

УДК 541. 138

ПОЛІМЕРНИЙ КОМПОЗИТ ПОЛІПІРОЛ-ПОЛІАНІЛІН

Б. Остапович*, Я. Ковалишин, Г. Ожіївська

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 6, 79005 Львів, Україна
e-mail: bohdanostapovych@ukr.net*

Синтезовано композит на основі електропровідних полімерів поліпіролу (ППір) і поліаніліну (ПАН), використовуючи два типи поліконденсації: окиснювальну конденсацію піролу в розчині 4-(4-диметиламінофенілазо)-бензолсульфонату натрію (за наявності хлориду заліза (III)) та полімеризаційне наповнення поліаніліну частинками поліпіролу за поліконденсації аніліну у водному середовищі за наявності поліпіролу під дією персульфату амонію. В ІЧ-спектрі композита ППір-ПАН наявне перекривання смуг ППір і ПАН у ділянках спектра при $1\ 350\text{--}1\ 000$, $1\ 050\ \text{cm}^{-1}$, $900\text{--}800\ \text{cm}^{-1}$ на яких проявляються скелетні коливання груп C-N і деформаційні коливання зв'язків =C-H і C-H.

Одержані зразки композитів ППір-ПАН проявляють провідність, характерну для напівпровідникових матеріалів ($2,7 \times 10^{-5}\text{--}4,1 \times 10^{-5}\ \text{Cm/cm}$). Простежується збільшення електропровідності композита ППір-ПАН порівняно з чистим поліаніліном. Ємнісні характеристики композитів ППір-ПАН оцінювали методом циклічної вольтамперометрії. Числові значення питомої ємності за швидкості сканування потенціалу $10\ \text{mV/s}$ для композита поліпірол-поліанілін на графітовому і платиновому електроді, відповідно, становлять $6,5$ і $15,3\ \text{F/g}$ у розчині $1\ \text{M H}_2\text{SO}_4$. Показано, що на ємнісні характеристики композитів впливає тип електроліту і природа поверхні електрода. Зростання ємності композита поліпірол-поліанілін порівняно з чистим поліаніліном для платинового електрода, очевидно, обумовлено збільшенням струмів заряджання ПЕШ завдяки зростанню вмісту ППір та струмів окиснення-відновлення ПАН завдяки збільшенню кількості активних центрів полімеру, які можуть брати участь у редокс-процесах унаслідок зростання кількості контактів ПАН з більш електропровідними частинками ППір, на які осаджується ПАН під час синтезу композита.

Ключові слова: поліпірол, поліанілін, полімерні композити.

DOI: <https://doi.org/10.30970/vch.5902.396>

Гетероланцюгові полімери, які містять атоми азоту і карбону в основному ланцюгу макромолекули, такі як поліанілін і поліпірол, та їхні похідні викликають великий інтерес у дослідників завдяки добрій електропровідності, стабільності, легкості синтезу, особливих окиснювально-відновних властивостей порівняно з іншими високомолекулярними сполуками. Поліанілін (ПАН) і поліпірол (ППір) вивчають у зв'язку з перспективою застосування їхнього потенціалу для накопичення енергії у конструюванні пристроїв перетворення енергії – батарей, паливних елементів, суперконденсаторів, а також можливістю одержання макромолекул цих полімерів з різною наноструктурою [1,2].

Останніми роками увагу конструкторів ХДС привертають суперконденсатори з подвійним електричним шаром через їхню значну питому ємність, швидкість заряду-розряду, тривалий термін служби, високий ККД і велику кількість циклів заряд-розряд. Порівняно з акумуляторами, такі системи поки ще програють по щільності зберігання енергії і вихідній напрузі, тому сьогодні активно розробляють нові матеріали для електродів суперконденсаторів, направлені на покращення їхніх ємнісних характеристик [3]. Перспективними для цього є різні композити на основі вуглецевих матеріалів (вуглецеві нанотрубки, графен, вугілля, сажа) з електропровідними полімерами, зважаючи на велику площу поверхні і наявність власної псевдоємності, забезпеченої швидкими окиснювально-відновними процесами в ланках макромолекул [4].

Ми провели синтез та дослідження композиційних матеріалів на основі електропровідних полімерів поліпіролу з поліаніліном. Для синтезу композитів у дві стадії проводили два типи поліконденсації: окиснювальна конденсація піролу в розчині метилоранжу (за наявності хлориду заліза (III)), а потім полімеризаційне наповнення поліаніліну частинками поліпіролу при поліконденсації аніліну у водному середовищі за наявності поліпіролу під дією персульфату амонію $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ [5].

