

Radosław KULIŃSKI
Ewa ZAWADZKA
Bronisław SZUBZDA

NANOKOMPOZYTY PANI/MWCNT JAKO MATERIAŁY NA ELEKTRODY W SUPERKONDENSATORACH

STRESZCZENIE *Nanokompozyty polianilina/wielosściennych nanorurki węglowe (PANI/MWCNT) wytworzone przy wykorzystaniu metody 'in situ' polimeryzacji utleniającej aniliny w wodnej dyspersji wielosściennych nanorurek węglowych zostały przebadane pod kątem wykorzystania jako materiał elektrodowy dla superkondensatorów. Właściwości superkondensatorowe kompozytu typu core-shell zostały wyznaczone przy pomocy pomiarów woltametrii cyklicznej oraz galwanostaticznego ładowania i rozładowania. Badania termoanalityczne (TG/DSC) i zdjęcia ze skaningowego mikroskopu elektronowego pozwoliły określić faktyczną strukturę nanokompozytu oraz stopień dyspersji nanorurek w matrycy polimerowej. Celem pracy jest wykorzystanie specyficznej struktury kompozytu typu core-shell do projektowania nowych materiałów, o obiecujących właściwościach, mogących znaleźć zastosowania jako elektrody superkondensatorów.*

Słowa kluczowe: *superkondensatory, nanorurki węglowe, polianilina, kompozyty core-shell*

mgr inż. Radosław KULIŃSKI^{1,3)}
e-mail: r.kulinski@iel.wroc.pl

mgr inż. Ewa ZAWADZKA¹⁾
e-mail: zawadzka@iel.wroc.pl

dr inż. Bronisław SZUBZDA²⁾
e-mail: szubzda@iel.wroc.pl

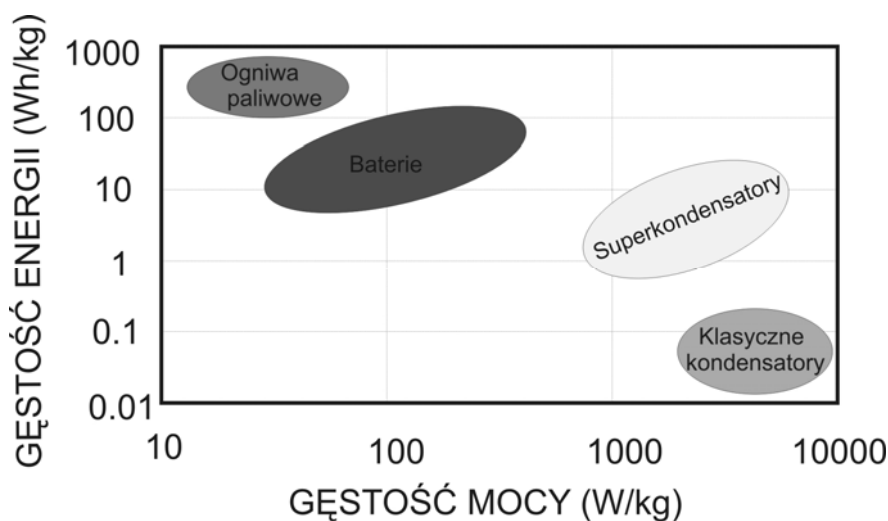
¹⁾ Zakład Technologii i Tłoczyw Elektroizolacyjnych

²⁾ Instytut Elektrotechniki, Oddział Technologii i Materiałoznawstwa
Elektrotechnicznego we Wrocławiu, Zakład Materiałoznawstwa i Diagnostyki

³⁾ Instytut Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Politechnika Wrocławska

1. WSTĘP

Istotnym problemem, wymagającym rozwiązania w najbliższym czasie jest magazynowanie energii elektrycznej. Potrzebne są rozwiązania umożliwiające długotrwałe magazynowanie energii uzyskanej z niekonwencjonalnych, odnawialnych źródeł (słońce, wiatr, woda). Potrzebne są również magazyny zdolne do szybkiego, krótkotrwałego przejmowania nadmiaru energii oraz szybkiego jej oddawania. Obecnie dostępne magazyny (baterie, ogniwa; rys. 1) nie są w stanie zapewnić jednocześnie wysokiej gęstości mocy i energii, dlatego tworzy się układy, w których rolę bufora, mogącego przechować i szybko oddać nadmiar energii pełni superkondensator [4, 7, 10, 16]. Przykładem ich zastosowań mogą być zasilacze typu UPS, a także układy stosowane w pojazdach elektrycznych, mające na celu odzyskiwanie i magazynowanie energii hamowania.



