

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **236801**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **413472**

(51) Int. Cl.  
**H01G 9/035 (2006.01)**  
**H01G 9/022 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **06.08.2015**

(54)

**Kondensator elektrochemiczny**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**13.02.2017 BUP 04/17**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**22.02.2021 WUP 04/21**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**KRZYSZTOF FIC, Poznań, PL**

**ELŻBIETA FRĄCKOWIAK, Poznań, PL**

**MIKOŁAJ MELLER, Żnin, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Marcin Walkowiak**

**PL 236801 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest kondensator elektrochemiczny, składający się z dwóch porowatych elektrod węglowych o rozwiniętej powierzchni, pracujących w roztworze wodnym nadsiarczanu metalu alkalicznego mający zastosowanie w układach do magazynowania i konwersji energii.

Działanie kondensatora elektrochemicznego polega na szybkim, elektrostatycznym procesie akumulacji ładunku w podwójnej warstwie elektrycznej. Znajduje on zastosowanie wtedy gdy wymagana jest duża ilość energii w krótkim czasie, np. w samolotach (Airbus A380), pojazdach hybrydowych (HEV), tramwajach czy podnośnikach, gdzie dostarcza on piku mocy podczas rozruchu/startu a odzyskuje go w trakcie hamowania czy wytracania energii. Kondensatory są odporne na traktowanie dużymi reżimami prądowymi, stąd, sprawdzają się jako urządzenia ochronne dla odwracalnych ogniw elektrochemicznych, np. w komputerach przenośnych czy aparatach fotograficznych, gdzie ich główną rolą jest regulacja napięcia w przypadku skokowych zmian podczas poboru energii [A. Burke „Ultracapacitor technologies and application in hybrid and electric vehicles” *International Journal of Energy Research* 34 (2010) 133–151]. Ich zaletą jest również możliwość szybkiego, ponownego naładowania oraz bardzo dobra trwałość w trakcie pracy cyklicznej, sięgającej setek tysięcy cykli ładowania/wyładowania [J.R. Miller, A. Burke „Electrochemical capacitors: Challenges and opportunities for real-world applications” *Electrochemical Society Interface* 17 (2008) 53–57].

Ponieważ wartości energii właściwych pozyskiwanych z superkondensatorów są wciąż relatywnie niskie (rzędu  $20 \text{ Wh kg}^{-1}$ ) w porównaniu z ogniwami elektrochemicznymi (rzędu  $150 \text{ Wh kg}^{-1}$ ), obecnie poszukuje się rozwiązań pozwalających na uzyskanie wyższych wartości energii [A. Burke „R&D considerations for the performance and application of electrochemical capacitors” *Electrochimica Acta* 53 (2007) 1083–1091]. Uwzględniając, że energia  $E$  superkondensatora wyraża się wzorem:

$$E = 0,5CU^2 \quad (1)$$

gdzie  $C$  oznacza pojemność kondensatora elektrochemicznego (superkondensatora), a  $U$  jego napięcie pracy, wzrost energii można uzyskać dzięki zwiększeniu pojemności lub napięcia pracy.