Промиті і висушені порошкоподібні синтезовані композити для встановлення їхньої будови досліджували методом ІЧ-спектроскопії за допомогою спектрофотометра SPECORD-M80. Для цього зразки були таблетовані з порошком КВг, який слугує імерсійним середовищем у дослідженні об'єктів подібного типу.

Питомий опір синтезованих композитів вимірювали за двоконтактною схемою, за одержаними даними розраховували питому електропровідність [6].

Ємнісні характеристики композитів поліпірол-поліанілін оцінювали методом циклічної вольтамперометрії [7].

Для цього на графітові електроди наносили 0,005 г синтезованого композита, наприклад ППір-ПАН, і додавали 10 мкл 1 % розчину Нафіону в етанолі, утворену плівку сушили за температури 40 С. Циклічні вольтамперограми модифікованих електродів вивчали за допомогою комплексу апаратури на основі потенціостата ПИ-50, використовуючи триелектродну електрохімічну комірку.

На рис. 1-3 зображено ІЧ-спектри поліпіролу, поліаніліну та синтезованого композита ППір-ПАН. На ділянці 3500–3300 cm^{-1} у спектрах композита і гомополімерів простежуються смуги поглинання валентних коливань груп N–H, збільшення ширини смуг і зменшення інтенсивності порівняно з мономерами свідчать про входження аміногруп до складу полімерних продуктів.

Піки (1540, 1446, 1305, 1156, 1008, 785 cm^{-1}) поглинання ППір зображено на рис. 1. Перші два відповідають хвильовим числам 1545 cm^{-1} і 1442 cm^{-1} , що пов'язано з коливаннями пірольного циклу. Піки при 1356 cm^{-1} та 1039 cm^{-1} відповідають площинним деформаційним коливанням зв'язків =C–H, коливання зв'язків C–N проявляються при 1194 cm^{-1} , а при 914 cm^{-1} – проявляються деформаційні позаплощинні коливання груп =C–H [8, 9].

На рис. 2 показано ІЧ-спектр синтезованого зразка ПАН. Основні характеристичні смуги поглинання ПАН можна зачислити до коливань атомів у таких групах: C=N і C=C валентні коливання для хіноїдної і бензоїдної форм простежуються при 1575–1550 cm^{-1} ; при 1485 cm^{-1} проявляються валентні коливання C=C бензоїдного циклу, роздвоєна смуга при 1300 і 1243 cm^{-1} належить

до C–N валентного коливання і до деформаційних площинних коливань C–H (вторинний ароматичний амін), а пік при 1 142–1 153 cm^{-1} – до хіноїдної форми допованого ПАН, пік при 800 cm^{-1} – до деформаційних коливань атомів у зв'язках C–H бензоїдної форми [10].

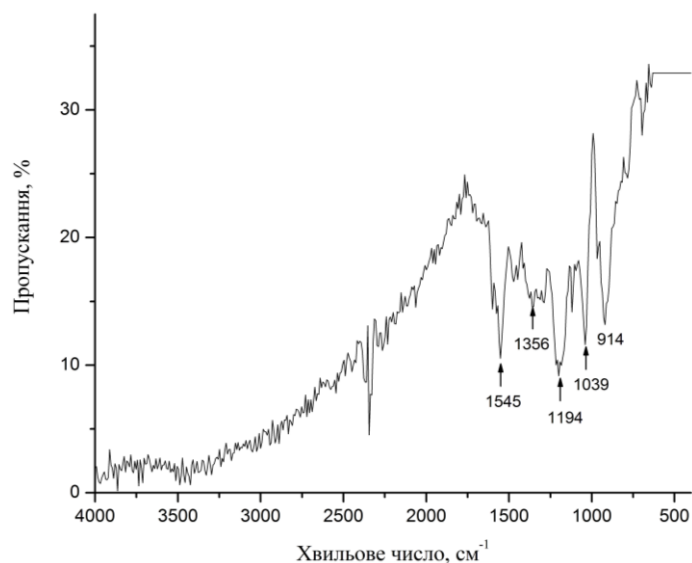


Рис. 1. ІЧ-спектр поліпіролу (таблетка з KBr)
Fig. 1. Infrared spectrum of polypyrrole (KBr tablet)

