

ПОЛУЧЕНИЕ ГИБРИДНЫХ 3D-НАНО/МИКРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН

**Милеева Ж.А., Боголепов В.А.⁽¹⁾, Щур Д.В.^{(1)*}, Загинайченко С.Ю.⁽¹⁾, Бегенев В.А.⁽¹⁾,
Шабалин И.Л., Росс Д.К., Золотаренко А.Д.**

University of Salford, Greater Manchester M5 4WT, UK

⁽¹⁾ Институт проблем материаловедения им И.Н. Францевича НАН Украины,
ул. Кржижановского 3, 03142 Киев, Украина

Fax: 38(044) 424-0381; E-mail: shurzag@ipms.kiev.ua

Введение

Разработка оптимальных углеродных структур для создания перспективных функциональных (гибридных) и конструкционных композиционных материалов является на сегодняшний день важнейшей материаловедческой задачей. Решение этой проблемы позволит повысить эффективность использования углеродных каркасов в композициях с самыми различными веществами (металлами, пластиками, керамиками), а также их применения в качестве специальных пористых (проницаемых) матриц. С другой стороны успешная реализация потенциальных свойств наноглерода (фуллерены, нанотрубки, графены) в промышленных изделиях возможна лишь с развитием новых комбинированных материалов, способных обеспечить необходимый уровень технологичности производства.

В настоящей работе представлены результаты исследований строения углеродных нанотрубок (УНТ), синтезированных на поверхности углеродных волокон пиролизическим методом с использованием неметаллических катализаторов (3D-нано/микроструктуры).

Результаты и обсуждение

Для проведения исследований была использована установка пиролизического синтеза с переменным углом наклона реактора (Рис. 1). Экспериментально было показано, что процессы конвекции и гравитации, зависящие от положения реактора, существенно влияют на формирование нанобъектов.

Исследование синтеза УНТ проводили в интервале температур 350 – 800 °С на поверхности углеродного волокна (с размерами поперечного сечения филаментов от 4 до 10 мкм), которое предварительно пропитывалось неметаллическими катализаторами. В качестве прекурсора использовали газовую смесь ацетилена и гелия.



Рис. 1. Установка пиролизического синтеза с переменным углом наклона реактора.

Морфологию и строение полученных образцов изучали методами SEM/EDX с помощью комплекса Philips XL 30 SFEG.

При оптимальных условиях обработки углеродного волокна ($T=630^{\circ}\text{C}$, $\gamma=50^{\circ}$) на его поверхности формировались углеродные нанобъекты с достаточно высокой адгезией по отношению к субстрату (Рис. 2).

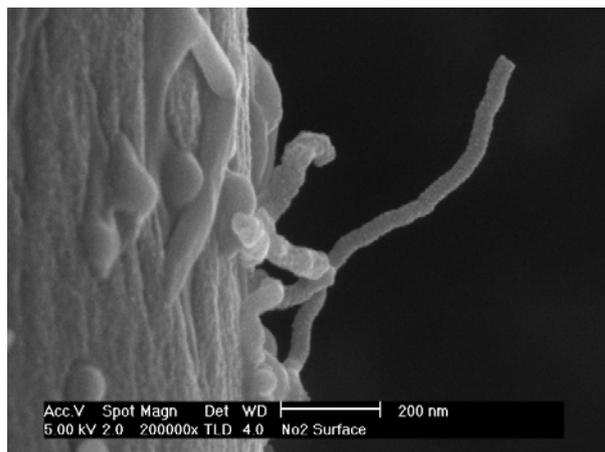


Рис. 2. Рост нанотрубки с поверхности нити.

Наибольший интерес представляли собой формы самих нанобразований, а также их строение. На поверхности нитей были обнаружены углеродные нанобъекты (трубки и волокна различного диаметра от 15 нм до 0.5 мкм).

В результате исследований были обнаружены корреляции режимов обработки с

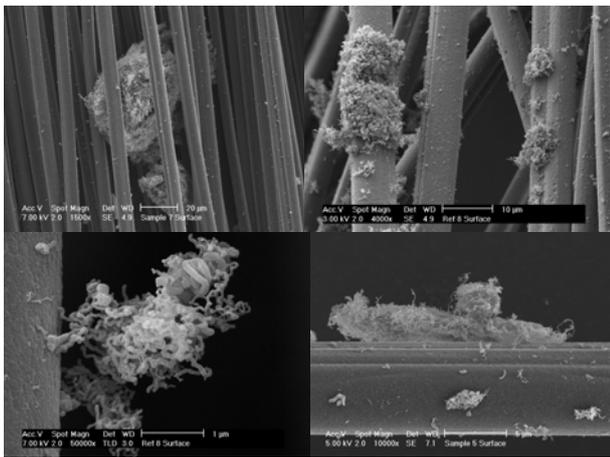


Рис. 3. Кластеры наноструктур на поверхности нитей волокна.