Rys. 1. Wykres zależności gęstości energii w funkcji gęstości mocy dla podstawowych magazynów energii

Istnieją dwa podstawowe mechanizmy gromadzenia energii w superkondensatorze, zależne od jego budowy: procesy związane z tworzeniem się podwójnej warstwy na granicy elektroda/elektrolit dla elektrod węglowych oraz tzw. procesy pseudopojemnościowe, w których gromadzenie ładunku związane jest z transportem ładunków elektrycznych w tlenkach metali [16] i przewodzących polimerach [6, 16].

Energię W gromadzoną w kondensatorze zapisujemy wzorem:

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon \cdot S}{d} E^2 \cdot d^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot E^2 \cdot V \quad (1)$$

gdzie:

$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$ – przenikalność elektryczna [F/m],

E – natężenie pola elektrycznego [V/m],

$V = S \cdot d$ – objętość dielektryka w której zawarta jest energia [m³].

Z wzoru tego wynika, że ilość gromadzonej energii ograniczona jest przez przestrzenną gęstość energii oraz objętość zawartą między elektrodami. Prowadzi to do koncepcji, sprawdzonej i stosowanej w praktyce, używania materiałów elektrodowych o wysokiej porowatości i rozwiniętej powierzchni fizycznej, dochodzącej, w aktywowanych materiałach węglowych, nawet do kilku tysięcy m²/g. Spełniona jest również zależność tym większej pojemności i energii, im większa jest powierzchnia właściwa elektrody. Istotnym parametrem okazuje się również wielkość i kształt porów. Okazało się, że dzięki procesom pseudopojemnościowym, materiały tlenkowe i polimery przewodzące, posiadając relatywnie małą powierzchnię fizyczną (od kilkudziesięciu do stu m²/g) również wykazują wysokie wartości pojemności i energii. Dobry materiał elektrodowy powinien charakteryzować się wysoką przewodnością, co utożsamiane jest z szybkością ładowania i rozładowania superkondensatora, a także wysoką wytrzymałością fizyczną, co pozwala osiągać dużą stabilność właściwości superkondensatora, przy wielokrotnym ładowaniu i rozładowaniu. Stąd zainteresowanie nanorurkami węglowymi, które w połączeniu z polimerem poprawiają zarówno właściwości elektryczne, jak i fizyczne kompozytu. Doniesienia literaturowe [2, 17, 19] dobitnie pokazują, że dodatek nanorurek węglowych do przewodzącego polimeru znacząco zwiększa przewodność kompozytu oraz jego stabilność, zmniejszając jedną z poważnych wad polimeru przewodzącego.

Nanorurki węglowe, od czasu odkrycia przez S. Iijimę i współpracowników [9], dzięki niezwykłym właściwościom mechanicznym, elektrycznym i chemicznym odgrywają znaczącą rolę w dzisiejszej technologii produkcji elementów elektronicznych, w tym superkondensatorów. Stosuje się w np. emiterach polowych [5], nanometrycznych urządzeniach elektronicznych [18], jako składniki kompozytów [20] i w wielu innych dziedzinach.

Nanorurki węglowe są używane jako matryca wielu kompozytów: z polipirolem (PPy), poli(3,4-etyleno-1,4-dioksytyofenem) (PEDOT)[21], poli(3-oktylotiofenem), polifenylenowinylenem (PPV) [1, 11], poliakrylonitrylem (PAN) a także polaniliną (PANI) [8, 22, 24].

Poniższa praca przedstawia nanokompozyt typu 'core-shell' polianiliny z wielościennymi nanorurkami węglowymi wytworzony metodą 'in situ' polimerizacji utleniającej oraz jego zastosowanie jako materiał elektrodowy dla superkondensatora. W kompozycie półprzewodnikowa nanostruktura zostaje zamknięta w płaszczu przewodnika. Takie połączenie przestrzenne napełniacza i matrycy polimerowej daje znacznie szersze możliwości przewidzenia ich wzajemnego oddziaływania i sterowania właściwościami końcowego kompozytu [3]. Mniejszy wpływ na jakość produktu ma też stopień zdyspergowania nanorurek, w porównaniu z napełniaczami sferycznymi i płytkowymi. Ponieważ dyspersja zależy głównie od ukierunkowania cząstek napełniacza, w drugiej dopiero kolejności od stopnia ich rozdzielenia. W przypadku układu grafenowego w budowie nanorurek następuje ukierunkowanie większości właściwości wzdłuż struktury, które można wykorzystać jako zamierzone w kompozycie. Stosowane w doświadczeniu nanorurki wielościenne wybrano ze względu na wyższą odporność chemiczną i cieplną niż w przypadku jednościennych [3, 14].

