

# IRRADIATION EFFECT ON THE RAMAN SPECTRA OF SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBES

**O.P. Dmytrenko**<sup>\*(1)</sup>, **M.P. Kulish**<sup>(1)</sup>, **M.M. Biliy**<sup>(1)</sup>, **V.O. Gubanov**<sup>(1)</sup>, **M.V. Makarets**<sup>(1)</sup>,  
**Yu.I. Prylutskyy**<sup>(2)</sup>, **P. Eklund**<sup>(3)</sup>, **V.V. Shlapatskaya**<sup>(4)</sup>, **J. Ulanski**<sup>(5)</sup>, **R. Wojcichowski**<sup>(5)</sup>

Kyiv National Shevchenko University, Departments of <sup>(1)</sup>Physics and <sup>(2)</sup>Biophysics,  
Volodymyrska Str., 64, 01033 Kyiv, Ukraine

<sup>(3)</sup>Penn State University, Department of Physics, University Park, Pennsylvania 16802-6300, USA

<sup>(4)</sup>Institute of Physical Chemistry of NAS of Ukraine, pr. Nauly, 03028 Kyiv, Ukraine

<sup>(5)</sup>Technical University of Lodz, Faculty of Chemistry, Department of Molecular Physics,  
ul. Zeromskiego 116, 90-924 Lodz, Poland

## Introduction

The physical properties of single-walled carbon nanotubes (SWCNT) are determined by their chiral configuration [1], to each of which corresponds its radius and, correspondingly, its set of the Raman frequencies [2-3]. With a change in the geometric structure of SWCNT change the relative intensities of Raman bands [4]. Since the presence of structural defects in the SWCNT must influence their electronic and mechanical properties, then should be expected the manifestation of the influence of defects on a change in the Raman spectra. Some of the effective methods of the creation of radiation defects are  $\gamma$ - and electronic irradiation. The types of different defects, which appear as a result of SWCNT irradiation by electrons, are considered, in particular, in the papers [5-6].

In the present work the radiation-induced modification of Raman vibrational states of the SWCNT bundles is studied at  $\gamma$ - (20 MRad) and electronic (10 MRad) irradiation. The electronic irradiation at room temperature was carried out with the use of a linear accelerator with the energy of electrons 1.85 MeV and the power of flow 1.0 MRad/s. The cobalt gun  $C^{60}$  was used for the  $\gamma$ -irradiation of SWCNT bundles.

## Results and Discussion

Fig. 1 gives the Raman spectra of SWCNT bundles in the initial (curve 1) and irradiated states (curve 2). The observed spectral bands correspond to the active vibrational modes

with the  $A_g$ ,  $E_{1g}$  and  $E_{2g}$  symmetry. The frequency of the breathing vibrational modes of the SWCNT bundles, which correspond to the low-frequency spectral bands, testify about their belonging to the "armchair" SWCNT with the chirality index  $n=12$ , 11 and 10. The theoretical values of frequencies for these SWCNT bundles are equal to 146, 159 and 175  $cm^{-1}$ , respectively [2]. At the same time the carried out micro Raman investigations testify about the preferred content of "armchair" SWCNT with  $n=11$  in the bundles (insert in Fig. 1).

During irradiation of the SWCNT bundles does occur a sharp change in the ratios of intensity between the characteristic bands, which correspond to the frequencies of tangential mode 1583, 1562  $cm^{-1}$  and "disordered" mode 1332  $cm^{-1}$ . The irradiation leads to a relative increase in the intensity of Raman band with a frequency of 1332  $cm^{-1}$ . It is possible to note also the increase of the intensity of this band in comparison with the intensity of band with a frequency of 2265  $cm^{-1}$ . Thus, it is possible to assume that electronic and  $\gamma$ -irradiation even with the insignificant fluence has a significant influence on the Raman spectrum that it is the result of the radiation damages of SWCNT.

