

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

05

Журнал технической физики, т. 64, в. 8, 1994

© 1994 г.

**ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ И АНОМАЛЬНОЕ УПРОЧНЕНИЕ
ТВЕРДОГО C_{60} В СДВИГОВОЙ АЛМАЗНОЙ КАМЕРЕ
ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ**

*В.Д.Бланк, С.Г.Буга, М.Ю.Попов, В.А.Давыдов, В.Агафонов, А.Шварк,
Р.Сеоля, А.Расса, К.Фабре*

Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина,
142092, Троицк, Московская область
(Поступило в Редакцию 7 июля 1993 г.
В окончательной редакции 10 марта 1994 г.)

За последние 2–3 года появилось значительное число работ, посвященных исследованию твердого C_{60} при высоких (до 40 ГПа) давлениях. Повышенный интерес к изучению фазовой диаграммы C_{60} связан с попытками определения предела устойчивости молекулы фуллерена C_{60} при высоких давлениях и возможностью получения фазы высокого давления, обладающей, согласно некоторым оценкам [1], упругими модулями, превышающими модули самого твердого из известных пока веществ — алмаза. Ранее сообщалось об обнаружении двух фазовых переходов в области высоких давлений при комнатной температуре. Первый из них, проходящий при 0.5 ГПа, был идентифицирован как фазовый переход из исходной кубической гранцентрированной структуры в простую кубическую [2]. Второй имеет место при давлениях 15–25 ГПа, в этом случае по определению авторов образуются “взаимосвязанные сильнодействующие агломераты C_{60} ” [3].

В настоящей работе обнаружены новые, ранее не известные фазовые переходы в твердом C_{60} . Кроме того, показано, что твердость фазы высокого давления (18–40 ГПа) C_{60} при давлении 20 ГПа должна быть не меньше, чем у алмаза.

Новые данные о фазовых переходах и механических свойствах C_{60} получены с помощью методики, позволяющей прикладывать к образцу сдвиговые деформации под давлением. Методика исследований и оптическая сдвиговая камера высокого давления с алмазными наковальнями, в которой проводились эксперименты, подробно описаны в работах [4,5]. В данной камере сдвиг осуществляется путем вращения одной из наковален вокруг оси приложения нагрузки.

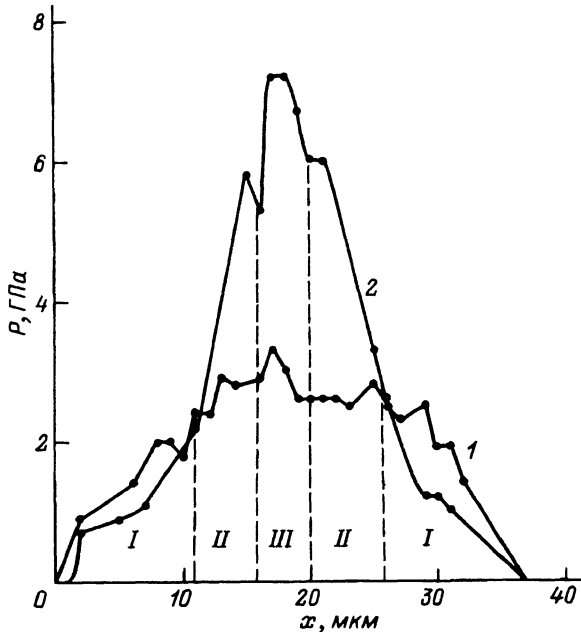


Рис. 1. Распределения давления по диаметральному сечению образца до (1) и после приложения сдвиговых деформаций (2) при неизменной нагрузке.

Образец нагружался как в гasketке (квазигидростатически), так и без гasketки (негидростатически). Порошкообразный мелкокристаллический фуллерен C_{60} , который использовался в опытах, получен в лаборатории физической химии аморфных материалов Университета Париж-Сют (Франция). Состояние образцов под давлением регистрировалось по их изображениям в проходящем свете в видимом диапазоне и ближнем инфракрасном (с помощью электронного оптического преобразователя) в диапазоне 900–1000 нм.

Измерение распределения давления по диаметральному сечению образца производилось известным способом по рубиновой шкале давлений, для чего на рабочую поверхность наковальни осаждались частицы рубина размером 1–3 мкм, при этом среднее расстояние между ними примерно на порядок больше размера частиц. В работе было обнаружено три фазовых перехода по аномалиям на распределении давления. Эти аномалии в виде ступеньки связаны с изменением упругих модулей и объема вещества при фазовом переходе первого ряда, который начинается вблизи центра наковален, где больше величина давления [5].

Обнаруженные аномалии коррелируют с наблюдаемыми оптическими методами межфазными границами (разные фазы C_{60} имеют разные коэффициенты поглощения). Так, на рис. 1 представлены характерные распределения давления в образце до и после приложения сдвиговых деформаций при неизменной нагрузке. На рисунке отмечены области, занимаемые разными фазами твердого C_{60} после сдвига.

Отмеченная особенность при негидростатическом нагружении позволяет сделать вывод о наличии нескольких фаз.