Polianilina (PANI) jest bardzo stabilnym polimerem przewodzącym, o dobrych właściwościach tłumiących i antystatycznych, odpornym na większość rozpuszczalników organicznych. Wadą jest natomiast ich niska wytrzymałość mechaniczna oraz to, że jest trudna w przetwórstwie – przy zastosowaniu dużych sił ścinających lub wysokiej temperatury może tracić właściwości przewodzące. Przewodność polianiliny zależy od stopnia jej utlenienia. Uzyskać to można poprzez odpowiednią metodę i warunki syntezy (polimeryzacja utleniająca, polimeryzacja elektrochemiczna, synteza soli przewodzącej PANI-HCl) lub modyfikowanie już gotowego polimeru (domieszkowanie kwasami sulfonowymi) [13].

Przewodnictwo w polianilinie zachodzi wzdłuż łańcucha głównego, statystycznie ułożonego prostopadle w stosunku do nanorurek (przy strukturze 'core-shell'), co może dać ciekawe efekty wynikające z przestrzennej orientacji nanorurek. Polianilina w stanie szklistym daje się łatwo rozdrabniać i jako suche blendy łączyć z innymi polimerami dla ułatwienia przetwórstwa lub uszlachetnienia tworzywa [12, 15].

Całkowite pokrycie nanorurki polimerem jest trudne. Polianilina jest dobrym materiałem do takich celów ze względu na swoją stabilność środowiskową i możliwość sterowania przewodnością przez domieszkowanie. W procesie tworzenia nanokompozytu korzystne jest użycie kompatybilizatora zwiększającego wydajność pokrycia powierzchni nanorurki polimerem. Czynnikiem takim mogą być surfaktanty niejonowe lub współpolimeryzujące monomery. Surfaktanty niejonowe dodatkowo podwyższają stopień dyspersji nanorurek wspomagając rozbitcie ich agregatów [3, 13, 15, 23].

2. ZAKRES BADAŃ

W doświadczeniu wykorzystano metodę *'in situ'* polimeryzacji utleniającej aniliny w wodnej dyspersji wielościennych nanorurek węglowych. Wyjściowe ilości wszystkich składników obliczone zostały na otrzymanie kompozytu o stosunku wagowym 0.75PANI: 0.25MWCNT.

MWCNT wprowadzono do wodnego roztworu kopolimeru blokowego tlenku etylenu i tlenku propylenu (PEO-PPO, surfaktant niejonowy) i poddano działaniu ultradźwięków. Otrzymano niesedymetującą dyspersję, którą schłodzono do temperatury ok. 0°C. Następnie wkroplono schłodzoną anilinę (ANI) i w tej temperaturze mieszano mieszadłem mechanicznym. Do zimnego roztworu wprowadzono czynnik polimeryzujący (utleniacz), nadsiarczan amonu (APS) i pozostawiono do przereagowania. Surowy produkt przeniesiono na miękki sączek ilościowy i kilkakrotnie przemyto wodą destylowaną i etanolem w celu usunięcia kompatybilizatora i nadmiaru czynnika polimeryzującego. Tak oczyszczony kompozyt suszono w 60°C przez 8 godzin w próżni oraz w powietrzu przez kolejne 12 godzin. Gotowy kompozyt ma postać czarnego, zwarteo, ale kruchego osadu.

Materiały:

- 1) nanorurki wielościenne, MWCNT 90%, Aldrich,
- 2) kopolimer blokowy PEO-PPO, Pluronic F-68, Sigma,
- 3) anilina, ACS reagent $\geq 99,5\%$, Sigma-Aldrich,
- 4) nadsiarczan amonu, APS reagent grade 98%, Sigma-Aldrich.

Badania elektrochemiczne wykonano w modelowej celce superkondensatora, gdzie elektrody uformowano z opisywanego kompozytu rozdrobnionego do frakcji $< 100 \mu\text{m}$. Elektrolit stanowił 1M roztwór H_2SO_4 , a separator – celuloza.

