

БАРИЧЕСКИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ФУЛЛЕРЕНА C₇₀

Д.Н. Соколовский^{1,2}, Я.Ю. Волкова², А.Н. Бабушкин²

¹Уральский Государственный Медицинский Университет Минздрава России,
620028, г. Екатеринбург, ул. Репина, 3;

²Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19,
E-mail: dmitry.sokolovsky@urfu.ru.

PRESSURE DEPENDENCES OF THE RELATIVE THERMAL CONDUCTIVITY OF FULLERENE C₇₀

D.N. Sokolovskiy^{1,2}, Ya.Yu. Volkova², A.N. Babushkin²

¹Ural State Medical University of Ministry of Health of the Russian Federation,
3 Repina str., Yekaterinburg, 620028 Russia;

²Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
19 Mira str., Yekaterinburg, 620002 Russia,
E-mail: dmitry.sokolovsky@urfu.ru.

В работе использован метод оценки относительной теплопроводности при внешнем воздействии для наблюдения ряда преобразований в структуре фуллерена C₇₀, индуцированных высоким давлением. Получены барические зависимости относительной теплопроводности при постоянных давлениях до 50 ГПа. Результаты подтверждают ранее выдвинутые предположения о характере преобразований, происходящих в структуре C₇₀ при различных давлениях.

The method for estimating the relative thermal conductivity under external action to observe a number of high-pressure-induced transformations in the structure of the C₇₀ fullerene was used in the work. The pressure dependences of the relative thermal conductivity were obtained at constant pressures up to 50 GPa. The results confirm the previously made assumptions about the nature of the transformations occurring in the C₇₀ structure at various pressures.

Фуллерены в кристаллах характеризуются относительно невысокими энергиями связи, поэтому даже при комнатной температуре наблюдаются фазовые переходы, приводящие к ориентационному разупорядочению. При высоких давлениях в кристаллах C₆₀ и C₇₀ наблюдается образование структур твердого углерода с ковалентными связями между атомами различных молекул фуллеренов, как это имеет место в алмазе [1, 2].

Измерение таких параметров как электро- и теплопроводность может дать информацию о возникновении фазовых переходов различного типа. Поведение проводимости в точке фазового перехода показывает, что переход происходит во всем объеме исследуемого вещества, тогда как структурные исследования указывают только на локальную трансформацию фаз. Поэтому в данной работе, для наблюдения происходящих в образце фазовых преобразований,

использована экспериментальная установка, позволяющая выполнять электрические измерения при постоянных давлениях.

Настоящая работа является продолжением исследований структурных преобразований фуллерена C_{70} , индуцированных высоким давлением, опубликованных ранее в работе [3]. Цель настоящей работы – изучить влияние давлений до 50 ГПа на возможные фазовые переходы в кристаллах фуллерена C_{70} , используя в качестве чувствительного параметра теплопроводность.

Давления до 50 ГПа генерировали в камере высокого давления с алмазными наковальнями типа “закругленный конус-плоскость”. Методика позволяет изучать образец при последовательном увеличении и снижении давления, выдерживать его под нагрузкой в течение длительного времени.

Исследуемый образец известной толщины помещался между двумя алмазными наковальнями с теплопроводностью, существенно превышающей теплопроводность образца. Нагреватель помещен в верхнюю наковальню. Спары термопар, установленные в верхней и нижней алмазных наковальнях, регистрировали изменение разности температур, по которому рассчитывали относительную теплопроводность образца. Данный способ оценки относительной теплопроводности позволил проводить измерения непосредственно в процессе эксперимента при изменении внешнего воздействия, без использования эталонных образцов и нагрева до сверхвысоких температур.

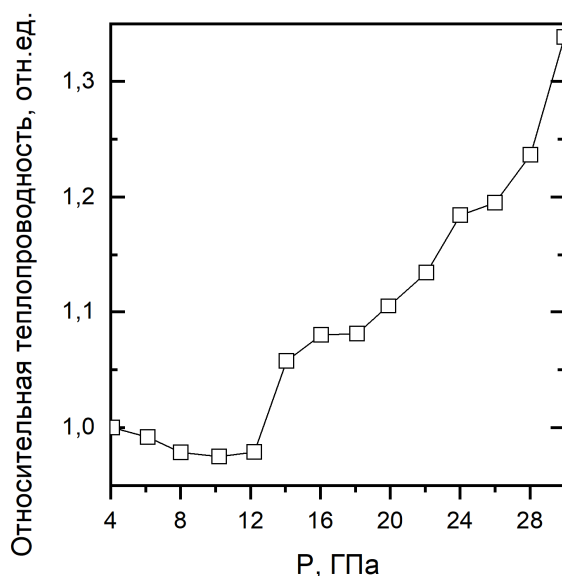


Рис. 1 - Барическая зависимость относительной теплопроводности фуллерена C_{70} при увеличении давления

На рисунке 1 представлена барическая зависимость относительной теплопроводности C_{70} , полученная при постепенном увеличении давления до 30 ГПа. В диапазоне до 12 ГПа, относительная теплопроводность незначительно снижается, что может быть обусловлено изменением кристаллической решетки под действием давления [4]. При давлении 14 ГПа теплопроводность возрастает. Данный эффект обусловлен аморфизацией кристалла фуллерена [4], что также было отмечено в нашей предыдущей работе [3]. При дальнейшем повышении давления наблюдается немонокотное увеличение относительной теплопроводности, что может быть обусловлено процессами полимеризации C_{70} [3].

