

## **Импедансная спектроскопия углеродных нанотрубок при высоких давлениях**

*Соколовский Д.Н.<sup>1</sup>, Волкова Я.Ю.<sup>1</sup>*

*dmitry.sokolovsky@urfu.ru*

<sup>1</sup> 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 Vocsamp 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.