

Б.К. Остафійчук, М.І. Колковський, Б.І. Рачій, П.І. Колковський,
Н.Я. Іванічок, Р.В. Ільницький

Механізми накопичення заряду в електрохімічних системах, сформованих на основі вуглецю і оксиду марганцю

ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, Івано-Франківськ,
Україна, e-mail: Pkolkovsky@gmail.com

В даній роботі проведено дослідження пористої структури вуглецевого матеріалу та кристалічної структури оксиду марганцю α – модифікації (α - MnO_2). Методами хроноамперометрії та вольтамперометрії досліджено електрохімічну поведінку симетричного (Активованій вуглець / Активованій вуглець) та асиметричного суперконденсаторів (α - MnO_2 / Активованій вуглець). Проаналізовані процеси, що відбуваються на межі розділу фаз електродів. Показано, що при струмах розряду 1 і 5 мА значення питомої ємності для гібридного конденсатора α - MnO_2 / Активованій вуглець перевищує дане значення для симетричного конденсатора на 45 - 55 % при цих умовах.

Ключові слова: гібридні електрохімічні суперконденсатори, пористий вуглецевий матеріал, оксид марганцю

Стаття постуила до редакції 12.02.2020; прийнята до друку 15.03.2020.

Вступ

На сьогодні створення високоефективних електрохімічних пристроїв для накопичення заряду є актуальною проблемою. Зокрема, пристроїв, які б забезпечували високу питому потужність та енергію та працювали протягом $> 10^6$ циклів заряд/розряду при стабільній кулонівській ефективності. Такими пристроями є електрохімічні конденсатори в яких накопичення енергії відбувається за рахунок протікання окисно-відновних реакцій та утворенням подвійного електричного шару (ПЕШ), що утворюється на межі розділу електродного матеріалу великої питомої площі поверхні (1500 - 2000 m^2/g) з електролітом [1]. В багатьох випадках окисно-відновні реакції, які відповідають за накопичення заряду, супроводжуються незворотними змінами електроду та формуванням кінцевої фази. Актуальним завданням є синтез нових електродних матеріалів, які не руйнуються і не деградують в процесі заряд/розряду [2, 3].

Активованій вуглець (АВ) є одним з найпоширеніших матеріалів для електродів

класичних ЕК. На його основі були створені суперконденсатори, які працюють за принципом заряд/розряду ПЕШ [4]. ЕК надвеликої ємності реалізуються з електродами на основі АВ. Перевагами використання АВ є простота отримання, високі питомі енергетичні характеристики, хімічна стійкість, а також доступність вихідної сировини і її дешевизна. Однак, недостатньо висока накопичена питома енергія ЕК в порівнянні з джерелами живлення спонукає до пошуку нових рішень даної проблеми. Одним з варіантів збільшення питомої енергії є формування гібридних конденсаторних системи (ГЕК), в яких на спарених електродах відбуваються різні за природою процеси накопичення заряду [5], а саме, окисно-відновна реакція на одному з електродів та накопичення заряду у ПЕШ на іншому. Використання неполяризованого електрода підвищує напругу одиничного елементу, збільшує робоче вікно напруги ЕК та його загальну ємність, оскільки в еквівалентній схемі замість вилучається другий, послідовно включений конденсатор [6].

Отже, значний науковий і практичний інтерес

привертають ГЕК оскільки вони забезпечують високу потужність, в порівнянні з акумуляторами, накопичують більше енергії в порівнянні зі звичайними суперконденсаторами та мають тривалий термін служби [7]. Завдяки реалізації 2 різних механізмів накопичення заряду, ГЕК можуть заповнити розрив ефективності між густиною енергії акумуляторів і високою густиною потужності звичайних діелектричних конденсаторів, і таким чином забезпечити швидке накопичення та вивільнення енергії [8].

Матеріалом для поляризованого електроду, як правило служить активований вуглецевий матеріал, а для неполяризованого перспективним є використання оксидів, гідроксидів та сульфідів перехідних металів.

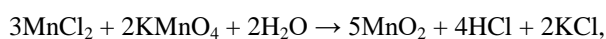
У даній роботі проведено дослідження пористої структури вуглецевого матеріалу, кристалічної структури α -MnO₂ та електрохімічних характеристик симетричних і асиметричних суперконденсаторів з електродами на їх основі.

I. Синтез матеріалів і методи дослідження

Поляризований електрод виготовляли із вуглецевого матеріалу отриманого шляхом карбонізації та термохімічної активації сировини природного походження.

Характеристики пористої структури (площу поверхні та загальний об'єм пор) вуглецевого матеріалу визначали на основі аналізу ізотерм адсорбції/десорбції азоту при температурі його кипіння (77 К), отриманих з використанням приладу Quantachrome Autosorb Nova 2200e. Перед вимірюваннями зразки дегазували при 450 К протягом 18 год. Аналізуючи ізотерми адсорбції/десорбції, визначено характеристики пористої структури вуглецевих матеріалів, а саме: загальну площу поверхні (S_{BET}) багатоточковим методом BET в області ізотерми, обмеженої діапазоном відносного тиску $P/P_0 = 0.050 \dots 0.35$; загальний об'єм пор (V_{total} , см³/г), розрахований за кількістю сорбованого азоту при $P/P_0 \sim 1$. Об'єм мікропор (V_{micro} , см³/г), величини питомих поверхонь мікро- і мезопор (S_{micro}, S_{meso} , м²/г) визначали, використовуючи t-метод та теорію DFT.

