

КРАТКАЯ АННОТАЦИЯ РАБОТЫ

«Создание ориентированных массивов многослойных углеродных нанотрубок с помощью струйной печати предшественников катализаторов»

Красников Дмитрий Викторович

Введение

Углеродные нанотрубки (УНТ) являются материалом перспективным для использования в таких областях науки и техники как наноэлектроника, альтернативная энергетика, аэрокосмическая и строительная промышленность ввиду наличия уникальных механических, электрофизических, тепловых свойств [1,2]. При этом эффективность использования данного материала в каждом конкретном приложении зависит от наличия определенного набора свойств УНТ, которые в свою очередь зависят от структуры и количества стенок индивидуальных трубок, степени их дефектности [3]. В настоящее время УНТ используются в качестве наполнителей в конструкционных материалах и лакокрасочных изделиях нового поколения [4]. Созданы успешно работающие прототипы топливных элементов и суперконденсаторов на основе УНТ [5,6]. Объемы производства нанотрубок постоянно растут и превышают в настоящее время 3 тыс. тонн в год (объем рынка УНТ > 500 млн. \$) [7].

Однако для использования УНТ в таких приложениях как экранирование электромагнитного излучения, создание анизотропных материалов, в качестве носителей катализаторов или биологических объектов затруднено ввиду высокой сыпучести, хаотичной ориентированности исходных УНТ (порошка). Одним из подходов к решению данной проблемы является создание ориентированных массивов углеродных нанотрубок (ОМУНТ), которые также в литературе называются “лесами нанотрубок” [8-10]. Данный материал представляет собой жесткие двумерные системы углеродных нанотрубок, в котором УНТ ориентируют друг друга перпендикулярно поверхности подложки за счет Ван-Дер-Ваальсовых взаимодействий (рис. 1).

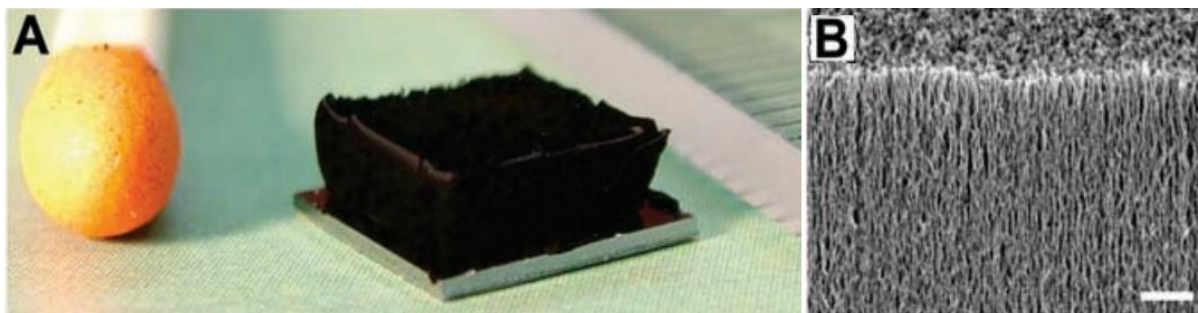


Рис.1. Фотография ОМУНТ (А) и микрофотография СЭМ его структуры (В) [8].

Синтез ОМУНТ позволил в частности исследовать новые приложения нанотрубок в области создания проводящих схем, поглощающих покрытий и плетения углеродных нитей [11]. При этом основным способом получения ОМУНТ является газофазное напыление предшественников катализаторов с последующим нанесением рисунка литографическими методами. Однако подобный подход создает необходимость обеспечения высокого вакуума и имеет ограниченную масштабируемость. В то же время струйная печать предшественников катализатора позволяет создавать необходимые паттерны с разрешением в несколько десятков микрон, что, например, открывает «прямой путь» к созданию метаматериалов в терагерцовом диапазоне частот [12]. В 2013 году группой исследователей из Великобритании [13] была показана применимость технологии струйной печати для синтеза ОМУНТ. Тем не менее, статьи, свидетельствующие о продолжении этих исследований, не были еще опубликованы. Следует отметить, что условия, использованные авторами работы далеки от тех, что устанавливаются при промышленном синтезе нанотрубок ($T > 900$ °C).