характеристиками наноструктур. Выявлено несколько типов образований: густая сеть “клубков” (нанотрубок диаметром 10 – 15 нм), полые нанотрубки (как правило, диаметром 20 – 150 нм), “сросшиеся” нанотрубки (100 – 200 нм) и нанотрубки большего диаметра (до 0.5 мкм), имеющих форму скрученной сигары или бутона (Рис. 3, 4).

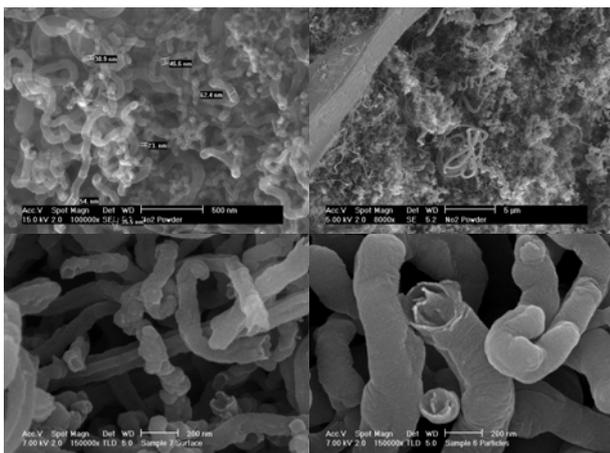


Рис. 4. Структура осажденных нанотрубок.

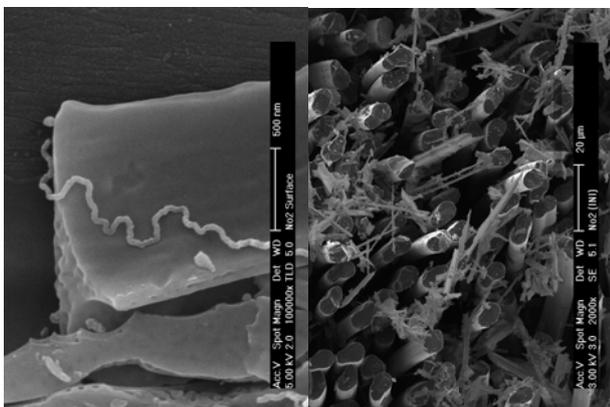


Рис. 5. Пироуглеродные структуры межволоконного пространства.

В зависимости от природы исходных углеродных волокон и режимов обработки в

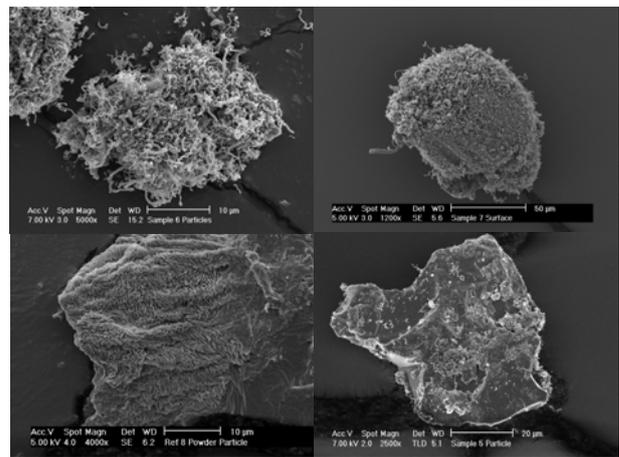


Рис. 6. Частицы порошков с поверхности обработанных волокон.

межнитевом пространстве волокна иногда образовывались пироуглеродные структуры различных форм: от плоских игольчатых (зазубренных) до объемных гладких псевдо-треугольных в сечении (с отрицательной кривизной) (Рис. 5).

Осыпаемость депозитов с поверхности обработанных волокон была различной, равно как и структура осыпавшихся частиц, представлявших собой “клубки” нанотрубок, пироуглеродные образования и нанотрубки, сплетенные вокруг них (Рис. 6).

Заключение

Осажденные из газовой фазы наноструктуры, формирующие целые массивы на поверхности углеродных филаментов, обладают достаточно высокой адгезией к подложке. Распределение таких наноскоплений по объему углеродного жгута различно в зависимости от условий синтеза. Углеродные волокна с кластерами наноструктур характеризуются развитой удельной поверхностью, что позволит применять их в качестве активных углеродных матриц в процессах сорбции. Разработанный метод может быть использован для получения гибридных 3D-нано/микроструктур на основе углеродных волокон с различными характеристиками.

