

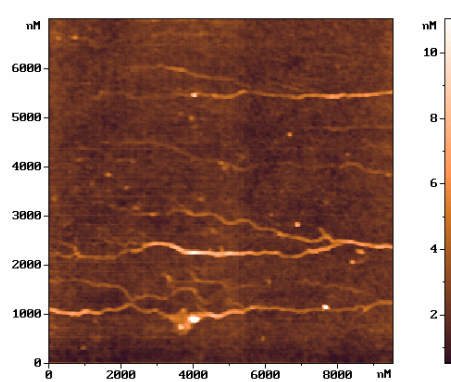
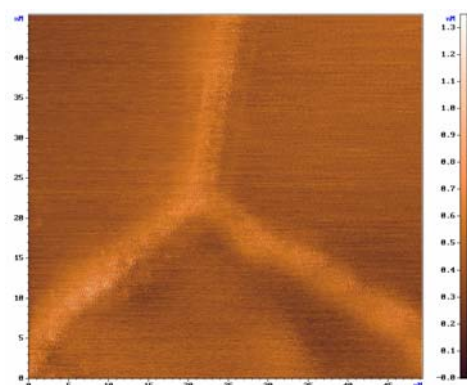
УСВР - уникальный материал для очистки воды и развития новых технологий

Неволин В.К.

ГОУ ВПО Московский государственный институт электронной техники (технический университет) (МИЭТ), ykn@miee.ru

Углеродная смесь высокой реакционной способности (УСВР) – наноструктурированный композит, получаемый методом холодной деструкции графита [1]. Он состоит из графеновых листов и пакетов, разнообразных углеродных нанотрубок, графитовых нанофрагментов. В возможностях этого материала по очистке воды я лично убедился на Международном нанофоруме, проходившем в Москве 3-5 декабря 2008г. Из стеклянной колонны заполненной водой, глиной, темными нефтепродуктами, пахнущей керосином, вода подавалась на фильтр, изобретенный В.И. Петриком, и мы с Виктором Ивановичем выпили по стакану воды после фильтрации. Вода была теплой и приятной на вкус. Я к этому времени знал и видел на фотографиях аналогичные испытания в Арабских эмиратах, которые проводил В.И. Петрик ранее 2001 года. О некоторых реальных и впечатляющих применениях этого материала В.И. Петрик рассказал в своем пленарном докладе. Мы же сосредоточим свое внимание на возможности создания электронных сверхминиатюрных, сверхчувствительных сенсоров на основе компонентов из УСВР.

Этот материал попал в наши руки осенью 2001 года для изучения и поиска в нем углеродных нанотрубок. Была разработана методика ультразвукового разделения композита на составные части и уже в начале 2002 года в УСВР были найдены углеродный нанотрубчатый материал необычного вида [2,3]. Были обнаружены, в частности, углеродные нанотрубки ветвящегося Y-типа, рис.1. Была высказана идея использования таких нанотрубок в качестве готовой активной части нанотранзистора. Необходимо было научиться их размещать между тремя контактными площадками. Была подана заявка на патент, однако патентование не было доведено до конца. В 2005 году такие транзисторы были созданы и исследованы учеными из Калифорнийского университета UCSD и университета Клемсона [4].



а)

б)

Рисунок 1 - Ветвящиеся нанотрубки из УСВР на подложке из пиролитического графита: а) сканирующая туннельная микроскопия; б) атомно-силовая микроскопия

На рисунке 2 изображена атомная структура поверхности углеродной нанотрубки из УСВР, опубликованная в работе [3]. Эта картинка уникальна тем, что атомное разрешение получено в сканирующем туннельном микроскопе на воздухе в обычных лабораторных условиях (обычно это делается в сверхвысоком вакууме) и использована в монографии [4].

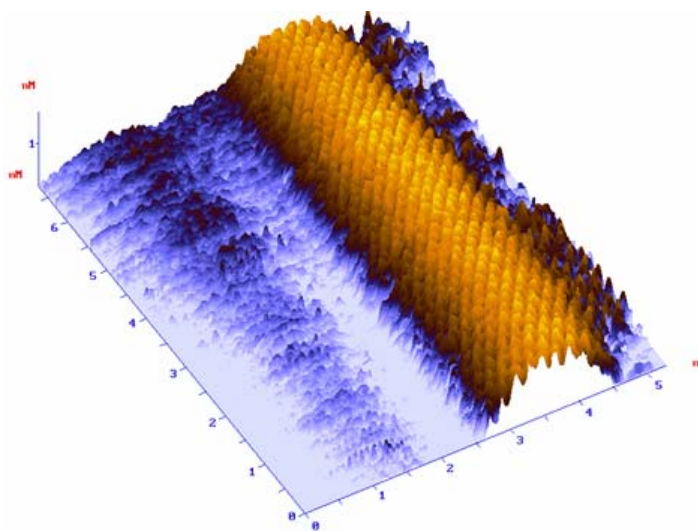
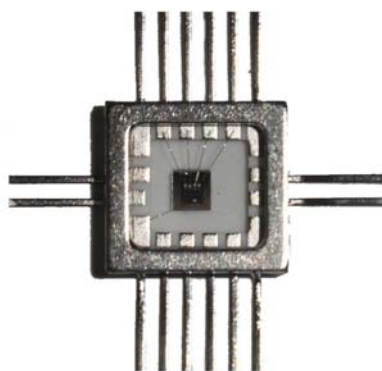
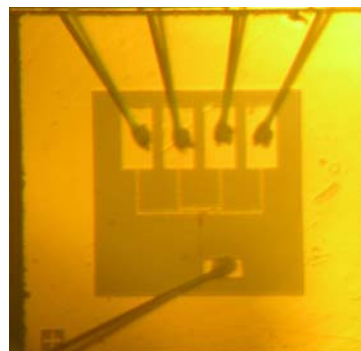