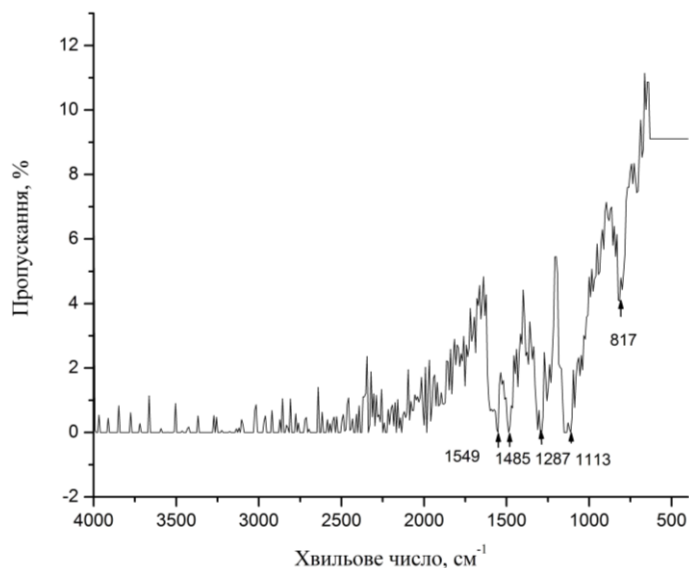


Рис. 2. ІЧ-спектр поліаніліну (таблетка з KBr)
Fig. 2. IR spectrum of polyaniline (KBr tablet)

Як бачимо з рис. 3, у спектрі композита ППір–ПАН внаслідок накладання і часткового перекриття частот коливань груп атомів окремих компонентів та, очевидно, міжмолекулярної взаємодії полімерів простежуємо розширення смуг поглинання в ділянках спектра, які властиві для ПАН і ППір при $1\,580\text{ см}^{-1}$, $1\,490\text{ см}^{-1}$, $1\,300$, $1\,140$, $900\text{--}800\text{ см}^{-1}$, при цьому переважає інтенсивність смуг поглинання поліаніліну, оскільки співвідношення ППір : ПАН у вихідній суміші становило 1:9. Результати вимірювань питомої електропровідності синтезованих композитів зображено в табл. 1.

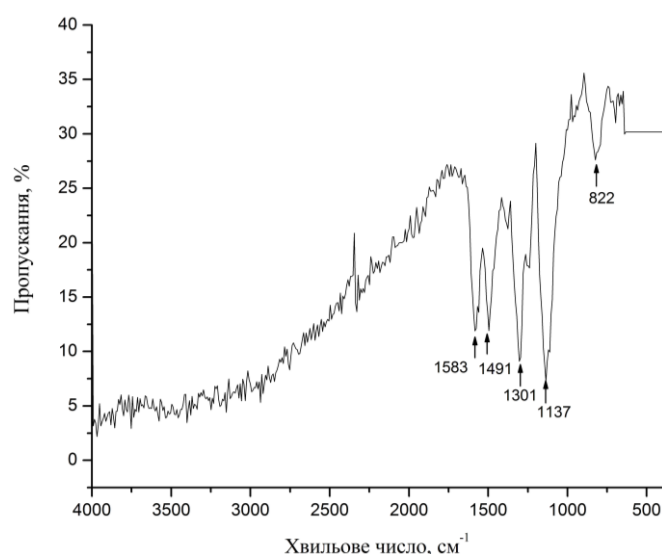


Рис. 3. ІЧ-спектр композита ППір–ПАН (таблетка з KBr)
Fig. 3. Infrared spectrum of PPIr-PAN composite (KBr tablet)

Таблиця 1

Електропровідність одержаних композитів

Table 1

Electrical conductivity of the obtained composites

Склад зразка	Електропровідність, (См/см)	$\chi \cdot 10^6$
Поліанілін	27,0	
Композит поліпірол-поліанілін	34,0	
Поліпірол	41,0	

Одержані зразки композитів проявляють провідність, характерну для напівпровідникових матеріалів (1×10^{-3} – 1×10^{-6} См/см). Згідно з літературними даними, електропровідність поліаніліну і поліпіролу, синтезованих в умовах хімічного окиснення, є меншою, ніж у випадку їхнього синтезу електрохімічними методами.

Очевидно, що збільшення електропровідності композита порівняно з поліаніліном, обумовлено наявністю наночастинок поліпіролу у складі композита [9], які можуть слугувати як перколяційні містки між компонентами композита, що і приводить до збільшення провідності зразка.

Одним з способів підвищення загальної електрохімічної ємності матеріалу, який придатний для створення суперконденсаторів, є комбінування ємності нанорозмірних вуглецевих матеріалів (вуглецеві нанотрубки, графен, поліпірол) і псевдоємності фарадеївського процесу поліаніліну.

