

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ДЕФЕКТОВ НА СТРУКТУРУ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

А.Д. Шпорин^{1), 2)}, О.М. Марченко^{1), 3)}, А.П. Евсеев^{1), 2)}, Е.А. Воробьева¹⁾, Ю.В. Балакшин¹⁾,
Д.К. Миннебаев^{1), 2)}, А.А. Шемухин^{1), 2)}

¹⁾Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,
Ленинские горы 1, Москва 119991, Россия, shporin.ad16@physics.msu.ru,
oleg.marchenko.99@bk.ru, ap.evseev@physics.msu.ru, vorkate89@mail.ru,
balakshiny@gmail.com, minnebaev.dk17@physics.msu, shemuhin@gmail.com

²⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Ленинские горы 1, Москва 119991, Россия

³⁾Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»,
Ленинский пр. 4, Москва 119049, Россия

Предметом исследования являлись образцы спрессованных многостенных углеродных нанотрубок различных диаметров. В работе проводилась модификация таблеток МУНТ под действием ионного облучения аргона с энергией 8 кэВ, флюенс облучения составлял 10^{15} ион/см². В результате облучения образцов степень дефектности изменяется, что приводит к изменению проводимости исходных образцов. При помощи спектроскопии комбинационного рассеяния проанализировано разупорядочивание структуры МУНТ до и после ионного облучения, сделана качественная оценка о росте дефектности после облучения, а также было получено, что у МУНТ разного диаметра рост степени дефектности различен. В работе построены ВАХ образцов при прямом подключении контактов к поверхности. Представлены данные изменения проводимости у таблеток МУНТ различных диаметров, а также сделано предположение об их модификациях.

Ключевые слова: многостенные углеродные нанотрубки; спектроскопии комбинационного рассеяния; ионное облучение; проводимость.

THE EFFECT OF RADIATION-INDUCED DEFECTS ON THE STRUCTURE AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF MULTI-WALLED CARBON NANOTUBES

A.D. Shorin^{1), 2)}, O.M. Marchenko^{1), 3)}, A.P. Evseev^{1), 2)}, E.A. Vorobyova¹⁾, Yu.V. Balakshin¹⁾,
D.K. Minnebaev^{1), 2)}, A.A. Shemukhin^{1), 2)}

¹⁾Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia,
oleg.marchenko.99@bk.ru, ap.evseev@physics.msu.ru, vorkate89@mail.ru,
balakshiny@gmail.com, minnebaev.dk17@physics.msu, shemuhin@gmail.com

²⁾Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³⁾NUST MISIS, Moscow, Russia

The subject of the study were samples of compressed multi-walled carbon nanotubes of various diameters. In the work, the modification of MUNT tablets was carried out under the action of ion irradiation of argon with an energy of 8 keV, the irradiation fluence was 10^{15} ion / cm². As a result of irradiation of the samples, the degree of defect changes, which leads to a change in the conductivity of the initial samples. The Raman spectroscopy was used to analyze the disordering of the MWNT structure before and after ion irradiation, a qualitative assessment was made about the growth of defectiveness after irradiation, and it was also found that the growth of the degree of defectiveness in MWNT of different diameters is different. In the work, the current–voltage characteristic (CVC) samples are constructed when the contacts are directly connected to the surface. Data on changes in the conductivity of MWNT tablets of various diameters are presented, and an assumption is made about their modifications.

Keywords: ion beams; Raman spectroscopy; multi-walled carbon nanotubes (MWNT); conductivity.

Введение

Последние годы ознаменовались интенсивным развитием нового направления науки и техники - нанотехнологий, позволяющих создавать новые материалы и структуры, обладающие принципиально новыми свойствами. Среди таких структур большой интерес представляют углеродные нанотрубки (УНТ). Углеродные нанотрубки чрезвычайно привлекательны для современных высоких технологий благодаря своим механическим и электронным свойствам, миниатюрным размерам, и инертности углерода.

Использование ускоренных ионов дает возможность вводить любые требуемые химические элементы или создавать дефекты структуры и получать концентрации примесей и распределения, представляющие особый интерес. Ионное облучение энергичными частицами может быть использовано для изменения структуры и свойств углеродных нанотрубок. Это важный метод модификации материалов и настройки свойств путем имплантации чужеродных атомов в решетку или путем создания дефектов и повреждений контролируемым образом. УНТ обладают низким удельным сопротивлением, сопоставимым с проводящими материалами. Во время облучения ионами происходит модифицирование наноструктуры, что существенно влияет на ее проводимость.

Углеродные нанотрубки были впервые открыты Сумио Иидзимой в 1991 году [1]. С концептуальной точки зрения УНТ представляют собой аллотропные формы углерода, полученные путем скатывания листов графена в бесшовные цилиндрические формы. В зависимости от количества листов, свернутых в концентрические цилиндры, существуют две широкие категории, а именно одностенные углеродные нанотрубки (ОУНТ) и многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ).

Методика эксперимента

В этом исследовании используются два типа МУНТ: неориентированные «Таунит»

(Т) и «Таунит-М» (ТМ), это коммерчески производимые углеродные нанотрубки. «Т» представляет собой порошок МУНТ диаметром десятки нанометров, в то время как нанотрубки «ТМ» намного тоньше, их диаметр не превышает 15 нм. В ходе выполнения работы производилось облучение таблеток МУНТ пучками ионов аргона с энергиями 8 кэВ и флюенсом 10^{15} ион/см². Облучения проводились на низкоэнергетическом имплантере, входящем в состав ЦКП «Ускорительный комплекс МГУ».