Порошкоподібний оксид марганцю alpha модифікації заданої морфології було отримано гідротермальним методом синтезу, відповідно до окисно-відновної реакції:



як було представлено у попередній роботі [9].

Дослідження фазового складу та кристалічної структури отриманих матеріалів проводили за допомогою X-променевого дифрактометричного аналізу на дифрактометрі ДРОН-3.0 у випромінненні мідного анода (Cu K α - випромінювання).

Вивчення електрохімічних властивостей ультрадисперсного α -MnO₂ у 30 % водному розчині солі КОН проводили за допомогою двохелектродної

комірки типорозміру 2032. Для формування електродів симетричного конденсатора використовувався отриманий АВ, струмопровідна добавка, а також полівініліденфторид (розчин у н-метил піролідоні) у масовому співвідношенні 85:10:5 (%). Маса одного електрода становила 0,25 г. В асиметричному гібридному суперконденсаторі α -MnO₂ змішували з струмопровідною добавкою у пропорції 85:10:5 (%) та наносили на нікелеву сітку, формуючи катод. Електрохімічні дослідження проводились з використанням спектрометра Autolab PGSTAT/FRA-2 у гальваностатичному та потенціодинамічному режимах.

II. Результати і обговорення

2.1. Дослідження структур вуглецевого матеріалу та оксиду марганцю.

Морфологію отриманих вуглецевих матеріалів вивчали методом низькотемпературної порометрії з використанням приладу Quantachrome Autosorb Nova 2200e. Перед вимірюваннями АВ дегазували при 180 °С протягом 18 год. Ізотерми адсорбції/десорбції азоту для досліджуваних вуглецевих матеріалів представлені на рис. 1. Об'єм сорбованого азоту збільшується до 450 см³/г при зростанні відносного тиску до 1 і поступово зменшується при десорбції утворюючи петлю гістерезису при високих тисках.

Петлю гістерезису можна віднести до типу H4 за класифікацією IUPAC [10], яку пов'язують з капілярною конденсацією в мезопорах. Зростання адсорбційної гілки ізотерми поблизу $P/P_0 = 1$ викликано багаторазовими процесами конденсації та випаровування азоту в мезо- та макропорах. Ширина гістерезису, очевидно, відповідає кількості адсорбату в заблокованих мезо- і макропор, з величини гістерезису можна розрахувати об'єм мезопор.

Кількісні характеристики пористої структури отриманих АВ визначали на основі аналізу ізотерм адсорбції/десорбції (рис. 1). Для порівняння питомої площі поверхні АВ використано ряд взаємодоповнюючих методів BET, Ленгмюра (L-метод), t-метод, DR, BJH та DFT (табл. 1).

Значення питомої площі поверхні визначали за допомогою методу BET при лінійному графіку

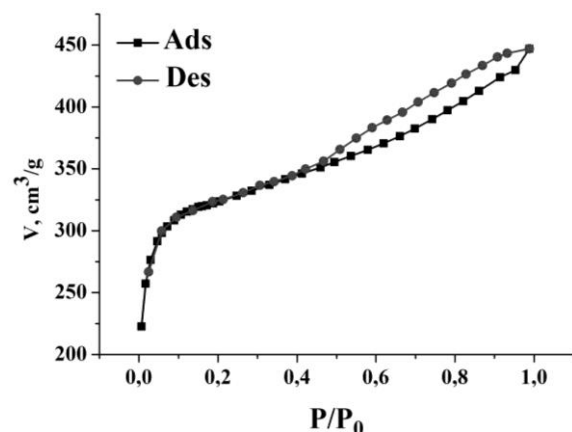


Рис. 1. Ізотерми адсорбції/десорбції азоту АВ.

Таблиця 1

Сорбційні характеристики АВ

АВ	S_{BET} , $\text{M}^2/\text{Г}$	S_L , $\text{M}^2/\text{Г}$	S_{DFT} , $\text{M}^2/\text{Г}$	$S_{\text{I-micro}}$, $\text{M}^2/\text{Г}$	$S_{\text{B/H-meso}}$, $\text{M}^2/\text{Г}$	S_{micro} , %	V_{total} , $\text{CM}^3/\text{Г}$	V_{micro} , $\text{CM}^3/\text{Г}$
С44	1236	1405	1085	1040	160	84	0,69	0,41