Потенціал модифікованого композитом графітового електрода для одержання стабільного відклику десятикратно сканували у водному розчині 1 М H₂SO₄, а також у 1 М KCl за різних швидкостей сканування потенціалу (10, 20, 30 мВ/с) і в межах розгортки потенціалу (0,2–0,8 В).

З отриманих результатів бачимо, що величини струму в екстремумах вольтамперограм зі зростанням швидкості сканування потенціалів збільшуються (рис. 4, 5).

Збільшення величини струму піків вольтамперограм зі зростанням швидкості сканування потенціалів (рис. 4, 5) можна пояснити тим, що швидкість електрохімічного процесу лімітується дифузиею активних складових системи до поверхні електрода. Піки струмів, які відповідають окисно-відновним процесам поліпіролу або поліаніліну для цих зразків, слабковиражені, що підтверджує значний внесок у струм відклику струмів заряджання подвійного електричного шару, яке може бути наявним за високого значення питомої площі поверхні композита. Ємнісні характеристики композитів розраховували за формулами, наведеними в [7]:

$$C = \frac{I_{max}}{dv/dt},$$

$$C_g = \frac{c}{w},$$

де C – ємність, Ф; I_{max} – максимальний струм піка, А; dv/dt – швидкість розгортки потенціалу, мВ/с; C_g – питома ємність, Ф/г; W – маса активної речовини, г.

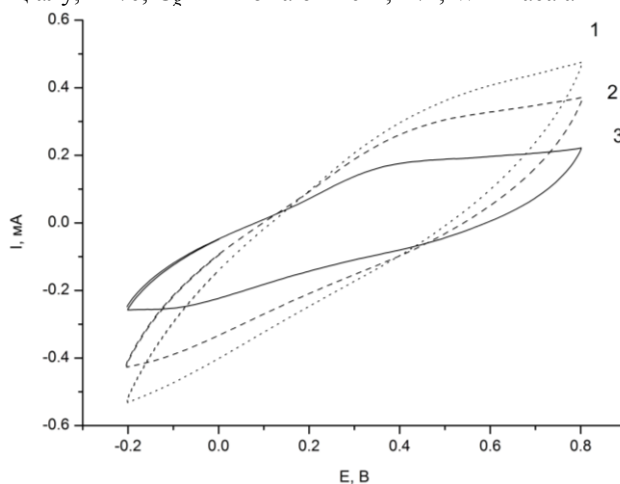


Рис. 4. ЦВА графітового електрода, модифікованого композитом ППір–ПАН (синтезований методом поліконденсації Ан на частинках ППір під дією ((NH₄)₂S₂O₈), (10 цикл сканування потенціалу). Електроліт – 1 М розчин H₂SO₄. Швидкість сканування потенціалу:

$I = 30$ мВ/с; 2 = 20 мВ/с; 3 = 10 мВ/с

Fig. 4. CVA graphite electrode modified by the composite PPIR-PAN (synthesized by Polycondensation An on particles of PPIR under the action of ((NH₄)₂S₂O₈), (10th cycle of potential scanning) Electrolyte - 1 M solution of H₂SO₄ Scan speed of the potential:

$I = 30$ mV/s; 2 = 20 mV/s; 3 = 10 mV/s

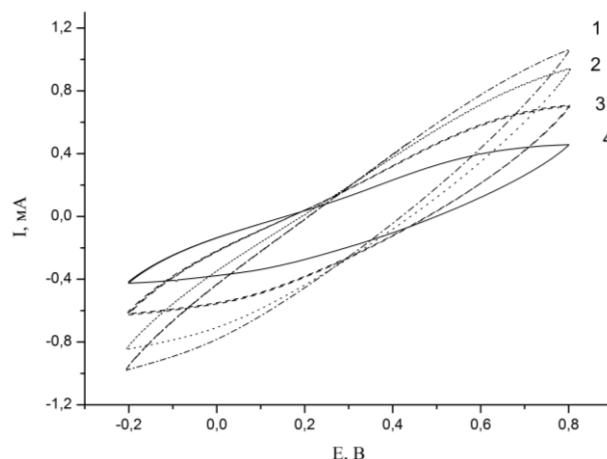


Рис. 5. ЦВА платинового електрода, модифікованого композитом ППір-ПАН (синтезований методом поліконденсації Ан на частинках ППір під дією $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$, (10 цикл сканування потенціалу). Електроліт – 1 М розчин H_2SO_4 . Швидкість сканування потенціалу:

$I = 30 \text{ мВ/с}$; $2 = 20 \text{ мВ/с}$; $3 = 10 \text{ мВ/с}$; $4 = 5 \text{ мВ/с}$.

