

Синтез УНТ для применения в фотонике и биомедицине с использованием рутина в качестве катализатора

М.Ю. Языкова¹, Н. Трипати^{1,2}, А.Р. Рымжина¹, В.С. Валгаева¹, В.В. Подлипов¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, Московское шоссе 34а, Самара, Россия, 443086

²Centre for Nanoscience and Nanotechnology, Jamia Millia Islamia (A Central University), Jamia Nagar, New Delhi, India, 110025

Аннотация

Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой новый класс наноматериалов, обладающих уникальными химическими, физическими, механическими и биологическими свойствами. Данное исследование сосредоточено на получении экологически нейтральных УНТ, которые могут использоваться в различных целях фотоники и биомедицины. Так как при стандартном синтезе УНТ используются катализаторы, чрезвычайно токсичные для живых организмов металлические, их применение в практической биомедицине сегодня ограничено. В данной работе были получены УНТ без металлических частиц. Синтез УНТ был осуществлен методом химического осаждения из газовой фазы (ХОГФ) с использованием неметаллического катализатора рутина, являющегося флавоноидом растительного происхождения. Образцы были исследованы с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Настоящая работа представляет новое направление для синтеза УНТ и дальнейшего их применения.

Ключевые слова

УНТ, ХОГФ, рутин, СЭМ

Изобретение углеродных нанотрубок в 1991 году произвело революцию в науке о нанообъектах. Вследствие уникальных свойств УНТ ведутся интенсивные исследования над их применением в области электроники, оптоэлектроники и биомедицины [1-3]. Основная идея данной работы сосредоточена на использовании УНТ в качестве биоматериала. Биоматериал должен быть биосовместимым, т. е. нетоксичным, неканцерогенным и гипоаллергенным. УНТ рассматриваются для использования в биосенсорах [4] и медицинских устройствах [5]. УНТ могут быть подходящим биоматериалом, поскольку обладают такими свойствами, как большая площадь поверхности [6], возможность химических модификаций и создания упорядоченных структур [7]. УНТ также позволяют получать флуоресцентные, фотоакустические изображения [8]. Основным препятствием при разработке биомедицинских продуктов на УНТ является использование для их роста чрезвычайно вредных для человеческого организма металлических наночастиц [9, 10].

Чтобы решить упомянутую проблему, в качестве экологически безопасного катализатора в данной работе использовался натуральный флавоноид рутин, содержащийся во многих натуральных продуктах (гречихе и т. д.). Рутин ($C_{27}H_{30}O_{16}$) представляет собой гликозид с $M=610.5$ г/моль и температурой плавления $195^{\circ}C$. Дисахарид рутинозы включает D-глюкозу и L-рамнозу. Агликон — кверцетин, относится к флавоноидам, содержащим ядро хромана (дигидробензпирана). Рутин был выделен водно-этанольной экстракцией из *Amarantus palmeri* S. В ходе эксперимента была приготовлена суспензия из 1,5 мл 96% этилового спирта и 25 мг чистого рутина. Затем суспензию поместили в ультразвуковую ванну на 5 минут. Для изготовления УНТ свежеприготовленную суспензию наносили на очищенную изопропиловым спиртом кремниевую подложку (1 см^2). Подложка очищалась в ультразвуковой ванне в течение 5 минут. Раствор был нанесен на кремниевую подложку методом «drop cast». После сушки полученный образец загрузили в камеру установки ХОГФ. Чтобы защитить образец от окисления, температура в установке была постепенно увеличена до $775^{\circ}C$ в непрерывном потоке $10\text{ см}^3/\text{мин}$ аргона (90% аргона + 10% H_2). Температура в установке ХОГФ повышалась

со скоростью 9,7°C/час. Когда температура достигла 775°C, поток аргона был увеличен до 50 см³/мин и на протяжении 10 мин температура стабилизировалась. После стабилизации температуры была включена подача газа ацетилен с расходом 20 см³/мин на 10 мин. Через 10 мин поток ацетилена, а также нагреватель установки ХОГФ были отключены. Поток аргона был уменьшен до 10 см³/мин и подавался до охлаждения установки ХОГФ до комнатной температуры. Когда установка остыла, образец был выгружен для дальнейшего анализа.