Pomiary wykonano na urządzeniu ATLAS 0531 Electrochemical Unit & Impedance Analyser. Badania modelu superkondensatora obejmowały:

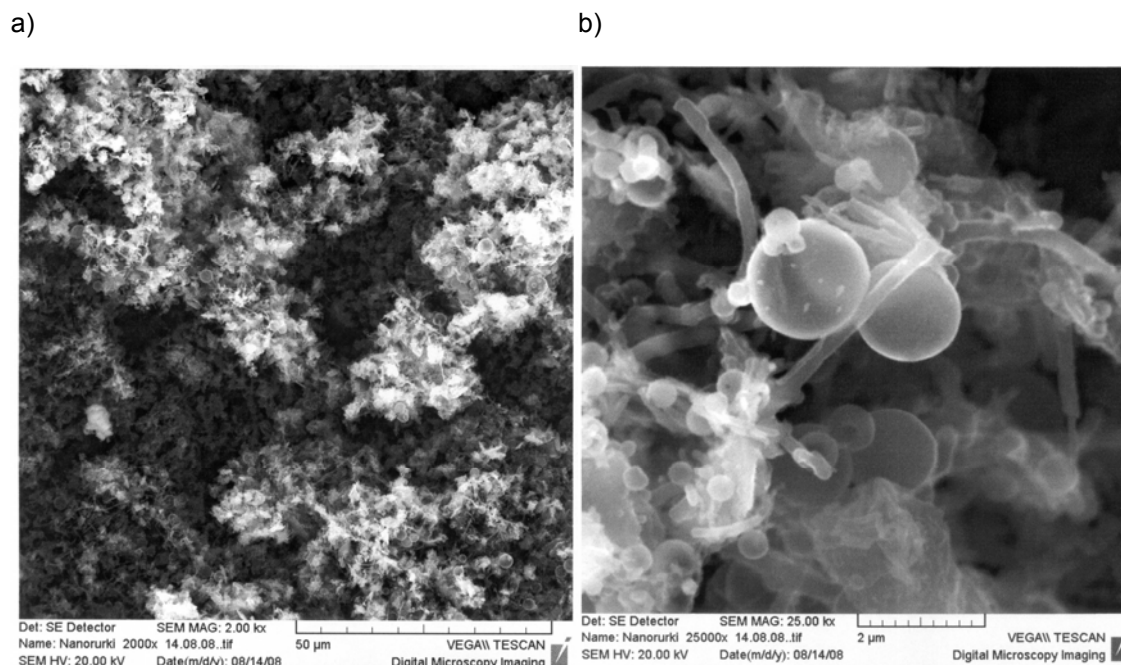
- woltometrię cykliczną,
- galwanostatyczne ładowanie i rozładowywanie,
- samorozładowywanie superkondensatora.

3. WYNIKI POMIARÓW

3.1. Charakterystyka nanokompozytu

Informacji na temat struktury nanokompozytu polianilina/wielościenne nanorurki węglowe dostarczyły zdjęcia ze skaningowego mikroskopu elektro-

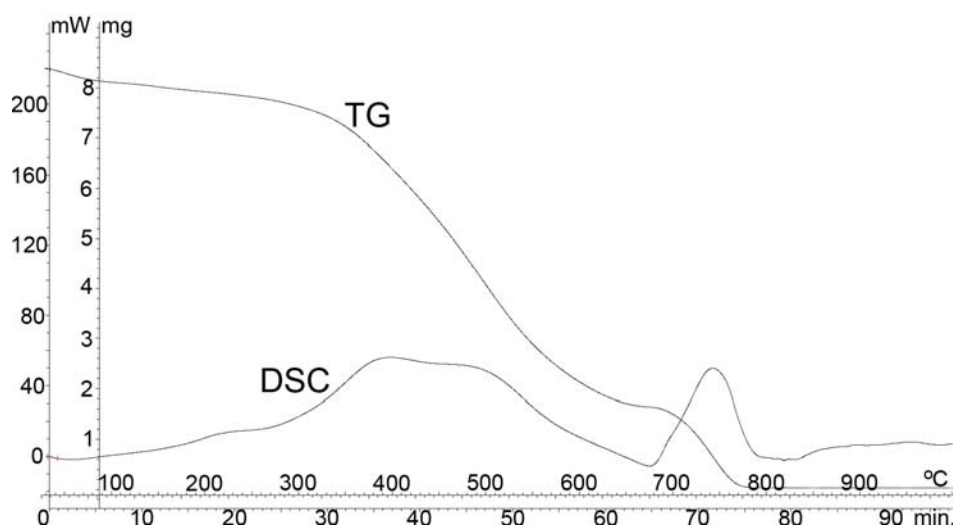
nowego VEGAII firmy TESCAN. Na rysunku 2a widać nieuporządkowaną, porowatą strukturę kompozytu w powiększeniu 2000 razy. Widoczne są pojedyncze nanorurki o maksymalnej długości 6 μm i średnicy większej od 100 nm, pokryte polimerem, czasem w niewielkim stopniu. Drugim widocznym elementem kompozytu są sferyczne twory różnej wielkości, o średnicy w przedziale 0,5 μm – 2 μm . Są to cząstki polianiliny, w różnym stopniu pokrywające nanorurki lub występujące w skupiskach niezależnie od MWCNT. Rysunek 2b pokazuje ten sam kompozyt, w powiększeniu 25000 razy. Wyraźnie widoczne są tu fragmenty nanorurek, niepokryte polimerem. Dowodzi to niedoskonałości struktury typu core-shell powstałej już na etapie syntezy.



