Фазовые переходы в графите и графене при холодном сжатии

Тихомирова Г.В., Петросян Т.К., Суханова Г.В., Тебеньков А.В.

Уральский федеральный университет, 620000, Екатеринбург, пр. Ленина, 51

DOI 10.34077/Semicond2019-387

В данной работе представлены результаты исследований барических зависимостей проводимости и термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) трёх типов графита (порошкообразный графит малозольный особо чистый (ГМЗ ОСЧ), высокоориентированный пиролитический графит (ВОПГ) и природный графит (ПГ) из приангарского месторождения) и двух марок графена при комнатной температуре. Измерения проводились в камере высокого давления с алмазными наковальнями из синтетических алмазов «карбонадо». Методика позволяет проводить исследование одного и того же образца несколькими циклами увеличения – снижения давления на образец.

На зависимостях $R(P)$ всех образцов графита обнаружен ряд особенностей. Причем если для образцов ГМЗ ОСЧ и ПГ область обнаруженных особенностей несколько размыта и составляет 20-35 ГПа, то для ВОПГ особенности наблюдаются в двух областях давлений - 20-27 и 30-35 ГПа. Наблюдавшиеся особенности связываются с фазовыми переходами в графите при этих давлениях [1].

Зависимости $TEDS(P)$ образца ВОПГ для циклов, измеренных до 16 и до 19 ГПа, почти не отличаются, гистерезис практически отсутствует. Для циклов при давлениях до 29 и до 35 ГПа характерно наличие большого гистерезиса, что указывает на формирование новой фазы. И, наконец, для цикла, измеренного до 47 ГПа видно, что гистерезис становится незначительным, т.е. новое состояние уже сформировалось. Для образца ГМЗ ОСЧ ситуация отличается. Не обнаружено третьего этапа (полного формирования нового состояния). Для образцов природного графита характерно наличие большого гистерезиса для зависимостей 29-39 ГПа, однако зависимости $TEDS(P)$ при измерениях до 47 ГПа хотя и имеют меньший гистерезис, чем для ГМЗ ОСЧ, но гистерезис присутствует. Кроме того, в отличие от ВОПГ и ГМЗ ОСЧ для природного графита наблюдается рост ТЭДС в зависимости от цикла нагружения, что требует дополнительных исследований.

Таким образом, на зависимостях $R(P)$ образцов ГМЗ ОСЧ и ПГ обнаружен ряд особенностей, которые в большинстве своём обратимы при снятии нагрузки. Возможно, для этих образцов требуются либо большие давления, либо предварительная обработка. На барических зависимостях сопротивления для ВОПГ особенности выражены сильнее, что, по-видимому, связано с высокой ориентацией плоскостей в этом образце. Так как исследование ТЭДС является более структурно чувствительным методом, особенности на графиках $TEDS(P)$ более ярко выражены, чем для зависимостей $R(P)$. Однако области давлений, в которых обнаружены особенности, совпадают для обеих методик. Из результатов исследования барической зависимости ТЭДС для ВОПГ можно сделать вывод, что возможно получение относительно стабильной углеродной фазы высокого давления. Для ГМЗ ОСЧ и природного графита данного диапазона давлений и времени обработки давлением недостаточно для окончательного формирования новой фазы. Т.е. фазовый переход в графите при высоком давлении зависит от вида исходного образца.

Зависимости $R(P)$ для графена имеют вид, аналогичный графиту, но величины сопротивления графена почти на порядок выше. Зависимости термоэдс графена и графита от давления имеют похожий характер. В графене также обнаружены особенности термоэдс в диапазоне давлений от ~22 ГПа до ~34 ГПа.

*[1] T. K. Petrosyan, G. V. Tikhomirova, D. K. Kuznetsov J. Phys.: Conf. Ser. **653** 012096 (2015)*