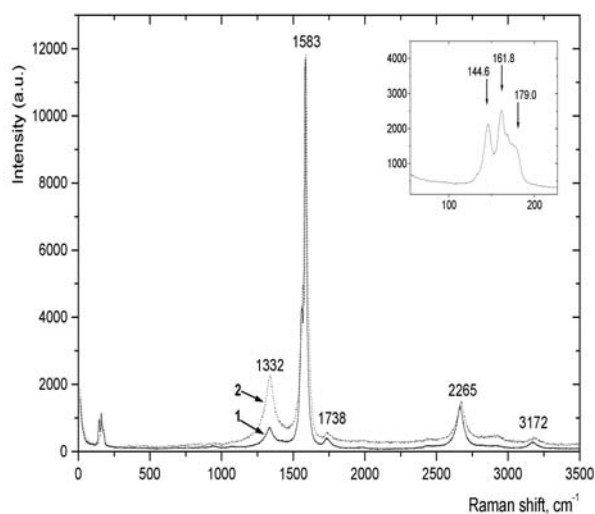
## Acknowledgements

O.P.D. is grateful to the Polish Academy of Sciences for providing the Mianowskiego Scholarship to carry out this research work.

\*Fax: +380 44 252 08 27, E-mail: o\_dmytrenko@ua.fm

## References

1. Saito R, Dresselhaus G, Dresselhaus MS. Physical Properties of Carbon Nanotubes. Singapore: Imperial College Press, 1998.



**Fig. 1.** Raman spectra for initial SWCNT (curve 1) and SWCNT irradiated by electrons (curve 2) at the 10 MRad dose.

2. Kurti Y, Kuzmany H, Burger B, Hulman M, Rinzler AG, Smalley RE. Resonance raman scattering of the radial breathing mode in single wall carbon nanotubes. *Electronic Properties of Novel Materials: XII International Winterschool*, 1998; 101-106.

3. Williams KA, Tachibana M, Allen YL, Crigorian L, Cheng SC, Fang SL, Sumanasekera GH, Loper AL, Williams YH, Eklund PS. Single-wall carbon nanotubes from coal. *Chem. Phys. Lett.* 1999; 310: 31-37.

4. Jishi RA, Venkataraman L, Dresselhaus MS, Dresselhaus G. Phonon modes in carbon nanotubules. *Chem. Phys. Lett.* 1993; 209: 77-82.

5. Banhart F. Structural transformations in carbon nanoparticles induced by electron irradiation. *Fiz.Tv. Tela* 2002; 44: 388-392.

6. Krashennnikov AV, Nordlund K. Signatures of irradiation-induced defects in scanning-tunneling microscopy images of carbon nanotubes. *Fiz. Tv. Tela* 2002; 44: 452-454.

# ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА ОДНОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

О.П. Дмитренко<sup>\*(1)</sup>, Н.П. Кулиш<sup>(1)</sup>, Н.М. Белый<sup>(1)</sup>, В.А. Губанов<sup>(1)</sup>, Н.В. Макарец<sup>(1)</sup>, Ю.И. Прилуцкий<sup>(2)</sup>, П. Эклунд<sup>(3)</sup>, В.В. Шлапацкая<sup>(4)</sup>, Я. Улански<sup>(5)</sup>, Р. Войцеховски<sup>(5)</sup>

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, <sup>(1)</sup>Физический и <sup>(2)</sup>биологический факультеты, ул. Владимирская, 64, 01033 Киев, Украина

<sup>(3)</sup>Penn State University, Department of Physics, University Park, Pennsylvania 16802-6300, USA

<sup>(4)</sup>Институт физической химии НАН Украины, пр. Науки, 03028 Киев, Украина

<sup>(5)</sup>Technical University of Lodz, Faculty of Chemistry, Department of Molecular Physics, ul. Zeromskiego 116, 90-924 Lodz, Poland

## Введение

Физические свойства однослойных углеродных нанотрубок (ОУНТ) определяются их хиральной конфигурацией [1], каждой из которых соответствует свой радиус и, соответственно, свой набор частот спектров комбинационного рассеяния света (КРС) [2-3]. С изменением геометрической структуры ОУНТ изменяются относительные интенсивности линий КРС [4]. Так как присутствие структурных дефектов в ОУНТ должно влиять на их электронные и механические свойства, то следует ожидать проявления влияния дефектов на изменение спектров КРС. Одними из эффективных методов создания радиационных дефектов являются  $\gamma$ - и электронное облучение. Типы различных дефектов, которые возникают в результате облучения ОУНТ электронами, рассматриваются, в частности, в работах [5-6].

В настоящей работе изучена радиационная модификация колебательных состояний при  $\gamma$ - (20 МРад) и электронном (10 МРад) облучении пучков ОУНТ путем изучения их спектров КРС. Электронное облучение при комнатной температуре было проведено с использованием линейного ускорителя ИЛУ-6 при энергии электронов 1.85 МэВ и мощности потока 1.0 МРад/с. Для  $\gamma$ -облучения ОУНТ применялась кобальтовая пушка  $C^{60}$ .