Fig. 5. CVA platinum electrode modified by the composite PPIr-PAN (synthesized by Polycondensation An on PPIr particles under the action of $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$, (10 cycle of potential scanning) Electrolyte – 1 M solution of H_2SO_4 Scan speed of the potential:

$I = 30 \text{ mV/s}$; $2 = 20 \text{ mV/s}$; $3 = 10 \text{ mV/s}$; $4 = 5 \text{ mV/s}$.

Числові значення питомої ємності композитів, нанесених на поверхню електродів різної природи, наведено в табл. 2. Як бачимо з експериментальних даних, найвищі ємності простежуємо за низьких швидкостей сканування потенціалу, що можна пояснити відносною повільністю процесу допування-дедопування ПАН у разі його редокс-переходів. Це призводить до того, що не всі потенційно активні редокс-центри беруть участь в електрохімічному процесі окиснення-відновлення ПАН. Тому найближчими до повної ємності вважають ємності, отримані за низьких швидкостей сканування потенціалу.

Таблиця 2

Ємнісні параметри модифікованих електродів

Table 2

The electrical capacity of the electrodes made by us from our synthesized polymer composites

Склад композита на електроді	Швидкість розгортки потенціалу, мВ/с	C – ємність, Ф		C_g – питома ємність, Ф/г	
		Електроліт		Електроліт	
		H_2SO_4 , 1М	KCl, 1 М	H_2SO_4 , 1М	KCl, 1М
Платиновий електрод					
Композит <i>поліпірол-поліанілін</i>	5	0,082	0,016	27,40	5,33
	10	0,046	0,012	15,27	3,97
	20	0,036	0,008	12,07	2,50
	30	0,026	0,005	8,73	1,67
	5	0,052	–	0,052	–
	10	0,039	–	0,039	–
<i>Поліанілін</i>	20	0,025	–	0,025	–
	30	0,019	–	0,019	–
Графітовий електрод					
Композит <i>поліпірол-поліанілін</i>	10	0,019	0,124	6,55	60
	20	0,016	0,063	5,42	31,5
	30	0,014	0,038	4,50	19

Зростання ємності композита поліпірол-поліанілін порівняно з чистим поліаніліном для платиногового електрода можна пояснити збільшенням струмів заряджання ПЕШ завдяки зростанню вмісту ППірол та струмів окиснення-відновлення ПАН завдяки збільшенню кількості активних центрів полімеру, які можуть брати участь у редокс-процесах унаслідок зростання кількості контактів ПАН з більш електропровідними частинками (ППірол), на які осаджується ПАН під час синтезу композита. Відповідно, простежується збільшення електропровідності композита ППір-ПАН порівняно з чистим поліаніліном. Пікові струми композита у кислотному електроліті для платиногового електрода відносно вищі, ніж у нейтральному електроліті (KCl), відповідно, вищими є і ємнісні характеристики, очевидно, внаслідок участі поліаніліну.

На підставі ЦВА для десятого циклу розгортки потенціалу кожного з композитів (рис. 4, 5) розраховано ємність та питому ємність для досліджуваних систем. Числові значення питомої ємності за швидкості сканування 10 мВ/с для композита поліпірол-поліанілін становлять 6,5 Ф/г у розчині 1 М H₂SO₄ та 60 Ф/г у 1 М KCl, відповідно (табл. 2), що свідчить про можливість регулювання ємності електрода для суперконденсаторів шляхом зміни складу композита, типу електроліту або природи струмопровідної основи.

Електрохімічні властивості синтезованих композитів вивчали за використання створених на їхній основі матеріалів для ЛХДС.

Як активні матеріали катода літєвих ХДС, застосовують оксиди перехідних металів (V₂O₅, MoO₃, MnO₂ тощо.). Електропровідні полімери дуже часто слугують доданками до катодного матеріалу літєвих ХДС у складі вуглецевих (графіт) добавок для покращення розрядних характеристик створюваних портативних джерел струму. Наприклад, нанокompозити оксиду мангану і поліпіролу демонструють поліпшення питомої ємності ХДС (620 Ф/г) порівняно з чистим MnO₂ (220 Ф/г), а також чистим поліпіролом (250 Ф/г), такі ХДС також демонструють високу розрядну стабільність і добрі окисно-відновні властивості. Цікаво дослідити поведінку синтезованих композитів поліпірол-поліанілін як компонентів катодного матеріалу (на основі оксиду мангану) для створюваних ХДС. Ми сконструювали ХДС такого складу:

Схема елемента ХДС 1:

Li | 2M LiClO₄ в пропіленкарбонаті | [поліанілін+MnO₂+графіт 10%];

Схема елемента ХДС 2:

Li | 2M LiClO₄ в пропіленкарбонаті | [поліпірол+MnO₂+графіт 10%];

Схема елемента ХДС 3:

Li | 2M LiClO₄ в пропіленкарбонаті | [композит (поліпірол+поліанілін)+MnO₂+графіт 10%].

