

# СДЕЛАНО В СО РАН

## Трубки – нано, конденсаторы – супер!

В Институте неорганической химии СО РАН (Новосибирск) уже несколько лет разрабатываются методы синтеза массивов ориентированных углеродных нанотрубок, ведутся исследования их структуры и свойств. Нанотрубки в качестве электродного материала обладают большими потенциальными возможностями для создания новых видов суперконденсаторов и аккумуляторов.

Растущие потребности современной техники привели к появлению нового класса устройств – суперконденсаторов, или ионисторов. Так называют конденсаторы большой емкости, которые накапливают энергию в двойном электрическом слое на поверхности высокопористой проводящей структуры. В отличие от обычных конденсаторов в суперконденсаторе вторым электродом фактически является электролит, позволяющий при напряжениях порядка 1 В формировать на поверхности электрода слой ионов в сольватной оболочке, состоящей из молекул воды, с характеристическим расстоянием около 1 нм.

Как известно, емкость простейшего конденсатора пропорциональна площади обкладок и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Благодаря

тому, что в ионисторе расстояние между заряженной поверхностью электродов и слоем ионов электролита очень мало, а удельная поверхность пористого проводника (например, активированного угля) достигает 1000–1500 м<sup>2</sup>/г, емкость такого устройства может превышать 100 Ф/г. Заметим, что традиционные электролитические конденсаторы имеют удельную емкость на три порядка меньше.

Суперконденсаторы характеризуются высокой мощностью и низкими токами утечки, выдерживают десятки тысяч циклов заряд-разряд, могут быть заряжены за короткое время. Они являются эффективным средством для надежного пуска двигателей при низких температурах, а также в случае, если разряжена аккумуляторная батарея.

Для обеспечения замечательно большой емкости двойнослойного конденсатора материал электрода должен обладать такими свойствами, как хорошая электропроводность, высокая удельная поверхность, химическая и термическая стойкость. Все эти свойства в полной мере присущи углеродным материалам. В последние годы ассортимент углеродных наноматериалов, перспективных для изготовления электрохимически активных электродов, расширился за счет однослойных

Итоги года в Сибирском отделении РАН традиционно подводятся весной. В этой новостной подборке мы предлагаем вашему вниманию лишь некоторые из актуальных научных результатов, полученных в 2008 г. По мнению редакции, они должны быть интересны широкому читателю, поскольку большинство из них имеет прикладное значение. В следующем выпуске журнала мы постараемся рассказать о фундаментальных работах сибирских ученых

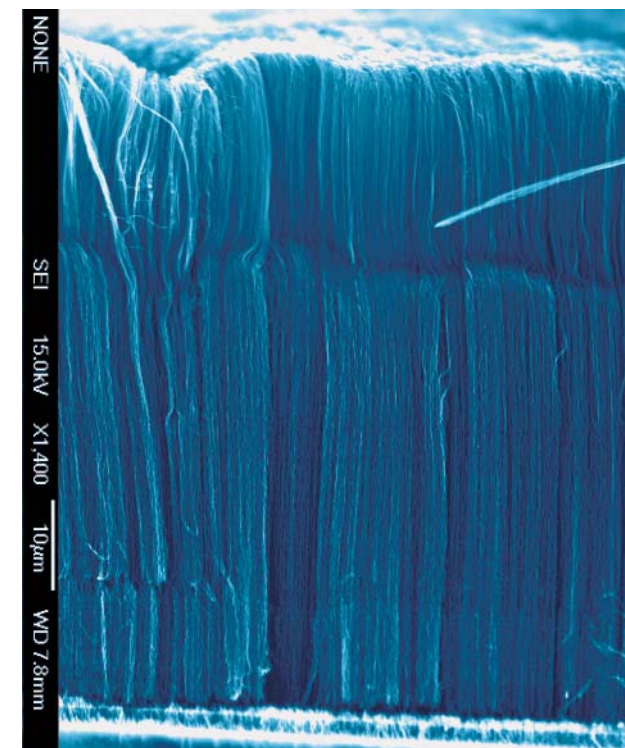
и многослойных нанотрубок. Углеродные нанотрубки по ряду показателей превосходят традиционные материалы. Особый интерес представляет геометрия, в которой массив углеродных нанотрубок ориентирован преимущественно перпендикулярно поверхности токопроводящей подложки, что позволяет и существенно увеличить эффективную поверхность электродов, и улучшить условия протекания электрического тока.