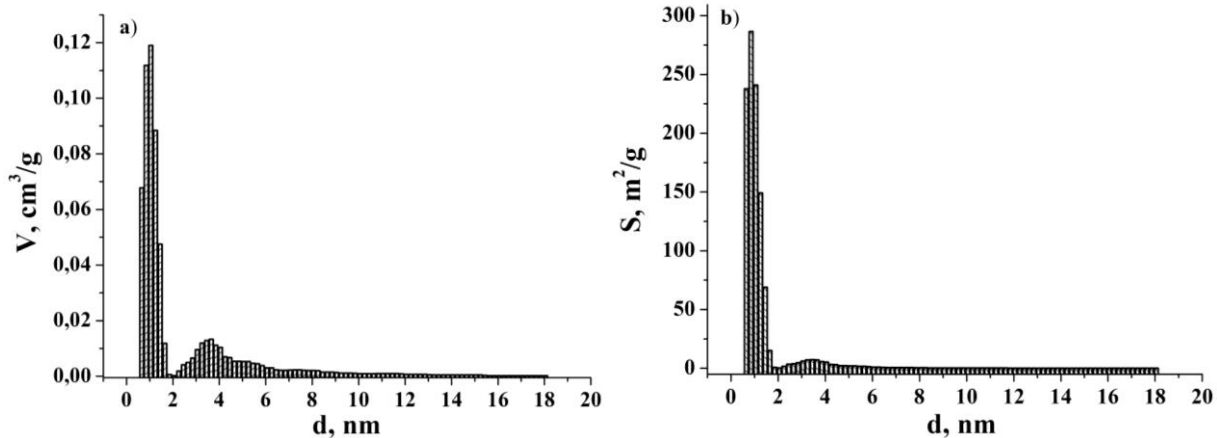


Рис. 2. Розподіл об'єму та площі пор за розмірами АВ.

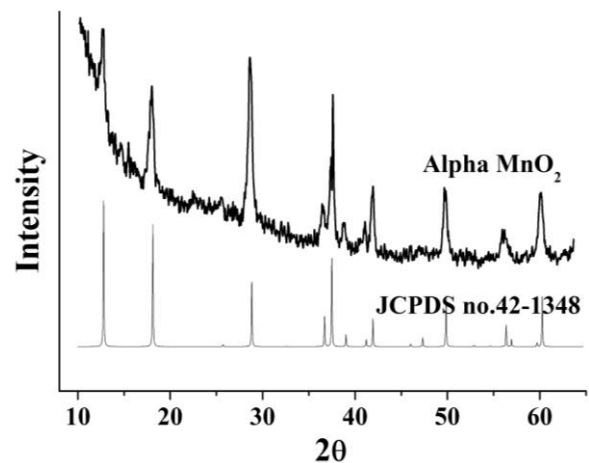
залежності $1/[W(p_0/p)-1]$ від p_0/p в діапазоні ізотерми адсорбції для відношення p_0/p в межах від 0,05 до 0,35 [11]. Для дослідження структури мікропористих вуглецевих матеріалів, доцільно використати також метод Ленгмюра [12], DFT [13], t-метод [14], оскільки метод BET не повністю враховує внесок мікропор [10].

Отриманий вуглецевий матеріал є мікропористим з мезопорами, що становлять до 15 % загальної площі поверхні. Площа поверхні рівна $1236 \text{ m}^2/\text{г}$ визначена трьома методами корелює в межах похибки, яка становить 10 %. Об'єм мікропор визначений t-методом становить $0,41 \text{ cm}^3/\text{г}$, що становить близько 60 % загального об'єму пор визначеного при максимальному тиску. Отриманий вуглецевий матеріал володіє високорозвинутою поверхнею $1100 - 1300 \text{ m}^2/\text{г}$ та мікро- і мезопористою структурою. Мезопори відіграють роль транспортних каналів для потрапляння адсорбату чи електроліту в мікропори.

Розподіл площі та об'єму пор за розмірами досліджуваного АВ отриманий DFT методом з використанням моделі щілиноподібних пор представлено на рис. 2.

З розподілу об'єму та площі пор за розмірами (рис. 2a) видно, що значний вклад у питому площу поверхні і загальний об'єм пор роблять мікропори розміром 0,5 - 2 нм. Мезопори розміром 2 - 6 нм (рис. 2b) утворюють пористий об'єм $0,28 \text{ cm}^3/\text{г}$ (табл. 1).

Згідно з результатами X-променевого аналізу в результаті гідротермального методу синтезу при температурі 180°C протягом 48 годин була сформована монофазна ультрадисперсна фаза $\alpha - \text{MnO}_2$ (JCPDS no.42-1348) (рис. 3), з кристалічною структурою Mn^{4+} і O^{2-} . Розраховані по формулі Шеррера середні розміри областей когерентного розсіювання становлять 12 - 16 нанометрів. 4M

Рис.3. Дифрактограми синтезованого мезопористого та сталонного (JCPDS no.42-1348) $\alpha - \text{MnO}_2$.

концентрація іонів KCl є ключовим фактором у процесі формування фази $\alpha - \text{MnO}_2$.

2.2. Електрохімічні параметри симетричного і асиметричного суперконденсаторів.