Знято розрядні криві за постійного зовнішнього опору (50 Ом) для досліджуваних макетів ХДС. Експериментальні дані цих досліджень наведено на рис. 6–8.

На основі розрядних кривих розраховано питомі енергетичні характеристики досліджуваних ХДС [11] з катодними матеріалами, виготовленими з синтезованих композитів, які порівнювали з аналогами на основі чистих поліаніліну та поліпіролу. Результати розрахунків наведено у табл. 3.

Сконструйовані макети літєвих хімічних джерел струму характеризують напругою розімкненого кола в межах 3,21–3,33 В, густина розрядного струму досліджуваних зразків перебуває в межах 0,057–0,165 А/см².

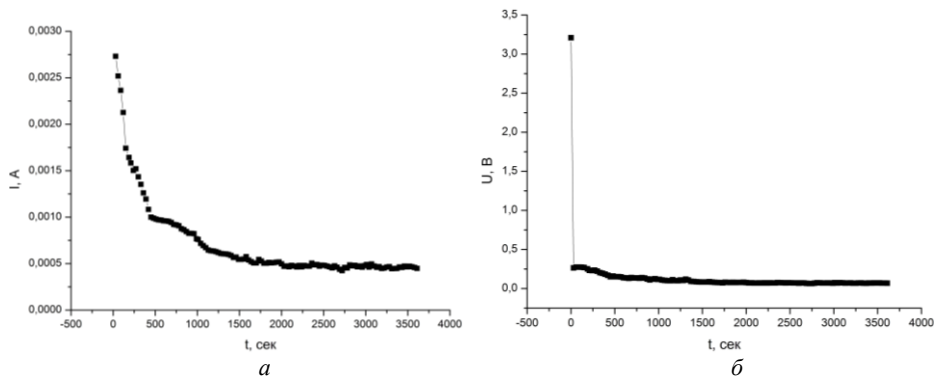


Рис. 6. Розрядні криві для літійового ХДС з катодним матеріалом такого складу: композит (поліанілін+поліпірол)+ MnO_2 +графіт 10 %; $a - I = f(t)$; $b - U = f(t)$

Fig. 6. Discharge curves for lithium CDS with cathode material of this composition: composite (polyaniline+polypyrrol)+ MnO_2 +graphite 10%; $a - I = f(t)$; $b - U = f(t)$

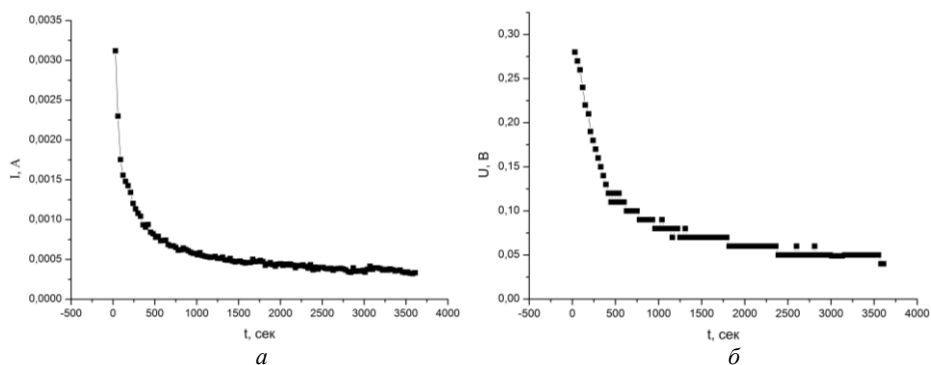


Рис. 7. Розрядні криві для літійового ХДС з катодним матеріалом такого складу: поліанілін+ MnO_2 +графіт 10 %; $a - I = f(t)$; $b - U = f(t)$

Fig. 7. Discharge curves for lithium XDS with cathode material of this composition: polyaniline+ MnO_2 +graphite 10%; $a - I = f(t)$; $b - U = f(t)$

