

PACS: 72.80.Rj, 81.40.Vw

А.Н. Бабушкин¹, Я.Ю. Волкова¹, Е.Д. Образцова², О.В. Нарыгина¹

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК РАЗНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 50 GPa

¹Уральский государственный университет им. А.М. Горького
ул. Ленина, 51, г. Екатеринбург, 620142, Россия

²Институт общей физики РАН
ул. Губкина, 38, г. Москва, 119991, Россия

Исследованы температурные зависимости сопротивления образцов, включающих одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) и полученных по разным технологиям при давлениях от 20 до 50 GPa, в интервале температур от 100 до 400 К. Обнаружен ряд особенностей в поведении электрических характеристик образцов в интервале давлений 27–42 GPa. Наблюдаемые изменения электрических свойств необратимы.

Введение

Углеродные нанотрубки обладают уникальными физико-химическими свойствами, такими как зависимость электронной структуры нанотрубки от угла ориентации графитовой плоскости относительно оси трубки (хиральности), капиллярный эффект, аномально-высокая прочность на растяжение и изгиб, высокие эмиссионные характеристики (см., напр., [1]).

Известно, что под действием высокого давления в образцах, содержащих ОУНТ, происходят необратимые изменения электрических свойств, что может быть связано как с разрушением структуры образца, так и с зарождением новых фаз. Цель нашего исследования – изучение влияния процентного содержания ОУНТ в образце на характер изменения его электрических свойств в результате сжатия под высоким давлением.

Эксперимент

Исследованы образцы ОУНТ двух типов: полученных методом термического распыления графита (содержание ОУНТ ~ 40%) [1] и методом HiPCO (содержание ОУНТ ~ 90%) [2].

Для изучения электрических свойств образца в условиях давлений до 50 GPa использовали камеру высокого давления (КВД) с наковальнями, изготов-

ленными из синтетических поликристаллических алмазов «карбонадо» [3]. Необходимо отметить, что наковальни такого типа проводят электрический ток, и их сопротивление практически не зависит от давления и температуры. Для нагружения КВД использовали низкотемпературный пресс, обеспечивающий возможность изменения давления при любой температуре образца в интервале 4.2–400 К. Более подробно методика эксперимента описана в [4].

Результаты эксперимента и их обсуждение

Обнаружено, что в результате сжатия под высоким давлением электрические свойства образцов меняются необратимо, в частности сопротивление увеличивается почти в полтора раза. На рис. 1 приведены типичные зависимости логарифма сопротивления от обратной температуры для образцов с разным содержанием примесей.

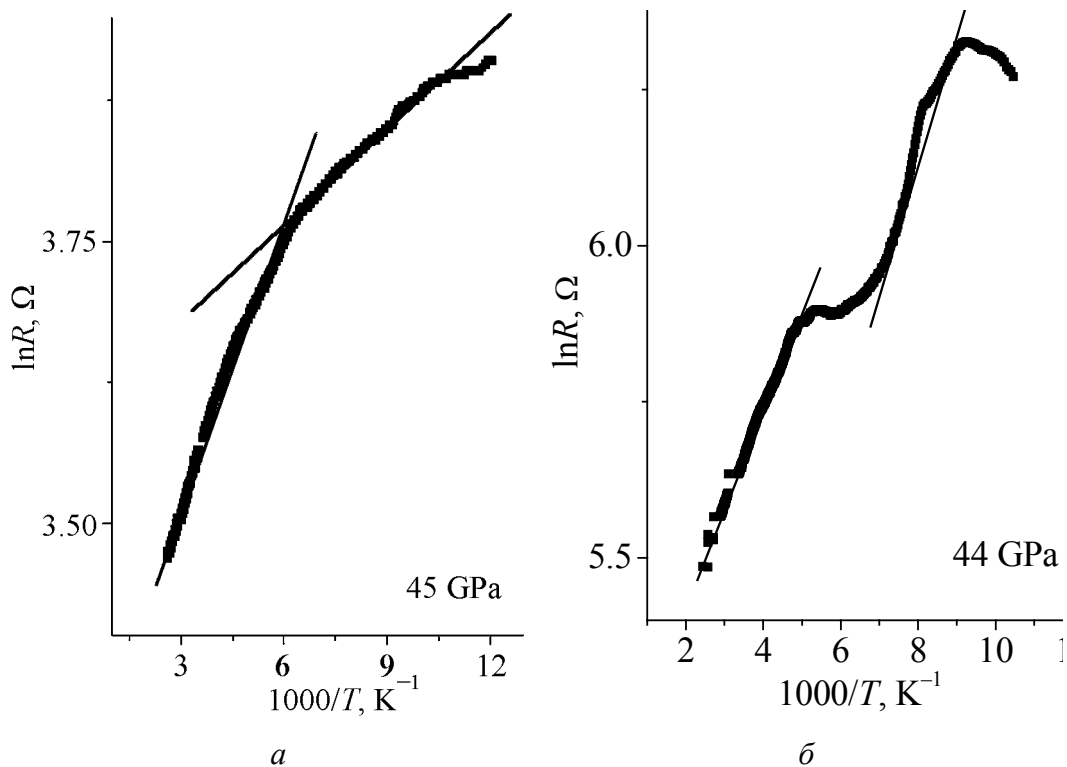


Рис. 1. Зависимости логарифма сопротивления от обратной температуры для образцов с 40- (а) и 90%-ным (б) содержанием ОУНТ

Видно, что и в первом, и во втором случаях можно выделить две области с различными значениями энергии активации, но на температурной зависимости сопротивления образца с высоким содержанием ОУНТ имеется еще и переходная область.