Цель работы

Основной целью настоящего проекта является **создание отечественной технологии синтеза ориентированных массивов многослойных углеродных нанотрубок с помощью струйной печати предшественников катализаторов.**

Основные задачи

К основным задачам проекта относятся:

- Разработка чернил для струйной печати предшественника катализатора
- Дизайн катализатора синтеза ОМУНТ
- Синтез ОМУНТ с контролируемыми характеристиками индивидуальных нанотрубок
- Создание ОМУНТ с заданными геометрическими характеристиками и исследование их свойств

Предполагаемые подходы к решению задач (этапы исследований)

Во введении была показана принципиальная возможность синтеза ОМУНТ с помощью технологии струйной печати предшественника катализатора. Поэтому основным подходом по решению данной задачи является оптимизация состава и условий приготовления катализатора синтеза МУНТ, а также вариация условий роста нанотрубок (изменение температуры, состава и давления газовой среды). Также одной из «степеней свободы» является состав чернил, вариация которого позволит использовать необходимый предшественник катализатора.

Имеющийся научный задел; экспериментальное оборудование

К настоящему моменту проведены предварительные эксперименты, показавшие возможность получения массивов УНТ с помощью катализаторов, синтезируемых в ГСПС ИК СО РАН (рис.2). В ходе реализации проекта планируется представление промежуточных результатов в рамках научной конференции, а также оформление публикации по окончании проекта. Имеющийся в ГСПС ИК СО РАН научно-практический задел в области синтеза МУНТ, дизайна катализаторов их получения, а также материалов на их основе [14-22], а также достаточная инструментальная база, позволяют утверждать, что **задачи проекта будут выполнены полностью и в срок.**

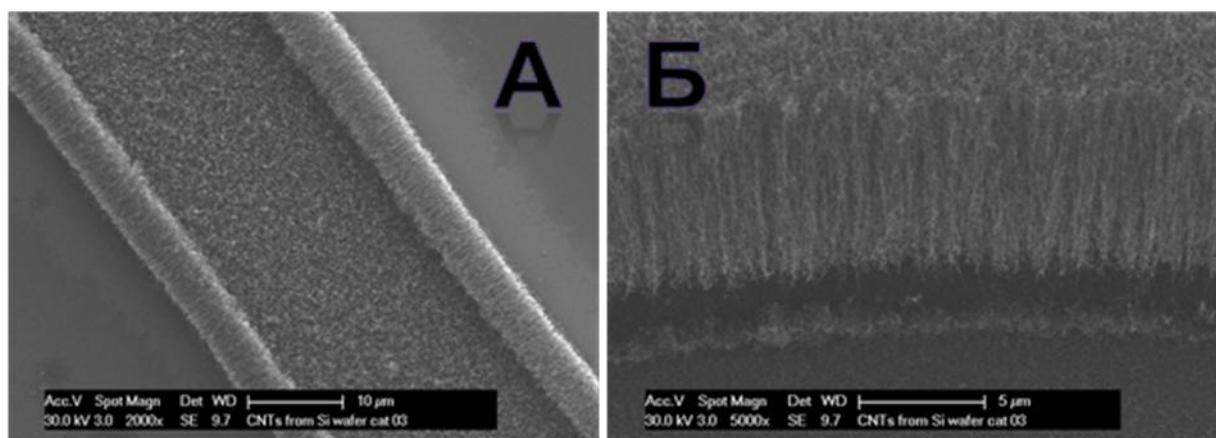


Рис.2. СЭМ фотография УНТ полученных нанесением геля ПЭГ/катализатор. А – «вид на массив сверху». Б «вид сбоку». Наблюдается наличие оптимальной зоны концентраций активных центров роста катализатора, приводящих к синтезу ориентированных массивов.