Rys. 2. Obraz SEM kompozytu PANI/MWCNT w powiększeniu:
a) 2000, b) 25000 razy

W ustaleniu rzeczywistego stosunku składników nanokompozytu, stopnia jego zanieczyszczenia oraz termoodporności wykorzystano badania termodynamiczne: ubytku masy (TG) i strumienia ciepła (DSC) w funkcji temperatury. Pomiary zostały wykonane przy pomocy termooanalyzera DCS/TGA1 firmy Mettler Toledo. Przepływ powietrza ustalono na 50 ml/min, a narost temperatury 10°C/min. Na krzywej ubytku masy TG (rys. 3) można wyróżnić dwa punkty, po których następuje gwałtowny spadek masy kompozytu. Pierwszy w temperaturze ok. 325°C odpowiada rozkładowi polianiliny oraz drugi, węższy powyżej 700°C obrazujący rozkład nanorurek. Temperatura 325°C to granica stabilności termicznej nanokompozytu (termoodporność). Na podstawie krzywej można

wyznaczyć rzeczywisty skład kompozytu PANI:CNT = 0.7:0.2. Pozostałe 10% masy kompozytu stanowią zatem zanieczyszczenia pochodzące od środowiska procesu tworzenia kompozytu, które odchodzą przy degradacji matrycy. Ubytek masy (TG) i pik egzotermiczny (DSC) w 700°C to ostre efekty na krzywych. Świadczy to o tym, że obecność PANI nie wpływa negatywnie na termoodporność nanorurek i nie wywołuje procesów ubocznych. Potwierdza to przebieg krzywych porównawczych wykonanych dla czystych nanorurek. Wynika z nich, że czystość nanorurek wielościennych wynosi 98% oraz że degradacja zachodzi przez utlenienie węgla do CO i CO₂, kiedy to ubywa prawie 100% masy.



Rys. 3. Krzywe ubytku masy (TG) i strumienia ciepłego (DSC) nanokompozytu PANI/MWCNT w funkcji temperatury

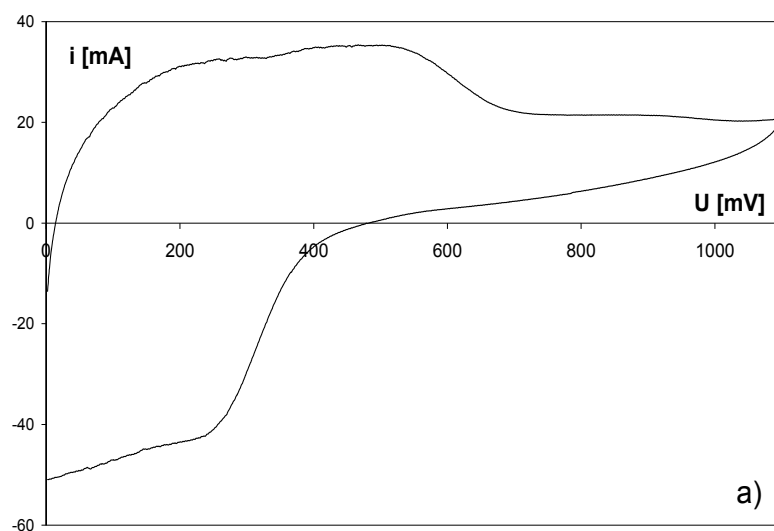
3.2. Właściwości superkondensatorowe

Rezystywność czystej polianiliny, nanorurek wielościennych i nanokompozytu wyznaczono za pomocą elektrometru firmy Keithley 6517 A oraz multimetru HP 34401A w podobnych warunkach, w temperaturze pokojowej. Dla PANI wynosi ona $2.0 \times 10^8 \Omega\text{cm}$, dla nanorurek wielościennych $0.9 \Omega\text{cm}$, a dla nanokompozytu PANI/MWCNT $5.0 \Omega\text{cm}$.