Для симетричного конденсатора АВ/АВ форма кривих (рис. 4,а) при швидкостях сканування 2 - 10 мВ/с близька до прямокутної, що є характерним для ЕК з ПЕШ. Збільшення швидкості сканування до 20 - 50 мВ/с (рис. 4, б) призводить до прискорення проходження процесів заряд/розряду, що знижує доступність і рух йонів електроліту всередину матеріалу електрода. При цьому ефективна взаємодія між йонами електроліту і електродом значно знижується із-за опору матеріалів електродів, що відображається у відхиленні циклічної вольтамперограми від прямокутної форми. Отримані потенціодинамічні криві мають

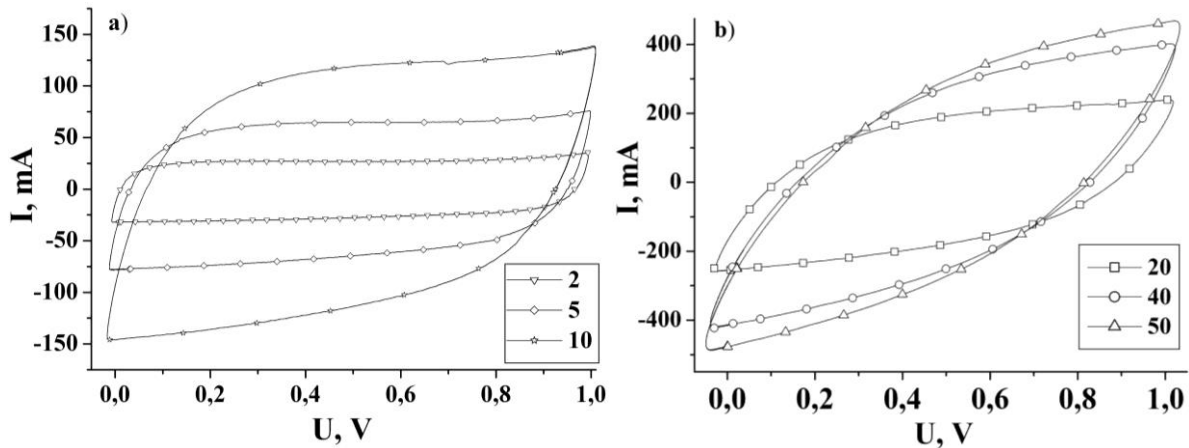


Рис. 4. Потенціодинамічні криві симетричного конденсатора АВ/АВ зі швидкістю сканування 2-10 мВ/с (а), 20-50 мВ/с (б).

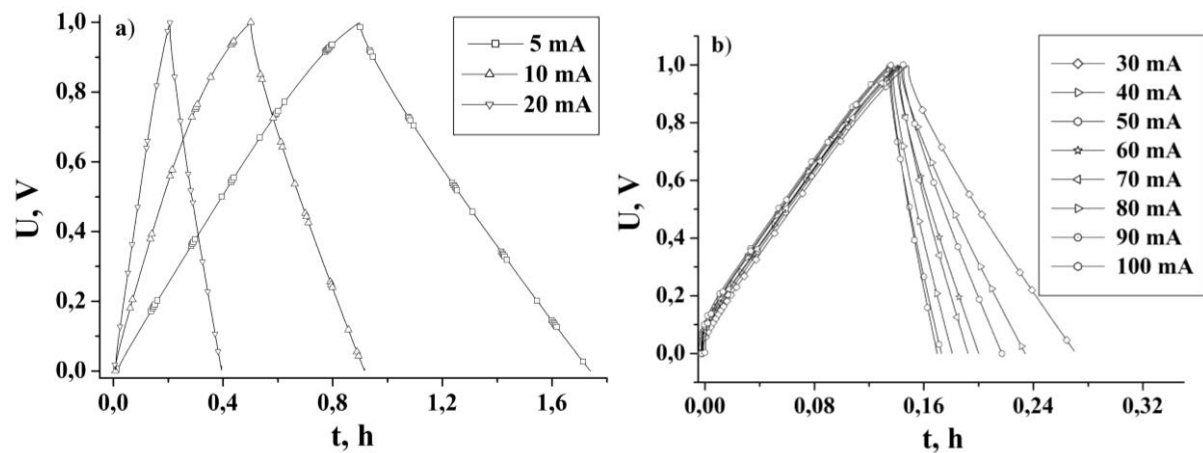


Рис. 5. Заряд-розрядні криві симетричного конденсатора АВ/АВ.

симетричну форму, що свідчить про квазіоборотність заряд/розряду ПЕШ.