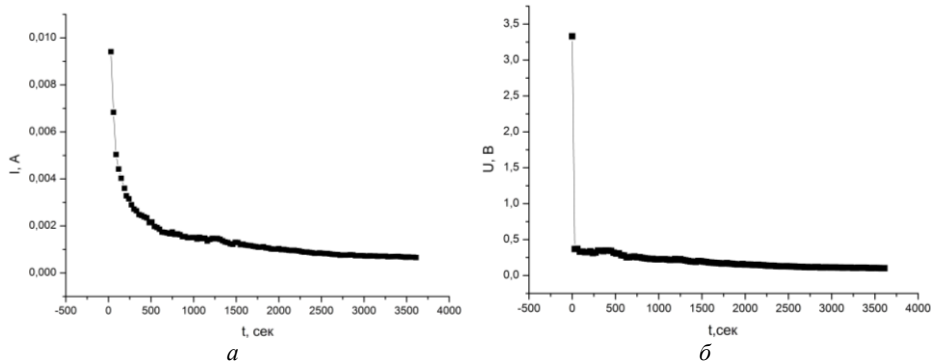


Рис. 8. Розрядні криві для літійового ХДС з катодним матеріалом такого складу: поліпірол+ MnO_2 +графіт 10 %; $a - I = f(t)$; $b - U = f(t)$.

Fig. 8. Discharge curves for lithium CDS with cathode material of the following composition: polypyrrol+ MnO_2 +graphite 10%; $a - I = f(t)$; $b - U = f(t)$

Числові значення питомої енергії сумірні між собою і є в інтервалі 1,89–2,75 $\text{Вт} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$, питома енергія для композита $[(\text{ППірол} + \text{ПАН}) + \text{MnO}_2]$ є дещо вищою порівняно зі зразком $(\text{ПАН} + \text{MnO}_2)$ ($2,32 \text{ Вт} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$).

На основі аналізу розрядних кривих показано, що питома ємність для композита $[(\text{ППірол} + \text{ПАН}) + \text{MnO}_2]$ відрізняється ($2070,45 \text{ А} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$) порівняно з чистими компонентами у складі катодного матеріалу $(\text{ПАН} + \text{MnO}_2)$ – ($802,45 \text{ А} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$) або $(\text{поліпірол} + \text{MnO}_2)$ – ($840,81 \text{ А} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$).

Таблиця 3

Результати досліджень ХДС

Table 3

Results of CDU research

Катодний матеріал ХДС Li--(композит)	Напруга розімкнутого кола, В	Внутрішній опір, Ом	Густина розрядного струму, $(\text{А}/\text{см}^2)$	Питома ємність, $\text{А} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$	Питома енергія, $\text{Вт} \times \text{с} \times \text{г}^{-1}$	Розрядний опір, Ом
Композит $(\text{ПАН} - \text{MnO}_2) + \text{Gr } 10\% (1)$	3,28	3,2	0,17	802,5	1,89	50
Композит $(\text{ППірол} - \text{ПАН} - \text{MnO}_2) + \text{Gr } 10\% (2)$	3,21	2,2	0,11	2070,5	2,32	50
Композит $(\text{ППірол} - \text{MnO}_2 \text{ реактив}) + \text{Gr } 10\% (3)$	3,33	3,3	0,06	840,81	2,75	50

Зразки катодного матеріалу досліджували у вигляді пресованих таблеток, діаметр 1 см.

Очевидно, поліпшення питомої ємності для катодного матеріалу на основі композита можна пояснити наявністю трьох електропровідних фаз різної природи в об'ємі катодного матеріалу, що сприяє накопиченню електричних зарядів на межі між наночастинками поліпірол–поліанілін– MnO_2 .

Отже, за сумірних значень напруги розімкнутого кола для досліджуваних ХДС зразок з катодним матеріалом, який відповідає складу композита $\text{ППірол} - \text{ПАН} + \text{MnO}_2$, характеризується найвищою питомою ємністю.

У моделюванні суперконденсаторів композит $\text{ППірол} - \text{ПАН}$ доцільніше використовувати у кислому середовищі (платиновий електрод), а у випадку графітового електрода – в електроліті KCl , оскільки на ємнісні характеристики композитів також впливає природа поверхні електрода (табл. 2), що, очевидно, пов'язано з особливостями акумулювання і перенесення заряду у сформованих ПЕШ.

Отримані результати (висока питома ємність, а також високі швидкості розряду ХДС), свідчать про перспективність застосування досліджених зразків для конструювання електродів суперконденсаторів.