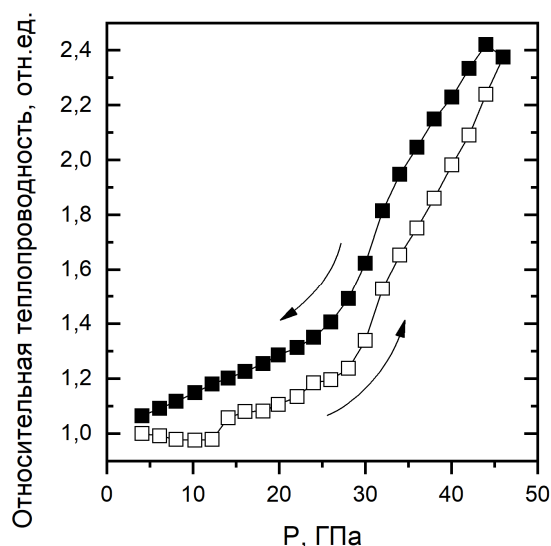


Рис.2 - Барические зависимости относительной теплопроводности фуллерена C_{70} . Стрелки указывают направление увеличения и снижения давления

Чтобы установить характер обратимости преобразований, происходящих под действием давлений до 50 ГПа, измерения относительной теплопроводности проводили при увеличении и уменьшении давления (рисунок 2). В обоих случаях, можно наблюдать особенности в виде точек перегиба при давлениях 30-32 ГПа. При данном давлении, как было показано ранее [3], начинается процесс аморфизации молекул фуллерена C_{70} . В то же время, в цикле уменьшения нагрузки, при давлениях ниже 26 ГПа, какие-либо особенности барической зависимости теплопроводности не наблюдаются, что объясняется необратимой аморфизацией кристалла фуллерена C_{70} [3, 4].

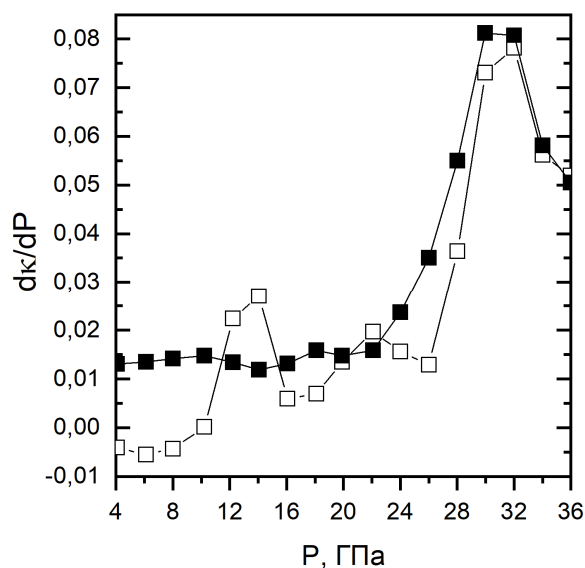


Рис. 3 - Барические зависимости производной относительной теплопроводности по давлению фуллерена C_{70} . Пустыми символами отмечены значения, полученные при увеличении давления, закрашенными – при уменьшении нагрузки

При увеличении давления барические зависимости производной теплопроводности по давлению имеют максимумы при 14, 23 и 30 ГПа (рисунок 3). При снижении нагрузки можно

наблюдать только один максимум при 30 ГПа. В данном случае можно говорить о фазовых переходах второго рода, обусловленных аморфизацией кристаллов C₇₀ (14 ГПа), возможной полимеризацией самих молекул фуллеренов (20-24 ГПа), и их дальнейшей аморфизацией (30 ГПа).

Таким образом, наблюдаемые особенности барических зависимостей относительной теплопроводности при давлениях до 50 ГПа обусловлены рядом преобразований структуры кристаллов фуллеренов C₇₀ под действием высокого давления. Аморфизация кристаллов C₇₀, происходящая при давлении порядка 14 ГПа, является необратимой.

Список использованных источников:

1. *Soldatov A.V. et al. // Science. 2001. V 293. P. 680-683.*
2. *Popov M. et al. // Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures. 2018. V. 26. P. 465-470.*
3. *Соколовский Д.Н., Зеленовский П.С., Волкова Я.Ю. // Известия РАН. Серия физическая. 2019. Т. 83. С. 803-805.*
4. *Liu D. et al. // J. Phys. Chem. C. 2011. V 115. P. 8918.*