Розрядні криві для симетричного суперконденсатора АВ/АВ (рис. 5) мають вигляд прямих без плато, що підтверджує дані потенціодинамічних досліджень і свідчить про переважаючий вклад ємнісного процесу накопичення

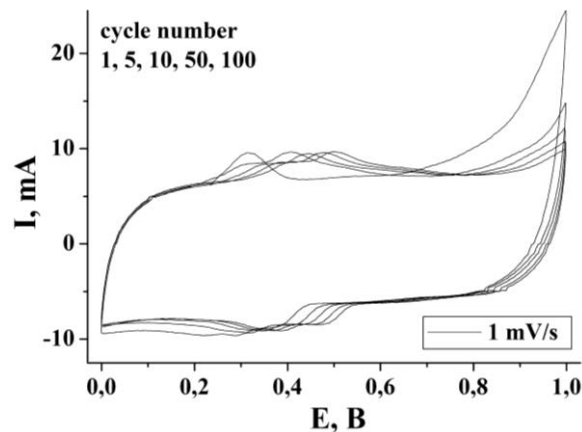
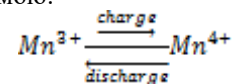


Рис. 6. Потенціодинамічні криві для асиметричного суперконденсатора α -MnO₂/АВ зі швидкістю сканування: а – 1 мВ/с, б – 1–16 мВ/с.

заряду.

При струмі розряду 5 мА значення питомої ємності лабораторного макета симетричного суперконденсатора АВ/АВ, визначене з отриманих гальваностатичних кривих, становить 32,9 Ф/г. При збільшенні струмів розряду до 100 мА питома ємність спадає до 24,5 Ф/г, що зумовлено тим, що у вуглецевому матеріалі при зростанні струму розряду збільшується еквівалентний послідовний опір, лімітований дифузією у мікропорах [15], що обмежують доступ до внутрішньої поверхні матеріалу.

На рис. 6,а показано потенціодинамічні криві для асиметричного суперконденсатора α -MnO₂/АВ в діапазоні робочої напруги такому самому як для симетричного від 0 до 1В при швидкості сканування 1 мВ/с після 1, 5, 10, 50, 100 циклів сканування. Всі циклічні вольтамперограми (ЦВА) (рис. 6, а) характеризуються наявністю окисно-відновних піків, які відповідають за проходження редокс-реакцій, в основному, за схемою:



Для дослідження стійкості роботи асиметричного ЕК збільшували робочий діапазон напруг до 1,4 В у порівнянні з симетричним (рис. 7).

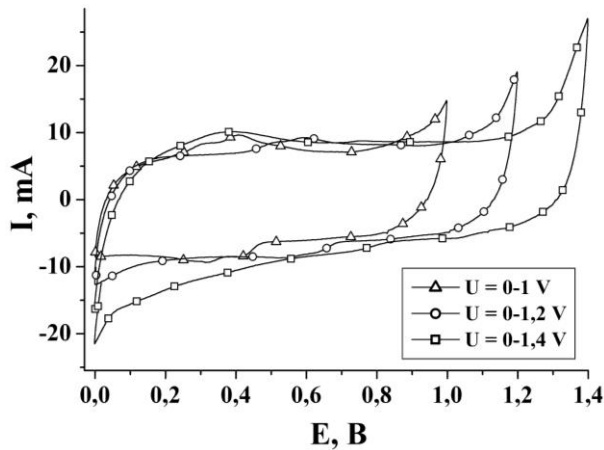


Рис. 7. Потенціодинамічні криві для ЕК α - MnO_2/AB в діапазоні напруг до 1,4 В при швидкості сканування 1 мВ/с.

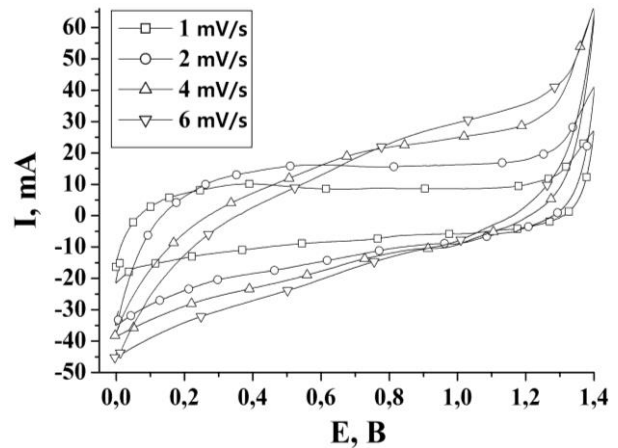


Рис. 8. Потенціодинамічні криві для ЕК α - MnO_2/AB в діапазоні напруг від 0 до 1,4 В при швидкостях сканування 1-6 мВ/с.

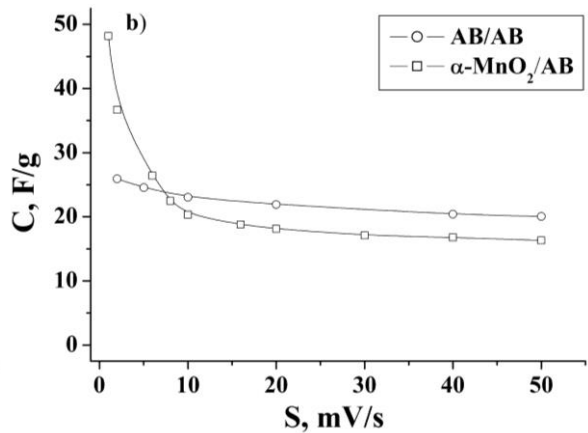
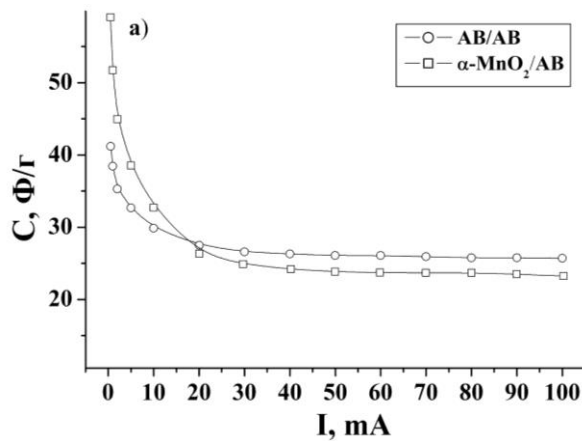