В настоящее время в ИНХ СО РАН разработаны методы синтеза массивов углеродных нанотрубок длиной до 3 мм. Наибольшая толщина массива достигнута в результате непрерывной инъекции смеси углеводорода с катализатором при температуре 800 °С. Удельная емкость суперконденсаторов из массивов ориентированных углеродных нанотрубок в водных электролитах составляет 100–120 Ф/г.

Дальнейший путь увеличения емкости – нанесение на поверхность нанотрубок вещества, способного в результате химической реакции под действием электрического тока обратимо изменять свою структуру. Такой электрохимический элемент не будет суперконденсатором в чистом виде, а представляет собой фактически аккумулятор. При его разряде химическая энергия, накопленная в аккумуляторе, преобразуется в электрический ток.

Существует целый ряд полимеров, которые можно использовать в качестве структуры с хорошими окислительно-восстановительными свойствами. В лаборатории физикохимии наноматериалов ИНХа для модификации поверхности нанотрубок, выращенных на кремниевых пластинах, наносят тонкий слой полианилина. В лучших образцах получен слой полианилина толщиной около 10 нм, что сравнимо со средним радиусом самих нанотрубок. При такой толщине полимера обеспечиваются идеальные условия для токоосъема, и плотность тока достигает величин, сопоставимых с токами в традиционных ионисторах. А вот удельная электрохимическая емкость разработанных композитных материалов существенно выше и достигает 500 Ф/г, причем эти композиты выдерживают большое число циклов перезарядки.

Важным этапом проведенного исследования стало изучение взаимодействия нанотрубок и полианилина. Методами электронной микроскопии, рентгеновской



Массив углеродных нанотрубок на кремниевой подложке. Вертикально ориентированные нанотрубки длиной 100 мкм и диаметром 20 нм синтезировались из смеси ацетонитрила и ферроцена при температуре 800 °С.

Электронная микроскопия. Фото В. Даниловича

дифрактометрии, инфракрасной и рентгеноэлектронной спектроскопии выявлены фундаментальные закономерности переноса электрического заряда в слое между полимером и углеродом. Полученные результаты актуальны для разработки опытных образцов электрохимических накопителей электрической энергии для автомобильной и авиационной промышленности, бытовых электроприборов.

Д. ф.-м. н. А. В. Окотруб, к. х. н. П. С. Галкин  
(Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск)

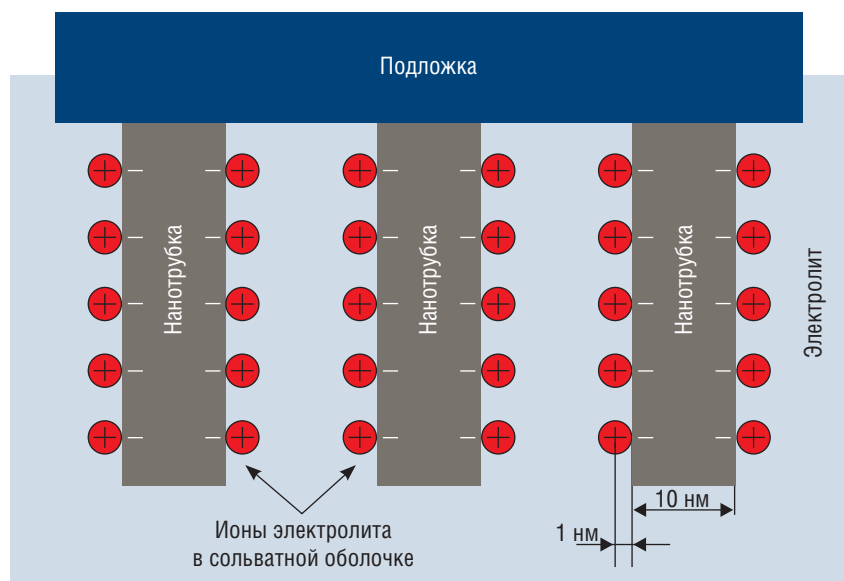


Схема устройства катода из массива нанотрубок в суперконденсаторе. При подаче напряжения ионы электролита формируют двойной электрический слой толщиной порядка 1 нм