Węgłe aktywne, będące najczęściej stosowanym materiałem elektrodowym dla superkondensatorów [Elżbieta Frąckowiak „Carbon materials for supercapacitor application” *Physical Chemistry Chemical Physics* 9 (2007) 1774–1785] wykazują pojemność rzędu 100–130 F/g. Związane to jest z ilością ładunku możliwego do zakumulowania w podwójnej warstwie elektrycznej, tworzącej się na granicy faz elektroda/elektrolit. Oprócz typowego ładowania elektrostatycznego, możliwe jest również wykorzystanie ładunku pochodzącego z reakcji elektrochemicznej przebiegającej ze zmianą stopnia utlenienia reagentów czyli reakcji redoks. Procesy faradajowskie wielokrotnie zwiększają pojemność kondensatora, nazywaną w tym wypadku pseudopojemnością. W tym celu stosuje się materiały elektrodowe, zawierające tlenki metali przejściowych tj.  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_5$  bądź  $\text{RuO}_2$ , zarówno w postaci czystej, zestawione w układ asymetryczny z elektrodą węglową, np. w pracy [A. Malak, K. Fic, G. Lota, C. Vix-Guterl, E. Frąckowiak „Hybrid materials for supercapacitor application” *Journal of Solid State Electrochemistry* 14 (2010) 811–816], jak i w formie kompozytu węgiel aktywny-tlenek metalu przejściowego, zestawione w układ symetryczny, opisane w pracy [A. Malak-Polaczyk, C. Vix-Guterl, E. Frąckowiak „Carbon/layered double hydroxide (LDH) composites for supercapacitor application” *Energy and Fuels* 24 (2010) 3346–3351]. Inną metodą jest zastosowanie materiałów węglowych wzbogaconych w heteroatomy, np. tlen czy azot; pseudopojemność w tym przypadku uzyskuje się dzięki procesom redoks grup funkcyjnych oraz lokalnym zmianom struktury elektronowej w matrycy węglowej wzbogaconej w heteroatom [E.J. Ra, E. Raymundo-Pinero, Y.H. Lee, F. Béguin „High power supercapacitors using polyacrylonitrile-based carbon nanofiber paper” *Carbon* 47 (2009) 2984–2992]. W pracy [G. Lota, E. Frąckowiak „Striking capacitance of carbon/iodide interface” *Electrochemistry Communications* 11 (2009) 87–90] zaproponowano innowacyjne wykorzystanie pseudopojemności pochodzącej z roztworu (1 mol/L wodny roztwór jodku potasu KI), co stanowi również przedmiot zgłoszenia patentowego P.386352 G. Lota, E. Frąckowiak, J.R. Miller „Elektroda węglowa superkondensatora w roztworach jodku”. Tematyka pseudopojemności pochodzącej z roztworu jest również przedmiotem zgłoszenia P.392370 K. Fic, G. Lota, E. Frąckowiak „Kondensator elektrochemiczny”, w którym opisano korzystny efekt sprzężenia dwóch par redoks w elektrolicie superkondensatora.

Zgodnie z równaniem (1) na wartość energii superkondensatora największy wpływ ma napięcie jego pracy. Zastosowanie jako elektrolitu cieczy jonowych pozwala na osiągnięcie wartości nawet 4,0 V, jak to opisano w pracach [C. Arbizzani, M. Bisio, D. Cericola, M. Lazzari, F. Soavi, M. Mastragostino