Рис. 9. Залежність питомої ємності від розрядного струму а) та швидкості сканування б) для ЕК AB/AB і ГК AB/α - MnO_2 .

Отримані значення питомих ємностей, які були обчислені з потенціодинамічних кривих, становлять: 26,1; 34,3; 48,38 Ф/г, відповідно до робочого діапазону потенціалів 0 - 1; 0 - 1,2; 0 - 1,4 В. Зростання робочого потенціалу призводить до збільшення питомої ємності на 50 % в порівнянні з симетричним Ек. Який працює в робочому вікні 0 - 1 В. З метою дослідження стабільної роботи сформованих асиметричних ЕК, подальші потенціодинамічні і гальваностатичні дослідження виконувались в потенціальному вікні 0 – 1,4 В. При швидкостях сканування від 10 до 100 мВ/с (рис. 8).

Всі отримані криві при однакових швидкостях сканування є ідентичними, що свідчить про сумісність використовуваних електродних матеріалів та стійкість досліджуваної електрохімічної системи до використаного електроліту та квазіоборотність окисно-відновних реакцій, що протікають на фарадеївському електроді виготовленому із оксиду марганцю. На кривих ЦВА при максимальній напрузі спостерігається невелике збільшення струму, яке ймовірно пов'язане з виділенням водню на поверхні вуглецевого електрода [11].

На рис. 9 зображено залежності значень питомої ємності від розрядного струму та швидкості сканування для ЕК AB/AB і ГЕК AB/α - MnO_2 . При низьких розрядних струмах до 10 мА питома ємність ГК в півтора рази є більшою за відповідну ємність симетричного ЕК. Зростання величини розрядного струму (рис. 9, а) та швидкості сканування (рис. 9, б) призводить до плавного зменшення питомої ємності обох досліджуваних макетів ЕК. Монотонний спад питомої ємності симетричних ЕК можна пояснити рухливістю йонів в межах певних мікропор (особливо поверхні мікропор, яка частково доступна для електролітів). При відносно високих заряд/розрядних швидкостях ПЕШ в межах ультрамікропор та мікропор утворюється не повністю. З підвищенням швидкості сканування кількість цих недоступних мікропор збільшується, зростає внутрішній опір і, відповідно, спостерігається монотонне зменшення питомої ємності. Для гібридного конденсатора при малих швидкостях сканування окисно-відновні реакції встигають відбутись, а отже забезпечується накопичення електричного заряду. Великі швидкості сканування,

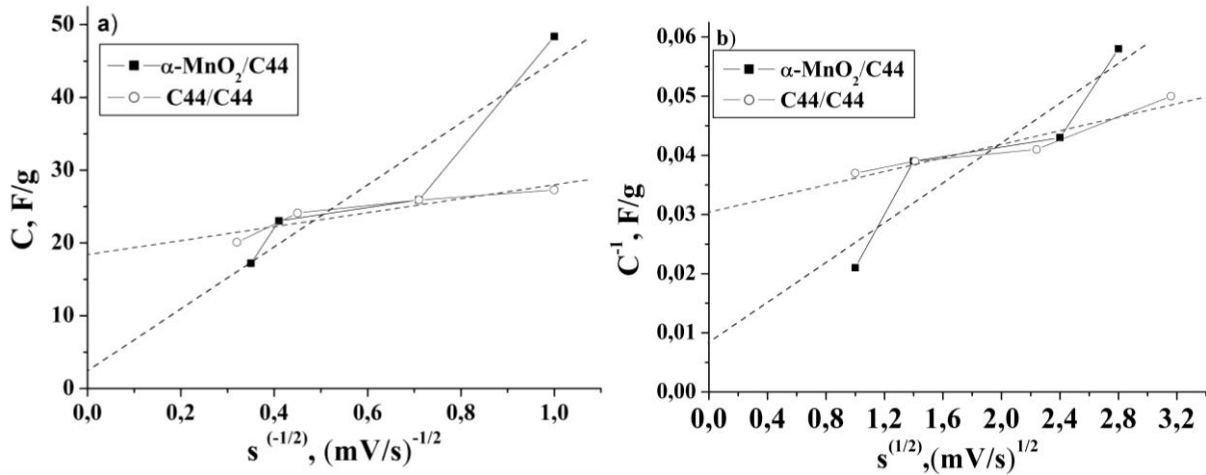


Рис.10. Залежність C від $s^{-1/2}$ а) та $1/C$ від $s^{1/2}$ б) для симетричного і гібридного конденсаторів