Использованная литература

- [1] Jorio, A., Dresselhaus, G., Dresselhaus, M. Advanced Topics in the Synthesis, Structure, Properties and Applications – Springer Verlag Berlin, 2008 – 720 P.
- [2] Meuyarpan., M. Carbon nanotubes: science and application – CRC, Boca Raton. – 2005. – V. 118–Issue 5. – P.708
- [3] Szabó, A., Perri, C., Csató, A., Giordano, G., Vuono, D., Nagy, J.B. Synthesis Methods of Carbon Nanotubes and Related Materials – Materials. – 2010. V.3 P. 3092-3140
- [4] Endo, M., Strano, M. S., Ajayan, P. M. Potential Applications of Carbon nanotubes – Topics in Applied Physics – 2008. –V. 111 – P.13-61
- [5] Härrri, V.V., Supercapacitors Revoluzionize Energy Storages
- [6] Seky Chang, Keun-Yul Yang, Hydrail Project in Korea, 3rd International Hydrail Conference Catawba College, Salisbury, North Carolina August 13~14, 2007
- [7] Laura Wood «Research and Markets: Global Carbon Nanotubes Market - SWCNTS, MWCNTS, Technology, Applications, Trends & Outlook (2011 - 2016)»
- [8] K. Hata, D. Futaba etc. “Water-Assisted Highly Efficient Synthesis of Impurity-Free Single-Walled Carbon Nanotubes” Science, vol. 306 pp.1362-1364 2004

- [9] T. Yamada, A. Maigne, K. Hata “Revealing the secret of water-assisted carbon nanotube synthesis by microscopic observation of the interaction of water on the catalysts” *Nanoletters*, 2008, vol.8 no. 12
- [10] S. Yasuda, D. Futaba, K. Hata “Improved and large area single-walled carbon nanotube forest growth by controlling the gas flow direction” *ACS nano* vol.3 no.12 2009
- [11] De Volder M. F. L. et al. Carbon nanotubes: present and future commercial applications // *Science*. – 2013. – T. 339. – №. 6119. – C. 535-539.
- [12] Walther M. et al. Terahertz metamaterials fabricated by inkjet printing // *Applied Physics Letters*. – 2009. – T. 95. – №. 25. – C. 251107.
- [13] Beard J. D. et al. High Yield Growth of Patterned Vertically Aligned Carbon Nanotubes Using Inkjet-Printed Catalyst // *ACS applied materials & interfaces*. – 2013. – T. 5. – №. 19. – C. 9785-9790.
- [14] A. L. Chuvilin, V. L. Kuznetsov, A. N. Obraztsov, Chiral carbon nanoscrolls with a polygonal cross-section – *CARBON* 47, 3099–3105, 2009.
- [15] V. L. Kuznetsov, K. V. Elumeeva, A. V. Ishchenko, N. Yu. Beylina, A. A. Stepashkin, S. I. Moseenkov, L. M. Plyasova, I. Yu. Molina, A. I. Romanenko, O. B. Anikeeva, and E. N. Tkachev, Multi-walled carbon nanotubes with ppm level of impurities – *Phys. Status Solidi B*, v. 247, 11–12 (2010), p.2695-2699
- [16] A.I. Romanenko, O.B. Anikeeva, T.I. Buryakov, E.N. Tkachev, K.R. Zhdanov, V.L. Kuznetsov I.N. Mazov, A.N. Usoltseva, A.V. Ischenko, Influence of surface layer conditions of multiwall carbon nanotubes on their electrophysical properties – *Diamond & Related Materials* 19 (2010) 964–967
- [17] J. Macutkevicius, D. Seliuta, G. Valusis, R. Adomavicius, A. Krotkus, P. Kuzhir, A. Paddubskaya, S. Maksimenko, V. Kuznetsov, I. Mazov, I. Simonova, Multi-walled carbon nanotubes/PMMA composites for THz applications – *Diamond & Related Mat.* 25 (2012) 13–18
- [18] Mazov I.N., Kuznetsov V.L., Krasnikov D.V., Structure and properties of multiwall carbon nanotubes/polystyrene composites prepared via coagulation precipitation technique – *Journal of Nanotechnology* 2011 – V. 2011
- [19] Kuznetsov V. L., Krasnikov D.V., Schmakov A. N., Elumeeva K. V., In situ and ex situ time resolved study of multi-component Fe-Co oxide catalyst activation during MWNTs synthesis, *PSS B*, 1–5 (2012).
- [20] Kuznetsov V. L. et al. Investigation of electromagnetic properties of MWCNT aerogels produced via catalytic ethylene decomposition // *physica status solidi (b)*. – 2015. – T. 252. – №. 11. – C. 2519-2523.