„Safe, high-energy supercapacitors based on solvent-free ionic liquid electrolytes” *Journal of Power Sources* 185 (2008) 1575–1579] czy [A. Balducci, R. Dugas, P.L. Taberna, P. Simon, D. Plée, M. Mastragostino, S. Passerini „High temperature carbon-carbon supercapacitor using ionic liquid as electrolyte” *Journal of Power Sources* 165 (2007) 922–927]. Jednak elektrolity te charakteryzują się niskim przewodnictwem i dużą lepkością [M. Galiński, A. Lewandowski, I. Stępniaak „Ionic liquids as electrolytes” *Electrochimica Acta* 51 (2006) 5567–5580] przez co pojemności uzyskiwane dla elektrod pracujących w tym środowisku nie przekraczają 100 F/g. Wyższe wartości pojemności uzyskać można stosując protyczne cieczy jonowe [R. Mysyk, E. Raymundo-Pinero, M. Anouti, D. Lemordant, F. Béguin „Pseudocapacitance of nanoporous carbons in pyrrolidinium-based protic ionic liquids” *Electrochemistry Communications* 12 (2010) 414–417], które charakteryzują się większym przewodnictwem, a dodatkowo dzięki odwracalnej reakcji redoks typu chinon/hydrochinon z powierzchnią elektrody węglowej [M.A. Montes-Moran, D. Suarez, J.A. Menendez, E. Fuente „On the nature of basic sites on carbon surfaces: An overview” *Carbon* 42 (2004) 1219–1224] wykazują rzadko spotykaną w środowisku niewodnym pseudopojemność. Zastosowanie aprotycznych cieczy jonowych jako elektrolitów stanowi także przedmiot zgłoszenia patentowego US20090263723 K. Zaghig (Longueuil, CA); P. Charest (Ste-Julie, CA); A. Guerfi (Brossard, CA); M. Dontigny (Sainte Julie, CA); M. Peticlerc (Notre-Dame-du-Mont-Carmel, CA) „Aprotic polymer/molten salt ternary mixture solvent, method for the production and use thereof in electrochemical systems”. Możliwe jest również zastosowanie innych elektrolitów niewodnych np. acetonitrylu [P.W. Ruch, D. Cericola, A. Foelske, R. Kötz, A. Wokaun „A comparison of the aging of electrochemical double layer capacitors with acetonitrile and propylene carbonate-based electrolytes at elevated voltages” *Electrochimica Acta* 55 (2010) 2352–2357], jednak otrzymywane wartości pojemności nie są satysfakcjonujące, a uzyskiwana energia jest wciąż dużym kompromisem. Dodatkowo, cena superkondensatorów pracujących w elektrolicie niewodnym jest nieporównywalnie wyższa, zarówno ze względu na skomplikowany proces ich produkcji jak i wysoką cenę samego elektrolitu; są one również niebezpieczne dla środowiska naturalnego.

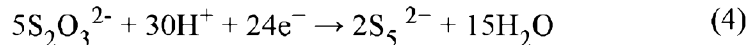
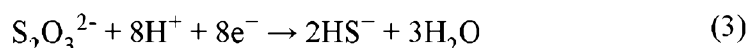
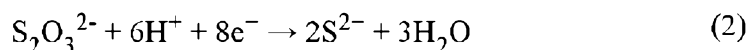
Bardziej ekologiczną i tańszą alternatywą dla elektrolitu organicznego jest elektrolit wodny. Jednak napięcie pracy superkondensatorów w środowisku wodnym ograniczone jest napięciem rozkładowym wody, które wynosi teoretycznie 1,23 V. Większość symetrycznych kondensatorów pracuje w tym środowisku w zakresie poniżej 1,0 V. Najczęściej stosowanymi elektrolitami wodnymi są 1 mol L<sup>-1</sup> roztwór H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, np. [G. Lota, J. Tyczkowski, R. Kapica, K. Lota, E. Frąckowiak „Carbon materials modified by plasma treatment as electrodes for supercapacitors” *Journal of Power Sources* 195 (2010) 7535–7539] oraz 6 mol L<sup>-1</sup> roztwór KOH [K. Jurewicz, R. Pietrzak, P. Nowicki, H. Wachowska „Capacitance behaviour of brown coal based active carbon modified through chemical reaction with urea” *Electrochimica Acta* 53 (2008) 5469–5475]. Charakteryzują się one wysokim przewodnictwem, pozwalają na bardzo dobrą propagację ładunku a tym samym uzyskanie wysokich wartości mocy, jednak silnie przesunięta równowaga kwasowo-zasadowa tych elektrolitów powoduje ich rozkład w pobliżu wartości teoretycznej. Energia właściwa takich układów jest zatem niska.

Asymetryczna konstrukcja superkondensatora, w której jedna z elektrod charakteryzuje się wysokim nadnapięciem wydzielania tlenu lub wodoru, pozwala na osiągnięcie napięcia 1.8 V w środowisku wodnym. Przykład takiego układu zaprezentowano w pracy [V. Khomenko, E. Raymundo-Pinero, E. Frąckowiak, F. Béguin „High-voltage asymmetric supercapacitors operating in aqueous electrolyte” *Applied Physics A: Materials Science and Processing* 82 (2006) 567–573], w której oprócz pseudopojemności owego charakteru elektrody dodatniej zbudowanej z a-MnO<sub>2</sub> oraz elektrody ujemnej z PEDOT (poli(3,4-etylenodioksytyofenem)) wykazano również stabilną pracę cykliczną przy napięciu pracy 1,8 V. Układy asymetryczne, w których jedna z elektrod ma charakter pseudopojemnościowy, charakteryzują się jednak niskimi mocami właściwymi, ponieważ wymagają ładowania/wyładowania łagodnymi (poniżej 1 A g<sup>-1</sup>) reżimami prądowymi.