Таблиця 2

Питомі характеристики симетричного і гібридного конденсатора

Тип конденсатора	AUS/AUS	AUS/ α -MnO ₂
$C_{ПЕШ}$, Ф/г	18,5	2,23
C_{max}	32,26	116,28
$C_{ПЕШ}/C_{max}$	0,574	0,019

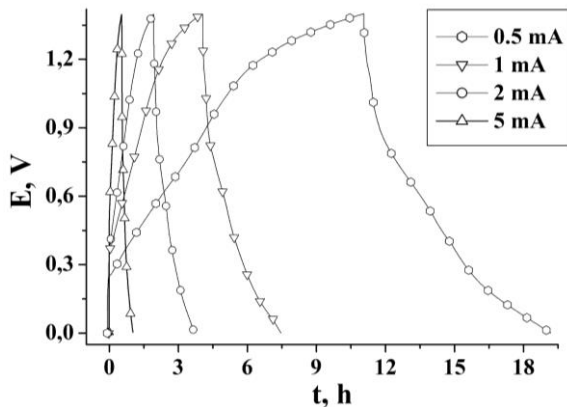


Рис. 11. Заряд-розрядні криві гібридного конденсатора α -MnO₂/AB.

або замалий час, при якому окисно-відновні реакції повинні відбутись, призводять до того, що реакції не відбуваються до кінця, а отже, накопичення заряду зменшується.

Використовуючи дані отримані із (рис. 9), загальну ємність матеріалів можна розділити на ємність подвійного електричного шару ($C_{ПЕШ}$) і дифузійно-контрольовану окисно-відновну ємність за рахунок фарадеївських швидких оборотних реакцій (C_{Φ}): $C = C_{ПЕШ} + C_{\Phi}$ [16]. У кінетичній моделі [17], припущено, що швидкість сканування впливає на загальну питому електрохімічну ємність системи, оскільки дифузійна складова ємності (C_{Φ}) є функцією від часу проходження реакції. Отже швидкість сканування можна вважати оберненою до часу протікання дифузії. Таким чином у випадку протікання напівнескінченної лінійної дифузії

загальна ємність пов'язана із швидкістю сканування наступним рівнянням: $C = C_{s=\infty} + a/\sqrt{s}$, де a – стала величина, а $C_{ПЕШ} = C_{s=\infty}$.

Екстраполяція залежностей C від $s^{-1/2}$ до осі Y (рис. 10) дала можливість визначити питому ємність ПЕШ досліджуваних матеріалів (табл. 1).

Зменшення швидкості сканування приводить до зростання питомої ємності (рис. 10, б). Таким чином залежність питомої ємності від швидкості сканування можна екстраполювати в іншу сторону до $s=0$ використовуючи функціональну залежність від s [17]. Оскільки C лінійно зростає з $s^{-1/2}$, тоді $1/C$ повинна лінійно зменшуватися із $s^{1/2}$. Тоді $1/C = 1/C_{s=0} = b\sqrt{s}$, де $C_{s=0}$ – максимальна питома ємність яку можна отримати, b – стала величина.

Як видно з рис. 10,б, величина, обернена до питомої ємності лінійно залежить від $s^{1/2}$. Екстраполяція залежностей $1/C$ від $s^{1/2}$ до осі Y (рис. 10,б) дала можливість визначити максимальну питому ємність досліджуваних матеріалів (табл. 2).

Псевдоємнісну поведінку гібридного конденсатора додатково підтверджують гальваностатичні криві (рис. 11) нелінійного характеру. Утворені плато напруги добре узгоджуються з піками, що спостерігаються на відповідних ЦВА.

При струмах розряду 0,5 - 5 мА значення питомої ємності для асиметричного конденсатора α -MnO₂/AB перевищує дане значення для симетричного конденсатора на 45 - 55 % при цих же умовах.

Висновки

З наведених вище результатів видно, що гібридний суперконденсатор характеризується кращими енергетичними параметрами, ніж симетричний, що може бути пов'язано з наступними структурними особливостями електродних матеріалів. З одного боку, пориста структура вуглецю гарантує високу питому площу поверхні (до $1250 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$) з середнім розміром пор 2 - 6 нм, що не тільки збільшує контактну область електрод / електроліт, але і відкриває додаткові можливості для проходження швидких фарадєвських оборотних реакцій. З іншого боку, шарувата структура оксиду марганцю α -модифікації з розрахованим по формулі Шеррера середні розміри областей когерентного розсіювання 12 - 16 нанометрів забезпечує швидкий йонний та електронний механізми перенесення заряду, і

забезпечує циклічність процесів, а отже, призводить до високої питомої ємності сформованих на його основі лабораторних макетів електрохімічних конденсаторів.