Для исследования морфологии приготовленный образец анализировали с помощью СЭМ.

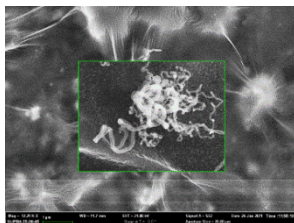


Рисунок 1: СЭМ–изображение выращенных УНТ

На Рисунке 1 показано СЭМ-изображение полученного образца. Анализ результатов СЭМ показал, что данный метод позволил получить УНТ сетчатого типа. Диаметр синтезированных УНТ лежит в диапазоне 80–90 нм. Дальнейшие эксперименты позволят оптимизировать процесс и повысить выход УНТ.

Литература

- [1] Tripathi, N. A new approach for orientation–controlled growth of CNTs: an in–depth analysis on the role of oxygen plasma treatment to catalyst / N. Tripathi, S.S. Islam // *Applied Nanoscience*. – 2017. – Vol. 7. – P. 125-129.
- [2] Kumar, S. Thin Film Chemiresistive gas sensor on Single–walled carbo nanotubes–doped with Polyethylenimine (PEI) for NO₂ gas sensing / S. Kumar, V. Pavelyev, P. Mishra, N. Tripathi // *Bulletin of Materials Science*. – 2020. – Vol. 43(1). – P. 61.
- [3] Tripathi, N. Tunable growth of single–wall CNTs by monitoring temperature increasing rate / N. Tripathi, V. Pavelyev, S.S. Islam // *International Nano Letters*. – 2018. – Vol. 8. – P. 1-9.
- [4] Chen, Z. The Advances of Carbon Nanotubes in Cancer Diagnostics and Therapeutics / Z. Chen, A. Zhang, X. Wang, J. Zhu, Y. Fan, H. Yu, Z. Yang // *Journal of Nanomaterials*. – 2017. – Vol. 2017. – P. 1-13.
- [5] Amenta, V. Carbon nanotubes: potential medical applications and safety concerns / V. Amenta, K. Aschberger // *Wiley–Blackwell*. – 2015. – Vol. 7(3). – P. 1939-5116.
- [6] Serpell, C. Can Carbon Nanotubes Deliver on Their Promise in Biology Harnessing Unique Properties for Unparalleled Applications / C. Serpell, K. Kostarelos, B. Davis // *ACS Cent. Sci*. – 2016. – Vol. 2(4). – P. 190-200.
- [7] Siddiqui, N. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer–based nanocomposites: A review / N. Siddiqui, G. Marom, J. Kim // *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. – 2010. – Vol. 41. – P. 1345-1367.
- [8] Xie, L Functional long circulating single walled carbon nanotubes for fluorescent/photoacoustic imaging–guided enhanced phototherapy / L. Xie, L. Wang, H. Zhou, F. Zhang, Z. Guo, C. Liu, X. Zhang, L. Zhu // *Biomaterials*. – 2016. – Vol. 103. – P. 219-228.
- [9] Tripathi, N. Catalyst free, excellent quality and narrow diameter of CNT growth on Al₂O₃ by thermal CVD technique / N. Tripathi, P. Mishra, B. Joshi, Harsh, S.S. Islam // *Physica E*. – 2014. – Vol. 62. – P. 43-47.
- [10] Tripathi, N. Synthesis of carbon nanotubes using green plant extract as catalyst: unconventional concept and its realization / N. Tripathi, V. Pavelyev, S.S. Islam // *Applied Nanoscience*. – 2017. – Vol. 7. – P. 557-566.