Рисунок 2- Атомная поверхность углеродной нанотрубки из УСВР, расположенной на подложке из пиролитического графита. Сканирующая туннельная микроскопия

В последующем на основе пучков углеродных нанотрубок были созданы прототипы полевых транзисторов и логических ключей [6,7]. Самой удивительной способностью макетов нанотранзисторов оказалась их сверхвысокая чувствительность к адсорбции на поверхности углеродных нанотрубок токсических паров и газов, рис.3. Эксперименты показали, например, что 2 молекулы хлора на миллион молекул воздуха изменяют проводимость участка цепи с углеродными нанотрубками на порядок [8]. Чувствительность на уровне 2 ppm превышает чувствительность производимых сенсоров. На Международном форуме во Франции в 2008 году по нанотрубкам зарубежными авторами было продемонстрировано, что чувствительность по хлору может быть увеличена ещё на три порядка.



а)



б)

Рисунок 3 – Макет сенсора для определения остаточных паров хлора в воздухе: а) внешний вид макета; б) вид кристалла с электродами

Одной из замечательных особенностей углеродных нанотрубок, найденных в УСВР, было то, что многие из них были свиткового типа, т.е. графеновый лист (однослойный лист из атомов углерода) в силу используемой технологии свивался в многослойную трубку. Последующие более пристальные исследования показали, что графеновые листы могут устойчиво существовать в виде графеновых пакетов, состоящих из множества слоев графенов или других не плоских образований, например, углеродных нанотрубок. Ранние исследования в России и последующие детальные исследования, проведенные на электронном микроскопе в Калифорнийском университете (доктор Wen-Chiou, Ph.D.) подтверждают эти наблюдения. На рисунке 4 показана слоистая структура УСВР, состоящая из графеновых пакетов, а на рисунке 5 «трубчатый» вариант структуры. Наш опыт работы с графенами показал, что исходный наноструктурированный углеродный материал после ультразвуковой обработки с применением поверхностно-активных веществ содержит чрезвычайно мало свободных листов с минимальной толщиной 0,3 нм (такова толщина графена). С помощью атомно-силовой микроскопии за полтора года работы мы наблюдали уверенно лишь несколько раз свободные листы толщиной 0,3 нм, лежащие на электродах. Это ещё раз подтверждает факт известный и из теории, что малейшее возмущение свободного графенового листа должно приводить к изменению плоской поверхности, например, к сворачиванию в свиток, как это наблюдается в УСВР.

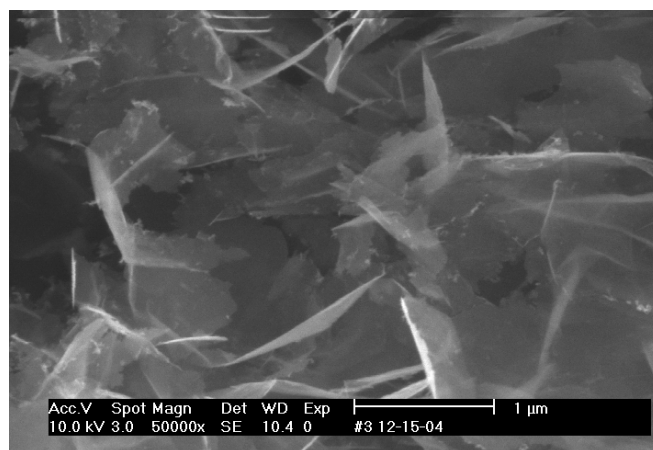


Рисунок 4. Электронная микроскопия УСБР. Листовой вариант структуры.

Изменяя технологию получения УСБР, можно получить «трубчатый» вариант структуры материала, рис.5.