Elektrolity o charakterze obojętnym, tzn. takie których pH zawiera się w granicach 6-8 nie wykazują przesuniętej równowagi kwas-zasada, stąd żaden z procesów rozkładu elektrolitu nie jest termodynamicznie faworyzowany. Przykładem takich elektrolitów mogą być siarczany (VI) metali alkalicznych, takich jak lit, sód i potas. W środowisku wodnym są one całkowicie zdysocjowane, zatem charakteryzuje je dobre przewodnictwo. Dodatkowo, zarówno jony litowców (Li, Na, K) jak i anion siarczanowy (VI) są silnie solwatowane cząsteczkami wody. W przypadku litowców, najsilniej solwatowanym jonem jest kation Li<sup>+</sup>, w którego otoczce solwatacyjnej znajduje się do 27 silnie związanych cząsteczek wody [S.H. Lee, J.C. Rasaiah „Molecular Dynamics Simulation of Ion Mobility. 2. Alkali metal and halide ions using

the SPC/E model for water at 25°C" *Journal of Physical Chemistry* 100 (1996) 1420–1425]. Anion siarczanowy (VI)  $\text{SO}_4^{2-}$  solwatuje do 12 cząsteczek wody, energia solwatacji/desolwatacji tych jonów jest bardzo duża i wynosi  $200 \text{ kJ mol}^{-1}$  [W. R. Cannon, B. M. Pettitt, J. A. McCammon „Sulfate Anion in Water: Model Structural, Thermodynamic, and Dynamic Properties" *Journal of Physical Chemistry* 98 (1994) 6225–6230. W pracy [Q.T. Qu, B. Wang, L.C. Yang, Y. Shi, S. Tian, Y.P. Wu „Study on electrochemical performance of activated carbon in aqueous  $\text{Li}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{K}_2\text{SO}_4$  electrolytes" *Electrochemistry Communications* 10 (2008) 1652–1655] postulowano negatywny wpływ efektu solwatacji na zachowanie elektrod węglowych, jednak autorzy ci swoje wnioski oparli w odniesieniu do badań układów składających się z wyłącznie jednej elektrody węglowej; elektrodę przeciwną w ich wypadku stanowił pręt platynowy, nie był to zatem kondensator elektrochemiczny. Zastosowanie w/w elektrolitów w celu zwiększenia napięcia pracy kondensatora elektrochemicznego jest przedmiotem wynalazku P.392742 z dn. 25.10.2012 Elżbieta Frąckowiak, Krzysztof Fic, Grzegorz Lota „Wysokonapięciowy kondensator elektrochemiczny" oraz zostało szczegółowo opisane w pracy: Krzysztof Fic, Grzegorz Lota, Elżbieta Frąckowiak „Novel insight into neutral medium as electrolyte for high-voltage supercapacitors" *Energy&Environmental Science* 5 (2012) 5842–5850.

Anion siarczanowy (VI) nie wykazywał jednak żadnych istotnych właściwości redoks, co pozwoliłoby na zwiększenie pojemności kondensatora. W związku z tym w rozwiązaniu wg wynalazku zastosowano roztwory nadsiarczanów ( $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ), które wykazały szerokie spektrum aktywności redoks, jak również możliwość zwiększenia napięcia pracy kondensatora.



Eksperymentalnie wykazano, że wpływ kationu metalu (litu, sodu i potasu) jest znikomy pod kątem aktywności redoks.

