структурные превращения стеклоуглерода при высоких давлениях ударного сжатия

Молодец А.М., Голышев А.А., Шахрай Д.В.

Институт проблем химической физики РАН, molodets@icp.ac.ru

Стеклоуглерод является одной из аллотропных аморфных модификаций углерода. На макроскопическом уровне стеклоуглерод обладает типичными свойствами стекла – это хрупкий изотропный материал с высокой твёрдостью, непроницаемостью для газов и жидкостей и др. При нормальных условиях стеклоуглерод проводит электрический ток. На микроуровне стеклоуглерод представляет собой нанострутурированный материал с углеродными атомами преимущественно в состоянии sp2 (см. работу [1] и ссылки в ней).

Интерес к структурным превращениям стеклоуглерода при высоких давлениях возрос после работы [2], где было показано, что в изотермических условиях алмазных наковален при давлении 40 ГПа и температуре 300 К происходит прямой переход аморфного стеклоуглерода в «аморфную» фазу алмаза. Переход стеклоуглерода в [2] имел обратимый характер. В последнее время появились экспериментальные работы по необратимому превращению стеклоуглерода в аморфный алмаз. Для этого наряду с высокими давлениями потребовались высокие температуры. Так, в [3] стеклоуглерод исследовался in situ в алмазных наковальнях при давлениях до 50 ГПа и температурах до 1800 К. В результате авторами [3] был синтезирован sp3 гибридизированный аморфный алмаз, который сохранялся после снятия давлений и охлаждения до комнатных температур.

В этой связи нами была предпринята работа по исследованию структурных изменений стеклоуглерода марки СУ-2000, происходящих в результате воздействия на аморфный стеклообразный углерод высоких динамических давлений до ~100 ГПа и температур до~2000 К. Были выполнены эксперименты двух типов. Эксперименты in situ по измерению электропроводности образцов непосредственно во время ударного сжатия и эксперименты post factum по сохранению с последующим спектроскопическим и морфологическим анализом образцов стеклоуглерода, испытавших воздействие сильных ударных волн. Экспериментальные данные сопровождались расчетами температуры ударного сжатия. Доклад содержит полученные результаты, которые заключаются в следующем:

В диапазоне 10-40 ГПа электропроводность ударносжатого стеклоуглерода СУ-2000 не изменяется. При этом структурное состояние испытавших ударное сжатие образцов также остается без изменений. При давлении *P*tr =45(5) ГПа и температуре 1550(50) К электропроводность скачкообразно уменьшается на два порядка. В фазе разгрузки, начиная с *P*r ~70 ГПа, происходит увеличение электропроводности превращённого стеклоуглерода. Изменение электропроводности стеклоуглерода в ударноволновом цикле {50ГПа-100ГПа-10ГПа} обратимо лишь частично. В области фазовой диаграммы (10-45 ГПа; 300-1000К), расположенной до скачкообразного изменения электропроводности, первоначально аморфный стеклоуглерод СУ-2000 не испытывает структурных превращений. В области фазовой диаграммы (50-100 ГПа; 1600-1800К), расположенной после скачкообразного изменения электропроводности, первоначально аморфный стеклоуглерод СУ-2000 превращается в структурированный по типу углеродных нанотрубок наноматериал с особой (сотовой) морфологической структурой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №16-08-00237.

Литература.

[1]. Z. Zhao, et al. // Nature Communications, 6, 1 (2015).

[2]. Lin Y.et al.,” // PRL 107, 175504 (2011)

[3]. Z. Zeng, et al., // Nature Communication, **8**, 322 (2017).