мм, внешний 10–12 мм). Как известно, сапфир (Al_2O_3) обладает высокой прочностью, тугоплавкостью, и в течение нескольких микросекунд нагрева сохраняет эти свои качества. При этом, согласно расчету, его плавление происходило в очень тонком слое контакта с нагретым углеродом. Это не влияет на измерение свойств самого жидкого углерода, однако препятствует прямому измерению температуры через расплавленный слой сапфира. Температура (30–35 тыс. К) рассчитывались из измеренной нами удельной введенной энергии H и измеренной (в отдельном эксперименте) теплоемкости $C_V = 2$ Дж/г·К.

Образцы графита в виде стержней изготавливались из анизотропного графита высокой плотности путем пропускания образцов квадратного сечения сквозь алмазные фильеры диаметром несколько меньше 1 мм. При быстром нагреве током графитовые стержни при расширении и упоре в стенки капиллярной трубки плавилась и нагревались в жидком состоянии. Поскольку торцы трубок были плотно зажаты пластинками из тугоплавких карбидов, жидкий углерод нагревался в ограниченном объеме с повышением внутреннего давления

в трубке. Это давление (вплоть до разрушения сапфира) достигало 50–100 кбар. Это давление оценивалось в сравнении с экспериментом М.Тогайя (Япония), который получил ранее зависимость электросопротивления жидкого углерода от стационарного давления, вплоть до 100 кбар (без измерения температуры). Заметим, что разрушение сапфировой трубки происходило только вдоль трубки (на 2–3 продольных части); это позволило наблюдать после опыта видимый диаметр внутреннего отверстия, который мало изменился относительно исходного.

Таким образом, нами получены измерения для трех величин плотности жидкого углерода (от 1 до 2 г/см³), при которых достигаются давления 50–100 кбар.

Продемонстрирован экспериментальный подход для измерения физических свойств жидкого углерода при простом способе создания высоких температур и высоких давлений. Поскольку введенная удельная энергия превышала энергию сублимации углерода (60 кДж/г), можно считать, что достигнуто состояние плотного пара углерода при высоком давлении. Примечательно, что с ростом давления наблюдается рост электросопротивления жидкого углерода (пара углерода). Этот эффект подтвердился ранее (Neaton J.B., Ashcroft N.W. *Letters to Nature*, 1999, 400, 141) для лития при давлениях выше 600 кбар.