1. Wang H., Lin J., Shen Z. X. Polyaniline (PANi) based electrode materials for energy storage and conversion // Adv. Mat. Dev. 2016. Vol. 24. P. 225–255.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsamd.2016.08.001>

2. *Bhadra S., Khastgir D., Singha N. K.* et al. Progress in preparation, processing and applications of polyaniline // *Prog. Polym. Sci.* 2009. Vol. 34. P. 783–810. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.04.003>
3. *Dhawale D. S., Dubal D. P., Jamadade V. S.* et al. Fuzzy nanofibrous network of polyaniline electrode for supercapacitor application // *Synth. Met.* 2010. Vol. 160. P. 519–522. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2010.01.021>
4. *Ramya R., Sivasubramanian R., Sangaranarayanan M.V.* Conducting polymers-based electrochemical supercapacitors — Progress and prospects // *Electrochimica Acta.* 2013. Vol. 101. P. 109–129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.09.116>
5. *Mi H., Zhang X., Ye X., Yang S.* Preparation and enhanced capacitance of core–shell polypyrrole/ polyaniline composite electrode for supercapacitors // *J. Power Sources.* 2008. Vol. 176. P. 403–409. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.10.070>
6. *Ostapovych B., Charkiv M.* Polymer composites of polypyrrole-MnO₂ // *Visnyk Lviv Univ. Ser. Chem.* 2015. Vol. 56. P. 377–387. (in Ukrainian).
7. *Dhawale D. S., Salunkhe S. S.* Hydrophilic polyaniline nanofibrous architecture using electrosynthesis method for supercapacitor application // *Curr. Appl. Phys.* 2010. Vol. 10. P. 904–905. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cap.2009.10.020>
8. *Brezoi D.-V.* Polypyrrole films prepared by chemical oxidation of pyrrole in aqueous FeCl₃ solution // *J. Science and Arts.* 2010. No. 1. P. 53–58.
9. *Yang X. M., Zhu Z. X., Dai T. Y., Lu Y.* Facile Fabrication of Functional Polypyrrole Nanotubes via a Reactive Self-Degraded Template // *Macromol. Rapid Commun.* 2005. Vol. 26. P. 1736–1740. DOI: <https://doi.org/10.1002/marc.200500514>
10. *Laslaoua C., Zujovica Z., Travas-Sejdic J.* Theories of polyaniline nanostructure self-assembly: Towards an expanded, comprehensive Multi-Layer Theory (MLT). *Prog. Polym. Sci.* 2010. Vol. 35. P. 1403–1419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2010.08.002>
11. *Novak P., Vielstich W.* Performance of the Low-current-Density–Synthesized polypyrrole in lithium cells containing propylene carbonate // *J. Electrochem. Soc.* 1990. Vol. 137. P. 1681–1683. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.2086770>

POLYPYRROLE–POLYANILINE POLYMER COMPOSITE

B. Ostapovych*, Ya. Kovalyshyn, G. Ozhiyvka

*Ivan Franko National University of Lviv,
Kyryla i Mefodiya Str., 6, 79005 Lviv, Ukraine
e-mail: bohdanostapovych@ukr.net*

Synthesis of polypyrrole-polyaniline polymer composite was carried out with polycondensation of aniline in an acid medium in the presence of nanosized polypyrrole particles under the action of ammonium persulfate. Polypyrrole nanoparticles were previously obtained by us during the polymerization of pyrrole in a solution of sodium 4- (4-dimethylaminophenylazo) benzenesulfonate under the action of FeCl₃.

In the IR spectrum of polypyrrole-polyaniline composite, which we synthesized, absorption bands in the spectral regions at 1 580, 1 490, 1 350, 1 050, 900-800 cm⁻¹ appear due to oscillations of the atoms in the ring of the pyrrole, valence fluctuations of the atoms in the ions The C–N, deformation oscillations of bonds = C–H and C–H.

The resulting samples of composites show the electrical conductivity characteristic of semiconductor materials ($2,7 \times 10^{-5}$ – $4,1 \times 10^{-5}$ Sm/cm). There is an increase in the conductivity of [polypyrrole–polyaniline] composite compared with pure polyaniline. Our models of lithium chemical current sources made with cathode materials on the basis of synthesized composites have a voltage of open circuit of 3.21-3.33 V. The numerical values of the specific energy of these current sources are compatible with each other and are in the range of values 1.89 - 2.75 W \times s \times g⁻¹.

The electrical capacity of samples of composites was measured by cyclic voltammetry. The numerical values of the specific capacitance for polypyrrole-polyaniline composite on a graphite electrode are 6,55 F/g in a solution of 1 M H₂SO₄ at a scan rate of 10 mV/s. It has been shown that the specific capacity of the composites affects the type of electrolyte and the nature of electrode surface.

Keywords: polypyrrole, polyaniline, polymer composites.

Стаття надійшла до редколегії 30.10.2017

Прийнята до друку 11.04.2018