Istotą wynalazku jest kondensator elektrochemiczny składający się z elektrody dodatniej i ujemnej wykonanych z materiału węglowego o rozwiniętej powierzchni właściwej co najmniej  $200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  oddzielonych od siebie separatorem, usytuowanych w elektrolicie, charakteryzujący się tym, że elektroda dodatnia i ujemna usytuowane są w elektrolicie, którym jest roztwór nadsiarczanu metalu alkalicznego o stężeniu  $0.01 \text{ mol L}^{-1}$  –  $2 \text{ mol L}^{-1}$ , korzystnie  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .

Korzystnym jest kiedy elektrolitem jest roztwór nadsiarczanu litu albo nadsiarczanu sodu albo nadsiarczanu potasu.

Dzięki zastosowaniu kondensatora według wynalazku uzyskano następujące efekty techniczno-użytkowe:

- napięcie pracy 1.7 V;
- wysoka żywotność i zachowanie pojemności w trakcie pracy cyklicznej (9% spadek pojemności po 5000 cyklach ładowania/wyładowania prądem o gęstości  $1 \text{ Ag}^{-1}$ ;
- bardzo dobra odwracalność procesu ładowania/wyładowania, sięgająca nawet 99%;
- bardzo dobra propagacja ładunku, w zakresie częstotliwości od 1 mHz do 0.1 Hz i przy amplitudzie napięcia  $\pm 5 \text{ mV}$ ;
- niskie prądy upływu (ok.  $40 \text{ mA g}^{-1}$ );
- powolny proces samowyładowania;
- elektrolit jest roztworem wodnym i nietoksycznym,;
- układ jest symetryczny, zatem tani i trwały;
- w przeciwieństwie do elektrolitów organicznych, roztwór wodny nie wymaga atmosfery ochronnej/inertnej podczas montażu urządzenia, co znacznie ułatwia proces produkcji;
- pH elektrolitu pozwala na szeroki dobór kolektorów prądowych, co znacznie obniża koszt produkcji.

Wynalazek został uwidoczniony na rysunku. Fig. 1 przedstawia schemat ideowy kondensatora.

W niniejszym wynalazku wykorzystano pozytywny efekt aktywności redoks anionów nadsiarczanych na pracę symetrycznego kondensatora elektrochemicznego. Znaczna energia solwatacji tych jonów, w połączeniu z solwatacją kationu zapobiega rozkładowi elektrolitycznemu wody, stąd możliwe jest uzyskanie napięcia pracy kondensatora do 1.7 V.

Kondensator elektrochemiczny składa się z elektrody dodatniej (1) i ujemnej (2), które wykonane są z materiału węglowego o rozwiniętej powierzchni właściwej co najmniej 200 m<sup>2</sup>/g. Elektrody usytuowane są w elektrolicie (3), którym jest roztwór nadsiarczany metalu alkalicznego (litu, sodu, potasu) o stężeniu 0.01 mol L<sup>-1</sup> – 2 mol L<sup>-1</sup>, korzystnie 1 mol L<sup>-1</sup>. Elektrody oddzielone są separatorem (4).