При сопоставлении барических зависимостей энергии активации образцов для двух температурных интервалов (рис. 2) также можно выделить некоторые общие черты.

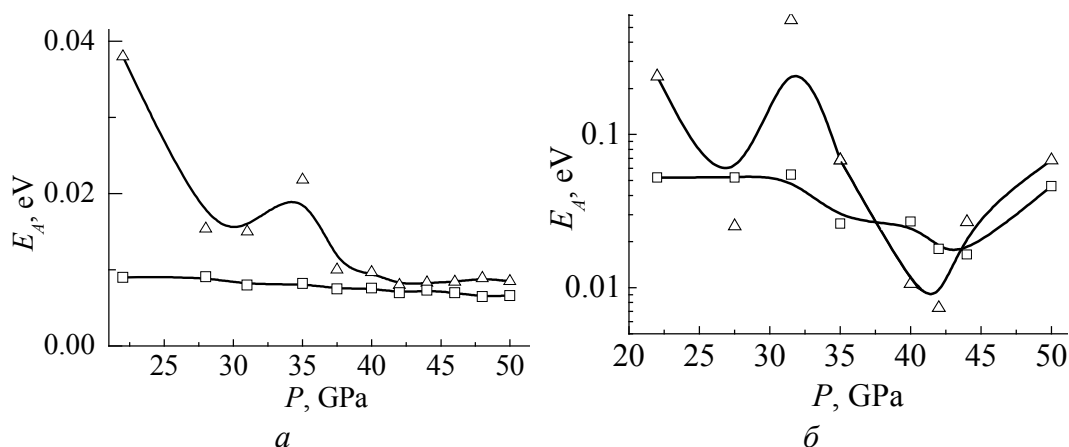


Рис. 2. Барические зависимости энергии активации образцов с 40- (а) и 90%-ным (б) содержанием ОУНТ для двух температурных интервалов: \square – $T < 250$ К, Δ – $T > 250$ К

Для образца с 40%-ным содержанием ОУНТ (рис. 2,а) при низкой температуре энергия активации мала (порядка тепловой энергии) и практически не меняется с ростом давления. С повышением температуры ее величина возрастает и в интервале от 25 до 37 GPa сильно меняется в зависимости от давления (экстремумы вблизи 30 и 35 GPa). Несмотря на малую величину энергии активации, наблюдаемые особенности можно связать с активационными процессами, т.к. подобные закономерности обнаружены и для образцов с 90%-ным содержанием ОУНТ (рис. 2,б). Величина энергии активации при $T > 250$ К значительно больше, чем в первом случае. В интервале от 25 до 37 GPa также имеются экстремумы, но они смещены в стороны меньших давлений, и возникает еще один минимум при 42 GPa. При температурах меньше 250 К величина энергии активации мала. Тем не менее особенности, возникающие на барической зависимости в интервале от 30 до 45 GPa, скорее всего связаны не с тепловыми эффектами, а с активационными процессами, поскольку в этом интервале давлений имеются экстремумы, такие же, как в предыдущих случаях.

Результаты проведенных исследований показали, что процентное содержание ОУНТ в образце, несомненно, влияет на характер изменения его электрических свойств под действием высоких давлений. Причем, чем чище образец, тем более детально можно проследить эти изменения. Таким образом, очевидно, что представленные в данной работе результаты отражают поведение электрических характеристик непосредственно компакта ОУНТ, а не примесей, содержащихся в образце.

1. А.В. Елецкий, УФН **172**, 402 (2002).
2. V.A. Karachevtsev, A.Yu. Glamazda, U. Dettlaff-Weglikowska, V.S. Kurnosov, E.D. Obratsova, A.V. Peschanskii, V.V. Eremenko, S. Roth, HiPCO SWNT: Raman spectroscopy at 300 and 5 K. Photoelectric and optic properties of fullerenes P128.

3. Л.Ф. Верещагин, Е.Н. Яковлев, Т.Н. Степанов, К.Х. Бибаев, Б.В. Виноградов, Письма в ЖЭТФ **16**, 240 (1972).
4. Я.Ю. Волкова, Г.В. Бабушкина, А.Н. Бабушкин, Метастабильные состояния и фазовые переходы, Сб. научных трудов ин-та теплофизики УрО РАН, вып. 5. 198 (2001).

A.N. Babushkin, Ya.Yu. Volkova, E.D. Obraztsova, O.V. Narygina

ELECTRIC PROPERTIES OF DIFFERENT TECHNOLOGY SINGLE-WALL CARBON NANOTUBES AT PRESSURES UP TO 50 GPa

Temperature dependences of resistance of samples of single-wall carbon nanotubes (SWNT) of different technology have been investigated in the pressure and temperature range between 20 and 50 GPa, and 100 and 400 K, respectively. Some peculiarities in behaviour of electric properties (resistance and activation energy) of samples have been found in the pressure range 27–42 GPa. These changes are irreversible.

Fig. 1. Temperature dependences of resistance of samples containing 40 (*a*) and 90% (*b*) of SWNT

Fig. 2. Baric dependences of activation energy of samples containing 40 (*a*) and 90% (*b*) of SWNT for two temperature ranges: \square – $T < 250$ K, Δ – $T > 250$ K