Фаза I — это исходный C_{60} (нам не удалось обнаружить фазовый переход при давлении 0.5 ГПа, описанный в работе [2], так как прак-

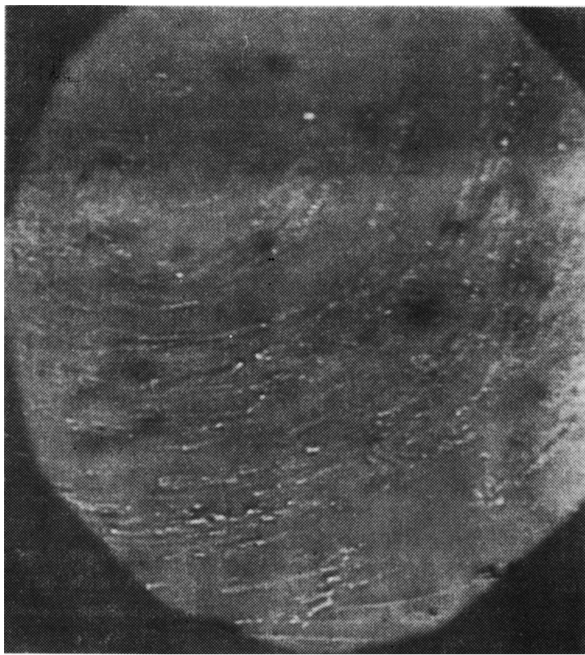


Рис. 2. Фрагмент поверхности алмазной наковальни с бороздами, образовавшимися при проскальзывании по поверхности наковальни таблетки твердого C_{60} во время сдвига. Общий размер фрагмента 150 мкм.

тически невозможно проводить исследования в алмазных наковальнях при сравнительно малых давлениях).

Фаза II — при наличии сдвиговых деформаций прямой и обратной переходы I–II протекают при давлении 2.3 ± 0.3 ГПа (т. е. с точностью до 0.3 ГПа давления прямого и обратного переходов совпадают).

Фаза III — прямой переход II–III в условиях сдвига наблюдается при 6 ± 0.5 ГПа, обратный переход не наблюдался (возможно, при нормальных условиях эта фаза метастабильна).

Фаза IV: при 18 ± 2 ГПа в условиях негидростатического сжатия наблюдается начало перехода III–IV (при нормальных условиях эта фаза метастабильна).

Согласно данным трансмиссионной электронной микроскопии, IV фаза является аморфным C_{60} . Спектры комбинационного рассеяния этой фазы совпадают с данными, приведенными в работе [3].

В ходе наших исследований аморфной фазы твердого C_{60} был обнаружен следующий факт. При давлении 20 ГПа и наличии сдвиговых деформаций таблетка твердого C_{60} , заключенная в гasketку, проскальзывает по той наковальне, на которую были нанесены частицы рубина. При этом на поверхности наковальни образуются механические дефекты в виде борозд шириной 1–2 мкм. Борозды хорошо видны на рис. 2. Одновременно наблюдаются и трещины, которые также образовались на рабочей поверхности этой наковальни и ориентированы по кристаллографическим плоскостям алмаза.

Не обсуждая детально механизм образования борозд, отметим, что их возникновение возможно в случае, когда твердость аморфного C_{60} не ниже твердости алмаза при давлении 20 ГПа. Этот результат представляется достаточно важным, поскольку самым твердым веществом

на сегодняшний день является алмаз. Косвенным подтверждением аномального упрочнения C_{60} является факт проскальзывания при сдвиге между наковальной и аморфным C_{60} , что свидетельствует о достаточно высоком пределе текучести последнего (напомним, что давление в опыте было 20 ГПа, следовательно, трение между C_{60} и наковальной должно быть порядка этой же величины которая сравнима с пределом текучести алмаза. а предел текучести аморфного C_{60} должен превышать величину трения, чтобы осуществилось проскальзывание).

Таким образом, обнаружено два новых фазовых перехода при комнатной температуре с ростом давления. Кроме того, проведенные исследования показали, что твердость фазы IV (аморфный C_{60}) не меньше, чем у алмаза (при давлении 29 ГПа).

В заключение выражаем глубокую благодарность Б.А. Кульницкому и Е.В. Татьянину за проведенный анализ образцов на трансмиссионном электронном микроскопе.

Список литературы

- [1] *Ruoff S.R., Ruoff A.L.* // Nature. 1991. Vol. 350. P. 663–664.
- [2] *Samara G.A., Schirber J.E., Morosin B. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1991. Vol. 67. P. 3136.
- [3] *Yoo C.S., Nellis W.J.* // Chemical Phys. Lett. 1992. Vol. 198. P. 379–382.
- [4] *Барabanов И.А., Бланк В.Д., Коняев Ю.С.* // ПТЭ. 1987. N 2. С. 176–177.
- [5] *Бланк В.Д., Богусловский Ю.Я., Еремец М.И. и др.* // ЖЭТФ. 1984. Т. 87. Вып. 3 (9). С. 922–926.

07
© 1994 г.

Журнал технической физики, т. 64, в. 8, 1994

РЕГИСТРАЦИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ ДВУХМОДОВОГО ВОЛОКНА В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ФАЗОВЫХ СДВИГОВ

О.И.Котов, Л.Б.Лиокумович, А.В.Медведев, В.М.Николаев

Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251

(Поступило в Редакцию 14 февраля 1994 г.)

В последнее время для создания волоконно-оптических датчиков (ВОД) и других волоконных измерительных устройств успешно применяются интерферометрические схемы. Для волоконных интерферометров Фабри–Перо, Маха–Цендера и тому подобных разработаны относительно простые способы реверсивного счета полос. Однако в случае распределенных ВОД большой длины систем контроля оптической длины волоконных линий передачи и других волоконных измерительных систем с большой базой предпочтительным представляется режим межмодовой интерференции в волоконных световодах.

Рассмотрим световод длиной L , в котором распространяются две моды с постоянными распространения β_1 и β_2 . Сигнал интерференции