Результаты и их обсуждение

Спектры КРС МУНТ представлены на рис. 1-2. Полученные спектры содержат хорошо различимые особенности, присущие графитоподобным материалам [2]: D(1360 см⁻¹), G(1576 см⁻¹), D+D''(2438 см⁻¹), 2D(2714 см⁻¹), D+D'(2935 см⁻¹), 2D'(3223 см⁻¹). Особое внимание при разложении пиков было отведено D и G пикам. Наличие D-пика свидетельствует о наличии дефектов в структуре и искаженных углеродных кольцах [3], расширение D-пика свидетельствует о том, что количество структурно искаженных колец увеличивается, т.е. повышается степень разупорядоченности системы, а увеличение высоты D-пика свидетельствует об общем увеличении количества дефектов всех типов.

Главным качественным показателем количества дефектов является отношение $\frac{I_D}{I_G}$. Было получено, что разупорядочение МУНТ серии Т после ионного облучения происходит интенсивнее ($\frac{I_D}{I_G} = 2.3604$), чем МУНТ серии ТМ ($\frac{I_D}{I_G} = 1.8558$).

После облучения МУНТ ионами аргона проводимость образцов Т уменьшалась с 2015 до 1780 1/(Ом м), в то же время проводимость образцов ТМ не изменилась. Погрешность, при измерении проводимости не превышала 5%.

Получены вольт-амперные характеристики образцов углеродных трубок до и

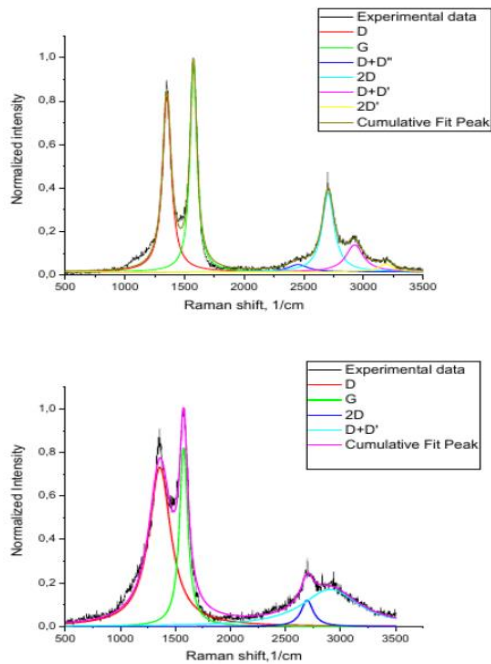


Рис. 1. Спектр комбинационного рассеяния света МУНТ серии ТМ, необлученный образец верхний рисунок и облученный нижний

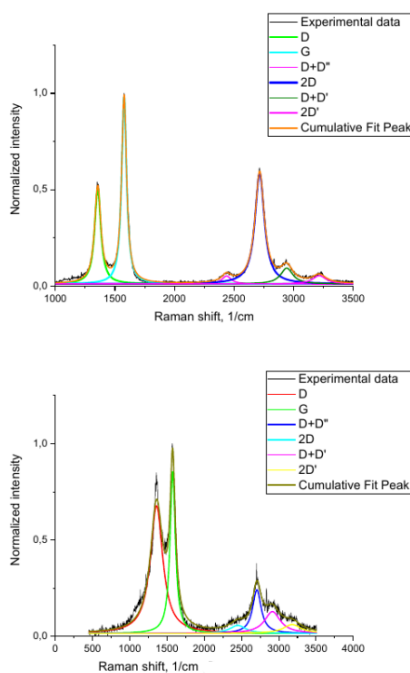


Рис. 2. Спектр комбинационного рассеяния света МУНТ серии Т, необлученный образец верхний рисунок и облученный нижний

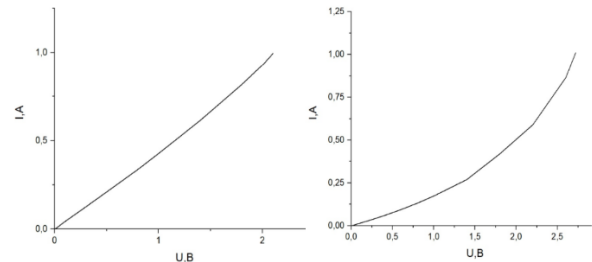


Рис. 3. Вольт-амперная характеристика образца серии Т, до и после облучения

после облучения рис. 3.

Заключение

При облучении аргоном энергией 8 кэВ и дозе 10^{15} ион/см² количество дефектов в образцах «Т» выше, чем в «ТМ». Экспериментально показано, что после облучения МУНТ углеродные трубки серии Т показывают характерное для стабилитрона поведение ВАХ. При этом у образцов серии ТМ осталась прежняя проводимость.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, соглашение № 075-15-2021-1353.

Библиографические ссылки

1. Iijima S., Helical microtubules of graphitic carbon. Nature 1991; 354(6348): 56–58.
2. Chechenin N.G., Chernykh P.N., Vorobyeva E.A., Timofeev O.S. Applied Surface Science 2013; 275: 217-221.
3. Ferrari A.C., Basko D. M. Nature nanotechnology 2013; 8(4): 235-46.