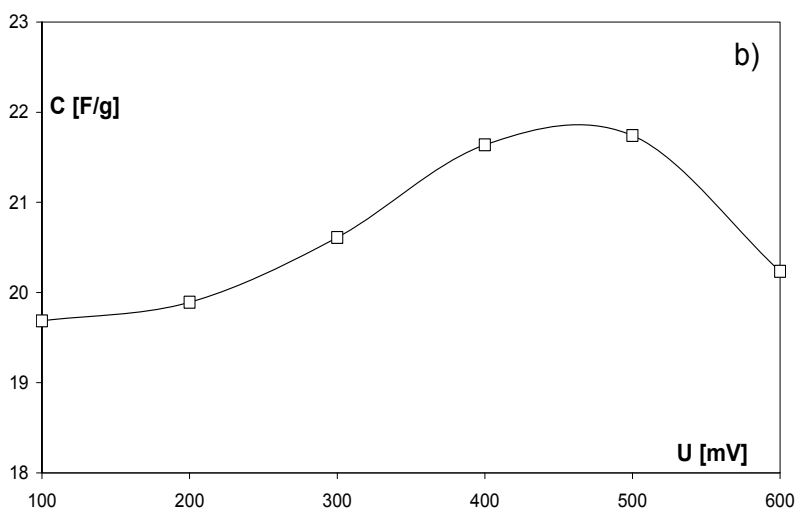
Pomiary woltametryczne (woltamperometryczne) polegają na planowej, kontrolowanej zmianie potencjału elektrody i kontroli natężenia prądu jaki zmiana ta wywołuje. Analiza otrzymanych wyników daje informacje o procesach elektrochemicznych zachodzących w układzie, a w szczególności o procesach elektrodowych, jak również o oporności elektrycznej celki oraz o dynamice i stopniu ładowania podwójnej warstwy elektrycznej.

Nanokompozyt PANI/MWCNT przebadano stosując narost potencjału z szybkością 1 mV/s od zera do +1.1 V, a następnie z powrotem do zera. Z kształtu krzywej woltametrycznej CV (rys. 4a) wynika, że na pojemność superkondensatora składają się zarówno pojemność podwójnej warstwy elektrycznej oraz tzw. pseudopojemność. Świadczy o tym charakterystyczny szeroki pik, który swoje maksimum osiąga przy ok. 500 mV, który obrazuje m.in. wymianę ładunków elektrycznych w reakcjach redukcji i utleniania pomiędzy polianiliną, a elektrolitem.

a)

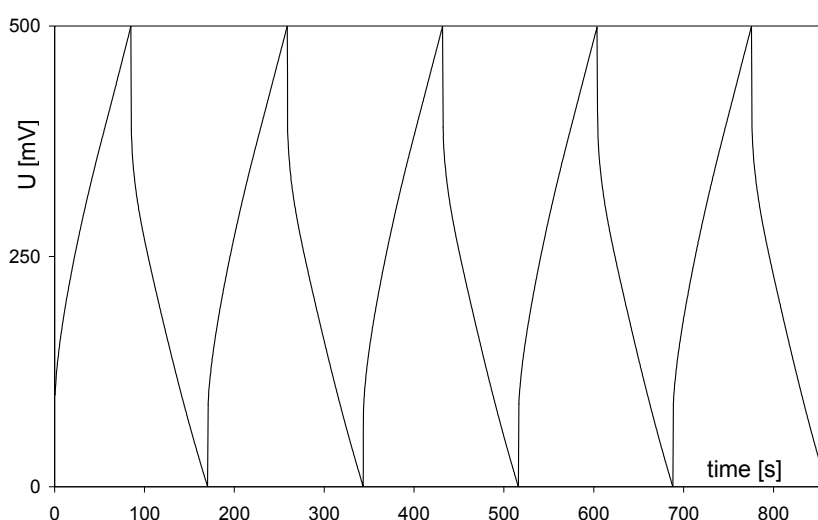


b)



Rys. 4. (a) Krzywa woltametryczna CV dla nanokompozytu, szybkość narostu 1 mV/s, 1M H₂SO₄ jako elektrolit, (b) pojemność celki superkondensatora w funkcji potencjału elektrody

W celu ułatwienia obliczania pojemności superkondensatora oraz wyznaczenia stabilności w kolejnych cyklach, stosuje się galwanostatyczne pomiary ładowania i rozładowywania kondensatora, w których mierzy się czas potrzebny do uzyskania z góry założonej różnicy potencjałów na okładkach superkondensatora, przy stałej, wymuszonej wartości prądu ładowania. Na podstawie pomiarów galwanostatycznych (rys. 5) wyznaczono pojemność superkondensatora. W warunkach pomiaru wynosiła ona 22 F/g w przeliczeniu na masę elektrod.



