# Импедансная спектроскопия углеродных нанотрубок при высоких давлениях

*Соколовский Д.Н.* [1] , *Волкова Я.Ю.* [1]

*dmitry.sokolovsky@urfu.ru*
[1] УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Как известно, физические свойства нанотрубок определяются их геометрией, и могут быть изменены воздействием давления или напряжения, что может быть использовано при создании наноразмерных электромеханических связывающих устройств и преобразователей [1].

Под действием давления нанотрубки проходят через ряд преобразований, связанных с изменением формы поперечного сечения, что приводит к изменению типа проводимости нанотрубок [2]. В случае нанотрубок объединенных в жгуты, при воздействии давлений более 30 ГПа могут возникать связи между соседними нанотрубками. Подобные преобразования также должны сопровождаться изменением электрических свойств [3, 4].

Исследования влияния высокого давления на комплексное сопротивление углеродных нанотрубок проводились с использованием камер высокого давления типа «закругленный конус – плоскость» с наковальнями, изготовленными из синтетических алмазов «карбонадо». Размер образца в такой камере составлял около 200 мкм, а толщина слоя порядка 20 мкм.

Для получения частотных спектров импеданса использовался измеритель импеданса Solartron FRA-1172, амплитуда синусоидального сигнала составляла 10 мВ, диапазон сканирования частоты от 50 Гц до 200 кГц. Частотные зависимости комплексного сопротивления анализировались графоаналитическим методом с использованием программных пакетов Boucamp и Z-View 2.3.

В диапазоне давлений до 27 ГПа годографы импеданса одностенных углеродных нанотрубок представляют собой две перекрывающиеся окружности, а при более высоких давлениях наблюдалась только одна такая окружность. Импеданс имеет наибольшую емкостную составляющую при давлении 23 ГПа. Полученные результаты хорошо согласуются с ранее проведенными исследованиями влияния высокого давления на термоэлектрические характеристики нанотрубок [5]. Так, наблюдаемые особенности при давлении около 23 ГПа могут свидетельствовать о фазовых переходах второго рода, обусловленных формированием двумерных или трехмерных структур на основе нанотрубок, а также процессами разрушения структуры нанотрубок наибольших диаметров.

**Ссылки**

1. J. Lee, J. Kim, Y. Shin, and I. Jung, Composites Part B: Engineering (2019) 177, 107364.
2. J. Wu, J. Zang, B. Larade, H. Guo, X.G. Gong, and F. Liu, Physical Review B (2004) 69, 153406.
3. L.A. Chernozatonskii, M. Menon, T.Yu. Astakhova, and G.A. Vinogradov, JETP Letters (2001) 74, p. 467.
4. M. Hu, Z. Zhao, F. Tian, A.R. Oganov, Q. Wang, M. Xiong, C. Fan, B. Wen, J. He, D. Yu, H.-T. Wang, B. Xu and Y. Tian, Scientific Reports (2013) 3, p. 1331.
5. D.N. Sokolovsky, Ya.Yu. Volkova, and A.N. Babushkin, Nanobiotechnology Reports (2022) 17, p. 484.