

*Г. В. Соломахо**

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ ОТ ПРИРОДЫ ИСХОДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Высокопористые углеродные наноматериалы находят применение в качестве адсорбентов и электродных материалов химических источников тока. Последние должны обладать рядом характеристик для качественной работы. К таковым относят: удельную поверхность, ширину рабочих и транспортных пор, объем пор, удельную электрическую емкость и др.

В ходе научно-исследовательской работы были изготовлены высокопористые углеродные наноматериалы следующим образом:

- 1) смешивались фенолформальдегидная смола (далее ФФС) и углеводсодержащее вещество (использовались сахар, карбоксиметилцеллюлоза (далее КМЦ) и декстрин картофельный желтый);
- 2) производился 16-часовой синтез (карбонизация) смеси при температурах 140, 160 и 300 °С;
- 3) синтезированный продукт активировался в присутствии гидроксида калия при температуре 750 °С в течение 4...8 часов в сфере инертного газа;
- 4) активированный материал подвергался постобработке для удаления вредных примесей.

* Работа представлена в отборочном туре программы У.М.Н.И.К. 2015 г. в рамках Десятой межвузовской научной студенческой конференции ассоциации «Объединенный университет им. В. И. Вернадского» «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития» и выполнена под руководством канд. техн. наук, доцента Н. Р. Меметова.

Характеристики каждого приготовленного высокопористого углеродного наноматериала были исследованы благодаря сотрудничеству со сторонними ВУЗами. Результаты исследований приведены в табл. 1 и 2.

Учитывая, что необходимые для качественной работы показатели пористости имеют следующие параметры (удельная поверхность 2000...3500 м²/г, размер активных пор 0,7...2 нм и 3...7 нм для водных и органических электролитов, соответственно [1]), можно сделать вывод, что все приведенные экземпляры отвечают требованиям. Но наилучшими

1. Характеристики «пористости» материалов

№	Состав	Суммарная поверхность по БЭТ, м ² /г	Средняя ширина пор, нм	Объем пор, см ³ /г	Удельная поверхность, м ² /г
S_009	(ФФС + сахар) + КОН	2692,357	1,126	2,24	1776,542
S_014	(ФФС + КМЦ) + КОН	2479,282	4,543	2,486	1609,915
S_016	(ФФС) + КОН	3240,75	1,126	1,771	2023,491
S_018	(ФФС + сахар) + КОН + H ₂ O	2470,954	3,099	1,812	1851,729
S_020	(ФФС + Декстрин) + КОН + H ₂ O	2517,465	4,152	3,069	1590,017

2. Электрохимические показатели образцов в водной среде

Образец	Удельная емкость C _{уд} , Ф/г при скорости развертки потенциала v, мВ/с				
	5	10	20	50	100
S_009	99±23	76±10	70±17	46±11	28±7
S_014	132±17	112±20	90±23	56±22	32±15
S_016	102±22	86±21	68±19	41±16	24±12
S_018	141±6	118±8	93±10	54±11	28±9
S_020	191±4	173±4	154±5	122±7	93±7

оказались образцы, приготовленные из смеси ФФС и КМЦ и смеси ФФС и декстрина (табл. 1). Данные характеристики были получены на аппарате типа «Сорбтометр» промышленного типа «Quantachrome 4200».

Дальнейшие исследования электрохимических свойств на предприятии ОАО ВСКБ «Рикон» принесли результаты, сведенные в табл. 2 и 3. В качестве электролитов использовались 3 М раствор серной кислоты H_2SO_4 и 1 М раствор тетраэтиламмония тетрафторбората в ацетонитриле (содержание воды < 10 ppm).

Исходя из известных теоретически-возможных показателей удельной емкости (до 250 Ф/г в водном электролите и до 130 Ф/г – в органическом [2]), можно сказать, что в кислой среде все углеродные материалы демонстрируют большие значения удельной емкости. При увеличении скорости развертки потенциала от 5 до 100 мВ/с материал S_020 теряет всего 40% емкости, в то время как остальные углеродные материалы теряют 60...80% емкости. Так же образец S_020 имеет минимальное электрическое сопротивление, а образец S_018 – максимальное.

Для показателей удельной емкости, полученных в органическом электролите, наблюдается более сильное искажение при увеличении скорости развертки потенциала, что может быть связано с большими транспортными ограничениями для крупных органических ионов. Образец S_009 демонстрирует худшие результаты по удельной емкости (что, возможно, связано с микро- и ультрамикropористой структурой углеродного материала).

Напротив, образцы S_014 и S_020 показывают довольно высокие значения удельной емкости, что, возможно, может быть связано с упорядоченной мезопористой структурой.

3. Электрохимические показатели образцов в органической среде

Образец	Удельная емкость $C_{уд}$, Ф/г при скорости развертки потенциала v , мВ/с				
	5	10	20	50	100
S_009	15±0	12±1	10±1	7±1	5±1
S_014	51±4	45±4	37±4	20±4	9±2
S_016	36±1	31±2	25±2	14±3	7±2
S_018	54±2	47±3	37±4	18±4	8±2
S_020	95±3	86±4	64±16	38±9	18±4

Из всего вышесказанного следует, что на данном этапе исследований наилучшими углеводсодержащими материалами для карбонизации и активации являются декстрин картофельный желтый и карбоксиметилцеллюлоза.

Для подтверждения этих результатов и перехода на промышленное производство высокопористых углеродных материалов для электрохимических конденсаторов необходимо провести больше лабораторных исследований, а главное – проверить технологию в опытно-промышленных масштабах.

Список литературы

1. *Концентрационные* эффекты электропроводящих наполнителей в углеродных электродах электрохимического конденсатора / М. Ю. Чайка, В. В. Агупов, В. С. Горшков и др. // Электрохимическая энергетика. – Воронеж, 2012. – Т. 12, № 2. – С. 72 – 76.
2. *Шорникова, О. Н.* Связующие для полимерных композиционных материалов : учебное пособие / О. Н. Шорникова, Н. В. Максимова, В. В. Авдеев. – М. : Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2010. – С. 9 – 12.

*Кафедра «Техника и технологии производства нанопродуктов»
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»*