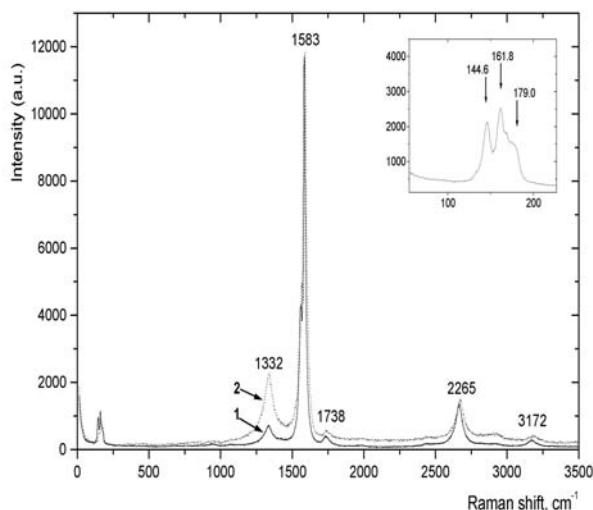
## Результаты и обсуждение

На Рис. 1 приведены спектры КРС пучков ОУНТ в исходном (кривая 1) и облученном состояниях (кривая 2). Наблюдаемые линии спектра соответствуют активным колебательным модам с симметрией  $A_g$ ,  $E_{1g}$  и  $E_{2g}$ . Частоты дыхательных колебательных мод ОУНТ, которые соответствуют низкочастотным линиям спектра, свидетельствуют об их принадлежности к «armchair» ОУНТ с индексом хиральности  $n=12$ , 11 и 10. Теоретические значения частот для этих ОУНТ соответственно равны 146, 159 и 175  $cm^{-1}$  [2]. В то же время проведенные детальные спектральные микроисследования свидетельствуют о преимущественном содержании в пучке «armchair» ОУНТ с  $n=11$  (вставка на Рис. 1).

При облучении ОУНТ имеет место резкое изменение соотношений интенсивности между характерными линиями, соответствующими частотам тангенциальной моды 1583, 1562  $cm^{-1}$  и «разупорядоченной» моды 1332  $cm^{-1}$ . Облучение приводит к относительному росту интенсивности линии КРС с частотой 1332  $cm^{-1}$ . Можно заметить также возрастание интенсивности этой линии по сравнению с интенсивностью линии с частотой 2265  $cm^{-1}$ .

Таким образом, можно предположить, что электронное и  $\gamma$ -облучение даже при незначительном флюенсе оказывает значительное влияние на спектр КРС, что является результатом радиационных повреждений ОУНТ.

\*Fax: +380 44 252 08 27, E-mail: o\_dmytrenko@ua.fm



**Рис. 1.** Спектры КРС для исходных ОУНТ (кривая 1) и облученных электронами (кривая 2) при дозе 10 МРад.

О.П.Д. выражает признательность Польской Академии Наук за предоставленный ей грант (Стипендия Мияновского) для выполнения этой работы.

## Литература

1. Saito R, Dresselhaus G, Dresselhaus MS. Physical Properties of Carbon Nanotubes. Singapore: Imperial College Press, 1998.
2. Kurti Y, Kuzmany H, Burger B, Hulman M, Rinzler AG, Smalley RE. Resonance raman scattering of the radial breathing mode in single wall carbon nanotubes. Electronic Properties of Novel Materials: XII International Winterschool, 1998; 101-106.
3. Williams KA, Tachibana M, Allen YL, Crigorian L, Cheng SC, Fang SL, Sumanasekera GH, Loper AL, Williams YH, Eklund PS. Single-wall carbon nanotubes from coal. Chem. Phys. Lett. 1999; 310: 31-37.
4. Jishi RA, Venkataraman L, Dresselhaus MS, Dresselhaus G. Phonon modes in carbon nanotubes. Chem. Phys. Lett. 1993; 209: 77-82.
5. Banhart F. Structural transformations in carbon nanoparticles induced by electron irradiation. ФТТ 2002; 44: 388-392.
6. Krasheninnikov AV, Nordlund K. Signatures of irradiation-induced defects in scanning-tunneling microscopy images of carbon nanotubes. ФТТ 2002; 44: 452-454.