Wartości pojemności tak skonstruowanego kondensatora kształtują się w zakresie 85–380 F g<sup>-1</sup> (pojemność wyrażona w odniesieniu do masy elektrody), w zależności od wartości gęstości prądu wyładowania w zakresie 50 A g<sup>-1</sup> do 0.2 A g<sup>-1</sup>. Dla porównania, pojemność wyznaczona została w oparciu o inne niż stałoprądowa metody elektrochemiczne - woltamperometrię cykliczną (w zakresie prędkości skanowania od 1 mV s<sup>-1</sup> do 100 mV s<sup>-1</sup>) oraz elektrochemiczną spektroskopię impedancyjną (w zakresie częstotliwości od 100 kHz do 1 mHz). Jednakowe wyniki uzyskano dla wszystkich technik pomiarowych. Woltamperometria cykliczna wykazała dobrą propagację ładunku do wartości prędkości skanowania 50 mV s<sup>-1</sup>. Obserwowany spadek pojemności wraz ze wzrostem prędkości skanowania jednoznacznie dowodzi, że jony obecne w roztworze są solwatowane, przez co nieznacznie zmniejsza się ich ruchliwość w polu elektrycznym, przez co brak jest szybkiej odpowiedzi pojemnościowej przy większych prędkościach przesuwu potencjału; dla prędkości 1 mV s<sup>-1</sup> pojemność wynosi 394 F g<sup>-1</sup>, zaś dla 100 mV s<sup>-1</sup>, która wyklucza praktycznie możliwość pełnego ładowania/wyładowania podwójnej warstwy elektrycznej z udziałem dyfuzji, wynosi ona zaledwie 85 F g<sup>-1</sup>. Podobna tendencja obserwowana była w przypadku galwanostaticznego ładowania i wyładowania kondensatora – wzrost gęstości prądu wyładowania powodował spadek pojemności; z 362 F g<sup>-1</sup> dla łagodnego reżimu 500 mA g<sup>-1</sup> do 85 F g<sup>-1</sup> dla obciążenia prądem o gęstości 50 A g<sup>-1</sup>. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna potwierdza tendencję uzyskaną dla dwóch poprzednich technik – dla częstotliwości prądu 1 mHz uzyskano pojemność 402 F g<sup>-1</sup>, natomiast dla częstotliwości 1 Hz pojemność wynosiła 76 F g<sup>-1</sup>. Maksymalne napięcie pracy takiego kondensatora wynosiło 1.7 V, przy zachowaniu pojemności 176 F g<sup>-1</sup> podczas 5000 cykli ładowania/wyładowania.

Wysokie wartości pojemności, uzyskane bez udziału pseudopojemności, w układzie symetrycznym, przy napięciu pracy 1.7 V pozwoliły na osiągnięcie energii właściwej równej 17 Wh kg<sup>-1</sup>.

Wynalazek ilustrują poniższe przykłady:

#### Przykład I

Elektrody kondensatora elektrochemicznego wykonano z węgla aktywnego, którego powierzchnia rzeczywista wynosiła 1865 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, natomiast średni rozmiar porów wynosi 0.7 nm. Zawartość pierwiastkowego węgla w próbce wynosiła 95.2 wt%. Tabletki o średnicy 10 mm i grubości ok. 0.7 mm uzyskano przez sprasowanie w prasie hydraulicznej mieszaniny: 85% wag. materiału węglowego, 10% wag. środka wiążącego (PTFE) oraz 5% wag. sadzy. Następnie przeniesiono je do naczynia elektrochemicznego, zawierającego roztwór 1 mol L<sup>-1</sup> Li<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> jako elektrolit i oddzielono separatorem.

Tak skonstruowany kondensator poddano testom elektrochemicznym: woltamperometrii cyklicznej (1–100 mV s<sup>-1</sup>), galwanostaticznemu ładowaniu/wyładowaniu (200 mA g<sup>-1</sup> – 50 A g<sup>-1</sup>) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (1 mHz–100 kHz).

#### Przykład II

Elektrody kondensatora elektrochemicznego wykonano z węgla aktywnego, którego powierzchnia rzeczywista wynosiła 1865 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, natomiast średni rozmiar porów wynosi 0.7 nm. Zawartość pierwiastkowego węgla w próbce wynosiła 95.2 wt%. Tabletki o średnicy 10 mm i grubości ok. 0.7 mm uzyskano przez sprasowanie w prasie hydraulicznej mieszaniny: 85% wag. materiału węglowego, 10% wag. środka wiążącego (PTFE) oraz 5% wag. sadzy. Następnie przeniesiono je do naczynia elektrochemicznego, zawierającego roztwór 1 mol L<sup>-1</sup> Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub> jako elektrolit i oddzielono separatorem.