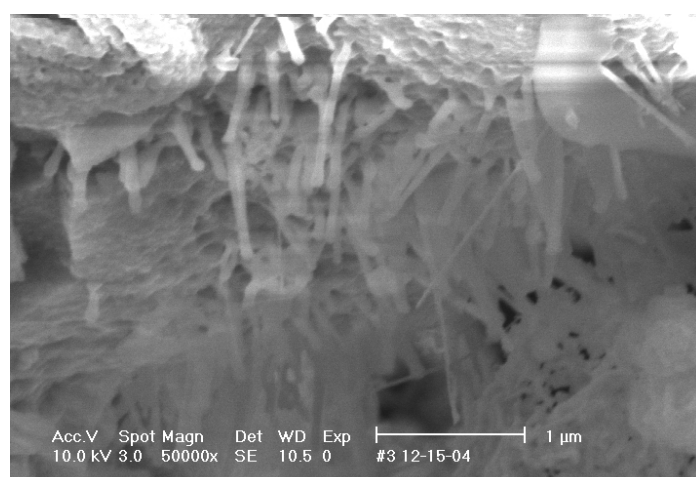


Рисунок 5. Электронная микроскопия УСБР. «Трубчатый» вариант структуры.

Плоские пакеты из множества графеновых листов уже обладают исходной упругостью и сохраняют свою структуру после возникновения, рис.4. Работать с такими пакетами из графеновых листов значительно удобнее, рис.6, и они ещё достаточно уникальны по своим электронным свойствам.

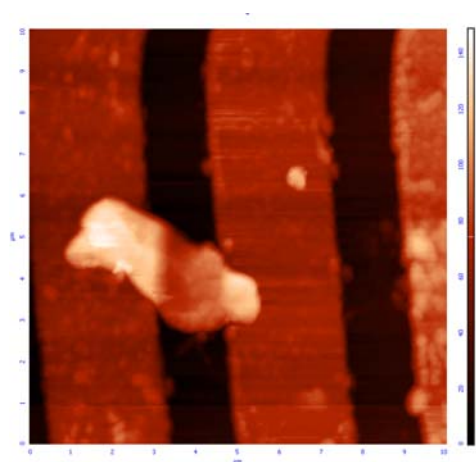


Рисунок 6- Графеновый пакет толщиной до 50 нм расположен между двумя золотыми электродами. Атомно-силовая микроскопия.

На рисунке 7 представлен двухэлектродный элемент с модифицированным графеновым пакетом. Модификация проведена с помощью галлиевого ионного пучка с энергией 30 кВт и диаметром пучка 50 нм.

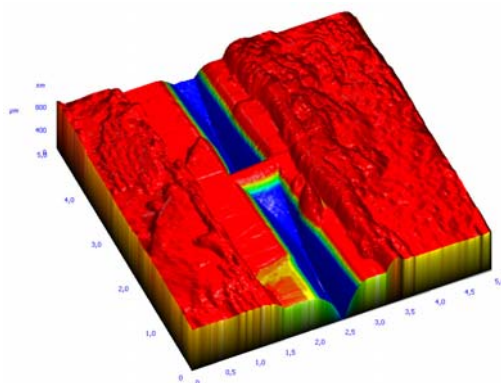


Рисунок 7 – Двухэлектродное устройство с модифицированным графеновым пакетом.

С помощью ионного пучка из графенового пакета вырезана узкая проводящая дорожка. Ширина сформированной дорожки 100 нм. Элемент демонстрирует нелинейную вольтамперную характеристику, что является основой для создания активных электронных элементов, в том числе сверхчувствительных сенсоров.

Таким образом, в результате более чем шестилетних исследований доказаны основные структурные элементы углеродного композита из УСВР. Уникальность этого материала позволяет развивать новые нанотехнологии и существенно расширить диапазон возможных применений. В частности, актуальной является задача создания бытовых малогабаритных индикаторов качества питьевой воды и сверхчувствительной основой этих индикаторов может являться УСВР.

Литература

1. Петрик В.И. Патент РФ №2128624 с приоритетом от 17.10.97. Способ получения углеродной смеси высокой реакционной способности и устройство для его осуществления.
2. Минаев В.В., Неволин В.К., Петрик В.И. Нанотрубки из УСВР. Микросистемная техника. 2002. №1. С.41-42.
3. Неволин В.К., Петрик В.И., Строганов А.А. и др. Атомная структура нанотрубок из УСВР. Письма в ЖТФ. 2003. Т.29. В.8. С.84-90.
- 4 Willam D. Callister, Jr. Materials Science and Engineering an Introduction. John Wiley & Sons, Inc. 2006. P. 433.
5. Сб. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника. Мировые достижения. Под ред. П.П. Мальцева. М.: Техносфера. 2006. С.41-43.
6. Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Строганов А.А. и др. Модуляция проводимости пучков однослойных углеродных нанотрубок. Микроэлектроника. 2004. Т.33. №5. С.356-361.
7. Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Чаплыгин Ю.А. Логические ключи на основе пучков однослойных углеродных нанотрубок. Микросистемная техника. 2004. №7. С.12-14.
8. Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Симунин М.М. и др. Химические сенсоры на основе углеродных нанотрубок для обнаружения низких концентраций молекул хлора в атмосфере. Микро- и наносистемная техника. 2005. №12. С.4-8.