Благодарность

Работа выполнена в рамках проекта УНТЦ 4012.

Литература

1. Tarasov Tarasov Boris P, Muradyan Vyacheslav E, Shul'ga Yuri M, Krinichnaya Elena P, Kuyunko Nina S, Efimov Oleg N, Obratsova Elena D, Schur Dmitry V, Maehlen Jan Petter, Yartys Volodymyr A; Synthesis of carbon nanostructures by arc evaporation of graphite rods

- with Co–Ni and YNi₂ catalysts, *Carbon*, 41, 7, 1357-1364, 2003 Pergamon
2. Schur DV, Zaginaichenko S Yu, Adejev VM, Voitovich VB, Lyashenko AA, Trefilov VI; Phase transformations in titanium hydrides, *International journal of hydrogen energy*, 21, 11, 1121-1124, 1996 Pergamon
 3. Schur DV, Tarasov BP, Zaginaichenko S Yu, Pishuk VK, Veziroglu TN, Shul'ga Yu M, Dubovoi AG, Anikina NS, Pomytkin AP, Zolotarenko AD; The prospects for using of carbon nanomaterials as hydrogen storage systems *International journal of hydrogen energy*, 27, 10, 1063-1069, 2002 Pergamon
 4. Tarasov BP, Shul'ga Yu M, Fokin VN, Vasilets VN, Shul'ga N Yu, Schur DV, Yartys VA; Deuterofullerene C₆₀D₂₄ studied by XRD IR and XPS, *Journal of alloys and compounds*, 314, 1, 296-300, 2001, Elsevier
 5. Shul'ga Yu M, Tarasov BP, Fokin VN, Martynenko VM, Schur DV, Volkov GA, Rubtsov VI, Krasochka GA, Chapusheva NV, Shevchenko VV; Deuterofullerenes, *Carbon*, 41, 7, 1365-1368, 2003, Elsevier
 6. Schur Dmitry V, Tarasov Boris P, Shul'ga Yuriy M, Zaginaichenko Svetlana Yu, Matysina Zinaida A, Pomytkin Anatoliy P; Hydrogen in fullerites *Carbon*, 41, 7, 1331-1342, 2003, Elsevier
 7. Tarasov BP, Fokin VN, Moravsky AP, Shul'ga Yu M, Yartys VA, Schur DV; Promotion of fullerene hydride synthesis by intermetallic compounds, *HYDROGEN ENERGY PROGRESS*, 2, 1221-1230, 1998
 8. Schur DV, Zaginaichenko S Yu, Matysina ZA, Smityukh I, Pishuk VK; Hydrogen in lanthan–nickel storage alloys, *Journal of alloys and compounds*, 330, 70-75, 2002 Elsevier
 9. ВИ Трефилов, ДВ Щур, СЮ Загинайченко; Фуллерены-основа материалов будущего, 2001 Laboratory 67
 10. ЗА Матysiна, СЮ Загинайченко, ДВ Щур; Порядки различного типа в кристаллах и фазовые превращения в углеродных материалах, 2005 Laboratory 67
 11. ДВ Щур, ЗА Матysiна, СЮ Загинайченко; Углеродные наноматериалы и фазовые превращения в них, 2007 Laboratory 67
 12. Матysiна ЗА, Щур ДВ, Водород и твердофазные превращения в металлах сплавов и фуллеритах, 2002 Laboratory 67
 13. Anikina NS, Schur DV, Zaginaichenko SYu, Zolotarenko AD, Krivushenko OYa; The role of chemical and physical properties of C₆₀ fullerene molecules and benzene derivatives in processes of C₆₀ dissolving, *Proceedings of 10th International Conference “Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials”*, Sudak, Crimea, Ukraine 2007
 14. Anikina NS, Zaginaichenko SYu, Maistrenko MI, Zolotarenko AD, Sivak GA, Schur DV, Teslenko LO; Spectrophotometric Analysis of C₆₀ and C₇₀ Fullerenes in the Toluene Solutions, *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials*, 207-216, Springer (2005)
 15. Zaginaichenko SYu, Anikina NS, Zolotarenko AD, Krivushenko OJ, Schur DV; Regularity of C₆₀ fullerene dissolving in methyl derivatives of benzene, *Proceedings of 10th International Conference “Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials”*, Sudak Crimea Ukraine, 668-671 (2007)
 16. Anikina NS, Schur DV, Zaginaichenko SYu, Zolotarenko AD, Krivushenko OYa; On the donor-acceptor mechanism of C₆₀ fullerene dissolving in aromatic hydrocarbons, *Proceedings of 10th International Conference “Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials”*, Sudak, Crimea Ukraine 2007
 17. Schur D, Astratov N, Pomytkin A, Zolotarenko A, Shaposhnikova T; Protection of Securities by the Application of Fullerenes *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials*, 203-206, Springer (2005)
 18. Zolotarenko A, Savenko A, Antropov A, Maistrenko M, Vlasenko A, Pishuk V, Skorohod V, Schur D, Stepanchuk A, Boyko P; Effect of the Nature of the Reactor Wall Material on Morphology and Structure of Products Resulted from Arc Graphite Sputtering, *Hydrogen materials science and chemistry of carbon nanomaterials*, 217-223, Springer (2005)
 19. Золотаренко АД; Особливості електродугового синтезу вуглецевих наноструктур їх термостійкість та воднеємність, Інститут проблем матеріалознавства ім ІМФранцевича НАН України (2009)
 20. Schur DV, Zaginaichenko SYu, Zolotarenko AD, Veziroglu TN; Solubility and Transformation of Fullerene C₆₀ Molecule, *Carbon Nanomaterials in Clean Energy Hydrogen Systems*, 85-95, Springer (2008)
 21. Schur DV, Dubovoy AG, Lysenko EA, Golovchenko TN, Zaginaichenko SYu, Savenko AF, Adeev VM, Kaverina SN; Synthesis of nanotubes in the liquid phase, *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials*, 147-151, Springer (2005)
 22. Schur DV, Zaginaichenko SYu, Lysenko EA, Golovchenko TN, Javadov NF; The forming peculiarities of C₆₀ molecule, *Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials*, 53-65, Springer (2008)
 23. Schur DV, Lavrenko VA, Adejev VM, Kirjakova IE; Studies of the hydride formation mechanism in metals, *International journal of*