Rys. 5. Wykres galwanostatycznego ładowania i rozładowywania celki superkondensatora do uzyskania różnicy potencjałów 500 mV, przy stałej wartości prądu ładowania 100 mA

4. WNIOSKI

Na podstawie badań spektroskopowych i termooanalitycznych można stwierdzić, że udało się otrzymać nanokompozyt polianiliny z wielościennymi nanorurkami węglowymi, strukturze typu core-shell, w którym stopień pokrycia nanorurek przez polianilinę, jest mniejszy niż 100%. Może być on poprawiony na etapie syntezy, poprzez silniejszą kompatybilizację składników. Niedoskonałość struktury wpływa niekorzystnie na właściwości superkondensatora, ograniczając udział składowej pojemności będącej wynikiem separacji ładunków elektrycznych na granicy elektroda/elektrolit.

Dodatek nanorurek do kompozytu nie wpłynął niekorzystnie na wytrzymałość termiczną polianiliny, co więcej, polimeryzacja polianiliny przebiega z taką samą wydajnością, jak w przypadku czystego monomeru.

Rezystywność nanokompozytu została znacząco poprawiona i jest tylko o rząd gorsza niż rezystywność czystych nanorurek, co oznacza poprawę o prawie osiem rzędów.

Pojemność superkondensatora w warunkach eksperymentu wynosiła ok. 20 F/g w przeliczeniu na masę elektrod, co należy uznać za wartość obiecującą dla dalszych badań.

LITERATURA

1. Ago H., Petritsch K., Shaffer M.S.P., Windle A.H., Friend R.H.: Composites of carbon nanotubes and conjugated polymers for photovoltaic devices, *Adv. Mater.*, 11, 1281, 1999.
2. Ajayan P.M., Stephan O., Colliex C., Trauth D.: Aligned Carbon Nanotube Arrays Formed by Cutting a Polymer Resin—Nanotube Composite, *Science*, 265, 1212, 1994.
3. Cheng Q., Pavlinek V., He Y.: Facile fabrication and characterization of novel polyaniline/titanate composite nanotubes directed by block copolymer, *European Polymer Journal*, 43, 3760, 2007.
4. Conway B.E.: *Electrochemical Supercapacitors*. Kluwer Academic, New York, 1999.
5. Fan S., Chapline M.G., Franklin N.R., Tomblor T.W.: Self-Oriented Regular Arrays of Carbon Nanotubes and Their Field Emission Properties, *Science* 283, 512, 1999
6. Feng W., Bai X.D., Lian Y.Q., Liang J., Wang X.G., Yoshino K.: Well-aligned polyaniline/carbon-nanotube composite films grown by in-situ aniline polymerization, *Carbon* 41, 1551 2003.
7. Frackowiak E., Béguin F.: Electrochemical storage of energy in carbon nanotubes and nanostructured carbons, *Carbon*, 40, 1775, 2002.
8. Frackowiak E., Khomenko V., Jurewicz K., Lota K., Béguin F.: Supercapacitors based on conducting polymers/nanotubes composites, *J. Power Sources*, 153, 413, 2006.
9. Iijima S.: Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354, 56, 1991
10. Koetz R., Carlen M.: Principles and applications of electrochemical capacitors, *Electrochim. Acta*, 45, 2483, 2000..
11. Kymakis E., Amaratunga G.A.: Single-wall carbon nanotube/conjugated polymer photovoltaic devices, *J. Appl. Phys. Lett.*, 80, 112, 2002.
12. Morgan H., Foot P.J.S., Brooks N.W.: The effects of composition and processing variables on the properties of thermoplastic polyaniline blends and composites, *J. Material Science*, 36, 5369, 2001
13. Nishio K., Fujimoto M., Yoshinaga N.: Electrochemical characteristics of polyaniline synthesized by various methods, *J. Power Sources*, 56, 189, 1995
14. Ramamutyhy P.C., Malshe A.M., Harrel W.R.: Polyaniline / Single-walled Carbon Nanotube Composite Electronic Device, Student paper
15. Ryabenko G., Fokeeva L.S., Dorofeeva T.V.: Spectroscopic study of suspensions of single wall carbon nanotubes in polyaniline solutions in N-methylpyrrolidone in UV—Vis—NIR regions, *Russian Chemical Bulletin, International Edition*, 53, 12, 2695, 2004.