Остафійчук Б.К. – член-кор. НАНУ, професор, д.ф.-м.н., завідувач кафедри матеріалознавства та новітніх технологій;

Колковський М.І. – аспірант кафедри матеріалознавства та новітніх технологій;

Рачій Б.І. – д.ф.-м.н., професор кафедри матеріалознавства та новітніх технологій;

Колковський П.І. – докторант кафедри матеріалознавства та новітніх технологій;

Іваничок Н. Я. – к.ф.-м.н., старший спеціаліст кафедри матеріалознавства та новітніх технологій;

Льницький Р.В. – д.ф.-м.н., професор кафедри матеріалознавства та новітніх технологій.

- [1] B.E. Conway, *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications* (N.Y. Kluwer Academic Plenum Publishers, 1999).
- [2] B.K. Ostafiychuk, R.P. Lisovskiy, A.H.Z. Al-Saedi, B.I. Rachiy, V.O. Kotsyubynsky, P.I. Kolkovsky, R.I. Merena, A.B. Hrubciak, *Journal of Nano- and Electronic Physics* 11(3), 03036 (2019) ([https://doi.org/10.21272/jnep.11\(3\).03036](https://doi.org/10.21272/jnep.11(3).03036)).
- [3] R. Lisovsky, B. Ostafiychuk, I. Budzulyak, V. Kotsyubynsky, A. Boychuk, B. Rachiy, *Acta Physica Polonica A*. 133(4), 876 (2018). (<https://doi.org/10.12693/APhysPolA.133.876>).
- [4] A.I. Kachmar, V.M. Boichuk, I.M. Budzulyak, V.O. Kotsyubynsky, B.I. Rachiy & R.P. Lisovskiy, *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* 27(9), 669 (2019) (<https://doi.org/10.1080/1536383X.2019.1618840>).
- [5] B. Conway, W. Pell, *Proceedings of the 12-th International Seminar on DLC and Similar Energy Storage Devices* (Deerfield Beach, Florida, USA, 2002).
- [6] A.I. Belyakov, *The 6-th International Similar on DLC and Seminar Energy Storage Devices* (Deerfield Beach, Florida, USA, 1996).
- [7] J. Miller, P. Simon, *Science* 321(5889), 651 (2008) (<https://doi.org/10.1126/science.1158736>).
- [8] L. Zhang, X. Zhao, *Chemical Society Reviews* 38(9), 2520 (2009) (<https://doi.org/10.1039/B813846J>).
- [9] B.K. Ostafiychuk, I.M. Budzulyak, B.I. Rachiy, V.M. Vashchynsky, V.I. Mandzyuk, R.P. Lisovsky and L.O. Shyyko, *Nanoscale Research Letters* 10(1), 65 (2015) (<https://doi.org/10.1186/s11671-015-0762-1>).
- [10] A.P. Karnaukhov, *Adsorption. The texture of dispersed and porous materials* (Novosibirsk, Science, Sib. enterprise RAN Publ, 1999).
- [11] S. Brunauer, P. Emmett, E. Teller, *Journal of the American Chemical Society* 60(2), 309 (1938) (<https://doi.org/10.1021/ja01269a023>).
- [12] A.V. Kiselev, *Surface phenomena. Adsorption* (Moscow, Chemistry, 1969).
- [13] NOVA operating manual (Quantachrome Instruments, 2010).
- [14] T.G. Plachenov, S.D. Kolosencev, *Porometriya* (Leningrad, Chemistry, 1988).
- [15] H. Wang, L. Pilon, *Electrochimica Acta* 64(1), 130 (2012) (<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.12.118>).
- [16] S. Ardizzone, G. Fregonara, S. Trasatti, *Electrochimica Acta* 35(1), 263 (1990) ([https://doi.org/10.1016/0013-4686\(90\)85068-X](https://doi.org/10.1016/0013-4686(90)85068-X)).

Б.К. Остафійчук, М.І. Колковський, Б.І. Рачій, П.І. Колковський, Н.Я. Іванічок, Р.В. Ільницький

B.K. Ostafiychuk, M.I. Kolkovskyi, B.I. Rachiy, P.I. Kolkovskyi,
N.Ya. Ivanichok, R.V. Ilnitsky

Accumulation charge mechanisms in electrochemical systems formed based on activated carbon and manganese oxide

Vasyl Stefanyk Prekarpathian National University, Ivano-Frankivsk, Ukraine, e-mail: Pkolkovsky@gmail.com

In this work, the porous structure of the carbon material and the crystalline structure of manganese oxide α - modification (α - MnO_2) have been investigated. The electrochemical performance of symmetric and asymmetric supercapacitors (α - MnO_2 / Activated carbon) was investigated by cyclic voltammetry and galvanostatic cycling methods. The processes occur mainly at the electrode – electrolyte interface have been analyzed. It was determined that at discharge currents of 0.5 - 5 mA, the specific capacitance value for the α - MnO_2 / Activated carbon hybrid capacitor exceeds the value of the symmetric capacitor by 45 - 55 % under the same conditions.

Keywords: hybrid electrochemical supercapacitors, porous carbon material, manganese oxide.