Tak skonstruowany kondensator poddano testom elektrochemicznym: woltamperometrii cyklicznej (1–100 mV s<sup>-1</sup>), galwanostaticznemu ładowaniu/wyładowaniu (200 mA g<sup>-1</sup> – 50 A g<sup>-1</sup>) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (1 mHz–100 kHz).

#### Przykład III

Elektrody kondensatora elektrochemicznego wykonano z węgla aktywnego, którego powierzchnia rzeczywista wynosiła 1865 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, natomiast średni rozmiar porów wynosi 0.7 nm. Zawartość pierwiastkowego węgla w próbce wynosiła 95.2 wt%. Tabletki o średnicy 10 mm i grubości ok. 0.7 mm uzyskano przez sprasowanie w prasie hydraulicznej mieszaniny: 85% wag. materiału węglowego,

10% wag. środka wiążącego (PTFE) oraz 5% wag. sadzy. Następnie przeniesiono je do naczynia elektrochemicznego, zawierającego roztwór  $1 \text{ mol L}^{-1} \text{ K}_2\text{S}_2\text{O}_3$  jako elektrolit i oddzielono separatorem.

Tak skonstruowany kondensator poddano testom elektrochemicznym: woltamperometrii cyklicznej ( $1\text{-}100 \text{ mV s}^{-1}$ ), galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu ( $200 \text{ mA g}^{-1} - 50 \text{ A g}^{-1}$ ) oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ( $1 \text{ mHz-}100 \text{ kHz}$ ).

### Zastrzeżenia patentowe

1. Kondensator elektrochemiczny składający się z elektrody dodatniej i ujemnej wykonanych z materiału węglowego o rozwiniętej powierzchni właściwej co najmniej  $200 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  oddzielonych od siebie separatorem, usytuowanych w elektrolicie, **znamienny tym**, że elektrolitem (4) jest roztwór nadsiarczanu metalu alkalicznego o stężeniu  $0.01 \text{ mol L}^{-1} - 2 \text{ mol L}^{-1}$ , korzystnie  $1 \text{ mol L}^{-1}$ .
2. Kondensator według zastrz. 1 **znamienny tym**, że elektrolitem (3) jest roztwór nadsiarczanu litu.
3. Kondensator według zastrz. 1 **znamienny tym**, że elektrolitem (3) jest roztwór nadsiarczanu sodu.
4. Kondensator według zastrz. 1 **znamienny tym**, że elektrolitem (3) jest roztwór nadsiarczanu potasu.

Rysunek

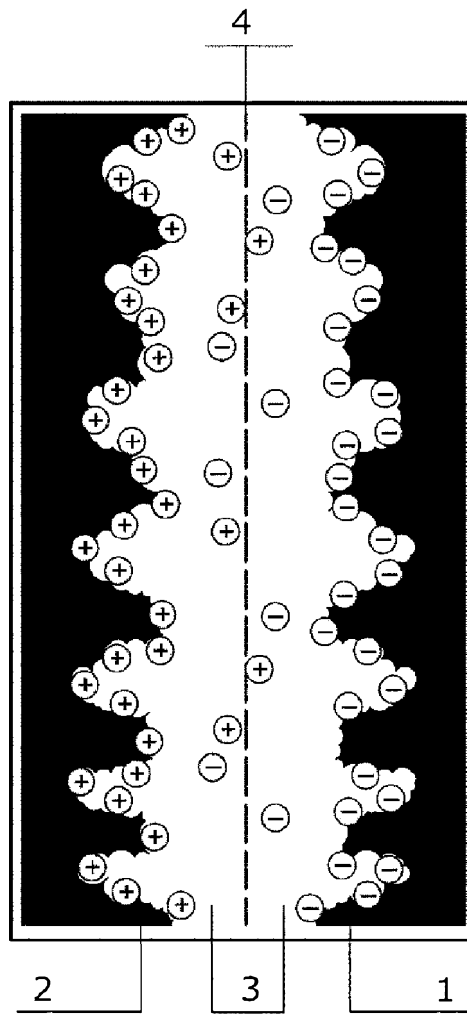


Fig.1