16. Sarangapani S., Tilak B.V., Chen C.P.: Materials for Electrochemical Capacitors, J. Electrochem. Soc., 143, 3791, 1996.
17. Schadler L.S., Giannaris S.C., Ajayan P.M.: Load transfer in carbon nanotube epoxy composites, Appl. Phys. Lett., 73, 3842, 1998.
18. Tans S.J., Verschueren A.R.M., Dekker C.: Room-temperature transistor based on a single carbon nanotube, Nature 393, 49, 1998.
19. Wagner H.D., Lourie O., Feldman Y., Tenne R.: Stress-induced fragmentation of multiwall carbon nanotubes in a polymer matrix, Appl. Phys. Lett., 72, 188, 1998.
20. Wong E.W., Sheehan P.E., Lieber C.M.: Nanobeam Mechanics: Elasticity, Strength, and Toughness of Nanorods and Nanotubes, Science, 277, 1971, 1997.
21. Woo H.S., Czerw R., Webster S., Carroll D.L.: Organic light emitting diodes fabricated with single wall carbon nanotubes dispersed in a hole conducting buffer: the role of carbon nanotubes in a hole conducting polymers, Synth. Met., 116, 369, 2001.
22. Yu Y., Che B., Si Z., Li L., Chen W., Xue G.: Carbon nanotube/polyaniline core-shell nanowires prepared by in situ inverse microemulsion, Synth. Met., 150, 271, 2005.
23. Zhang X., Zhang J., Liu Z.: Conducting polymer/carbon nanotube composite films made by in situ electropolymerization using an ionic surfactant as the supporting electrolyte, Carbon, 43, 2186, 2005.
24. Zhou Y., He B., Zhou W., Huang J., Li X., Wu B., Li H.: Electrochemical capacitance of well-coated single-walled carbon nanotube with polyaniline composites, Electrochim. Acta, 49, 257, 2004.

Rękopis dostarczono, dnia 15.09.09 r.

Opiniował: dr hab. inż. Zygmunt Piątek

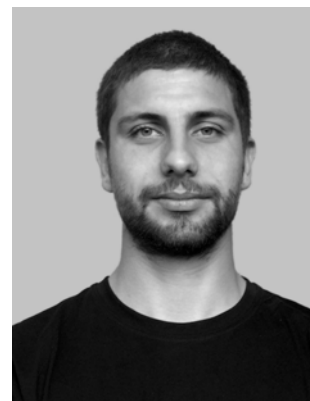
PANI/MWCNT NANOCOMPOSITES USED AS ELECTRODE MATERIAL IN SUPERCAPACITORS

R. KULINSKI, E. ZAWADZKA
B. SZUBZDA

ABSTRACT

Polyaniline/multi-walled carbon nanotube (PANI/MWCNT) composite has been synthesized by 'in situ' oxidizing polymerization of aniline in water dispersion of MWCNTs and has been tested as supercapacitor electrode material. Supercapacitive behavior of shell-core composite has been investigated by cyclic voltammetry and galvanostatic charge-discharge tests. Thermoanalytical tests (TG/DSC) and scanning electron microscope images have been carried out to obtain information about the nanocomposite composition and degree of nanotubes dispersion in polymer matrix. The research is aimed at utilization of the specific structure of the shell-core composite type for designing new materials with promising properties, which could find application as supercapacitor electrode material.

Mgr inż. Radosław KULIŃSKI – absolwent Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej, gdzie pod kierownictwem dr hab. inż. R. Kacprzyka obronił pracę magisterską pt: „Reaktory plazmowe zasilane napięciem przemienicznym”. Obecnie doktorant Wydziału Elektrycznego na Politechnice Wrocławskiej oraz pracownik Instytutu Elektrotechniki Oddziału Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego we Wrocławiu, gdzie zajmuje się materiałami znajdującymi zastosowanie jako elektrody superkondensatorów.



Mgr inż. Ewa ZAWADZKA – absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Wrocławskiej na kierunku Technologia Chemiczna ze specjalnością Chemia i Technologia Polimerów. Od 2007 pracownik Instytutu Elektrotechniki (Oddział Technologii i Materiałoznawstwa Elektrotechnicznego) we Wrocławiu. Główna tematyka prac: nanokompozyty przewodzące wypełnione CNT oraz dielektryczne wypełnione krzemionką i wypełniaczami warstwowymi.

Dr inż. Bronisław SZUBZDA – kierownik Pracowni Materiałów Magnetycznych i Stykowych w Instytucie Elektrotechniki Oddział we Wrocławiu. Zajmuje się inżynierią materiałową, technikami proszkowymi, elektrochemią. Aktualnie prowadzi prace z zakresu materiałów do elektrochemicznych magazynów energii i ich zastosowań. Jest autorem ok. 60 prac z zakresu materiałów elektrotechnicznych. Brał udział w organizacji wielu naukowych konferencji krajowych i zagranicznych. Jest Sekretarzem Zarządu Polskiego Komitetu Materiałów Elektrotechnicznych SEP.