hydrogen energy, 19 (3), 265-268, Pergamon (1994)

24. Головки Э.И., Пишук О.В., Золотаренко А.Д., Щур Д.В., Загинайченко С.Ю.; Дериватографическое исследование продуктов дугового испарения, полученных на различных подложках, Труды IX Международной Конференции Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов, Украина, 627-629, 2005

25. Аникина Н. С., Кривущенко О. Я., Щур Д. В., Загинайченко С. Ю., Чупров С. С., Мильто К. А., Золотаренко А.Д.; Идентификация эндоэдральных металлофуллеренов Методом uv-vis-спектроскопии, Труды IX Международной Конференции Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов, Украина, 848-849, 2005,

26. Аникина Н.С., Щур Д.В., Загинайченко С.Ю., Золотаренко А.Д., Мильто К.А., Кривущенко О.Я.; ,Определение величины соотношения фуллеренов C60 и C70 методом абсорбционной спектроскопии, Труды IX Международной Конференции Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов, Украина, 857, 2005

27. Золотаренко А.Д., Мильто О.В., Золотаренко Ал.Д., Золотаренко Ан.Д., Шапошникова Т.И., Адеев В.М., Котко А.В., Загинайченко С.Ю., Щур Д.В.; Осаждение катализаторсодержащих углеродных наноструктур на протонпроводящие полимерные мембраны методом электрофореза, Труды IX Международной Конференции Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов, Украина, 1076-1077, 2005

28. Золотаренко Ал.Д., Золотаренко Ан.Д., Золотаренко А.Д., Адеев В.М., Котко А.В., Коваль А.Ю., Фирстов С.А., Щур Д.В., Мильто О.В., Загинайченко С.Ю.; Синтез платиносодержащих углеродных наноструктур, Труды IX Международной Конференции Водородное материаловедение и химия углеродных наноматериалов, Украина, 1017-1019, 2005

29. Schur DV, Dubovoy AG, Zaginaichenko S, Adejev VM, Kotko AV, Bogolepov VA, Savenko AF, Zolotareno AD, Firstov SA, Skorokhod VV; Synthesis of carbon nanostructures in gaseous and liquid medium, Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials, 199-212, 2007, Springer Netherlands

30. Rogozinskaya A.A., Savenko A.F., Rogozinskiy A.A., Zolotareno A.D., Schur D.V.; Structure of hydrogenated fullerite, Proceedings of X International Conference Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials, Ukraine, 554-555, 2007

31. Schur D.V., Savenko A.F., Matysina Z.A., Zaginaichenko S.Yu., Zolotareno A.D., Zolotareno Al.D., Zolotareno An.D.; I. Hydrogenation of fullerite (experimental results), Proceedings of X International Conference Hydrogen Materials Science and Chemistry of Carbon Nanomaterials, Ukraine, 712-713, 2007