

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 244345 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437689**

(22) Data zgłoszenia: **2021.04.26**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.10.31 BUP 44/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.01.15 WUP 03/2024**

(51) MKP:

H01G 11/62 (2013.01)

H01G 9/022 (2006.01)

H01G 9/035 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA POZNAŃSKA, Poznań, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

ADAM MAĆKOWIAK, Środa Wielkopolska, PL

PAWEŁ JEŻOWSKI, Poznań, PL

KRZYSZTOF FIC, Poznań, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Marcin Walkowiak, Dobra, PL

(54) Tytuł:

Hybrydowy kondensator elektrochemiczny

PL 244345 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest hybrydowy kondensator elektrochemiczny z zastosowaniem jako urządzenie do konwersji i magazynowania energii.

Kondensatory podwójnej warstwy elektrycznej (*ang. Electric Double-Layer Capacitors, EDLCs*), zwane także superkondensatorami (*ang. Supercapacitors, SCs*), zbudowane są z dwóch elektrod wykonanych najczęściej z węgla aktywnego (*ang. activated carbon, AC*) oddzielonych od siebie separatorem oraz zanurzonych w roztworze elektrolitu, co przykładowo przedstawiono w zgłoszeniu patentowym P.434065. EDLCs to bardzo atrakcyjne rozwiązania na rynku urządzeń magazynowania/konwersji energii ze względu na uzyskiwaną wysoką gęstość mocy, długi cykl życia i relatywnie krótki czas ładowania. Niemniej jednak, ich istotną wadą jest relatywnie niska wartość gęstości energii co ogranicza ich wykorzystanie jedynie do niszowych dziedzin przemysłu [K. Naoi, W. Naoi, S. Aoyagi, J. Miyamoto, T. Kamino, *Acc. Chem. Res.*, 2012, 46, 1075–1083]. Energię kondensatora elektrochemicznego można obliczyć wykorzystując zależność:

$$E = \frac{1}{2} C U^2,$$

gdzie: C – pojemność kondensatora elektrochemicznego [F]

U – napięcie pracy [V]

Zgodnie z podaną zależnością poza zwiększeniem pojemności kondensatora szczególnie efektywne wydaje się opracowanie układów pracujących przy wyższym napięciu, ze względu na kwadratową zależność napięcia pracy od energii kondensatora. Dlatego istotne jest, aby uzyskać wyższą stabilność elektrochemiczną elektrolitu, co zostało opisane w opisie patentowym P.392742. Obecnie maksymalne napięcie zwykłego EDLC, gdzie zarówno elektroda dodatnia jak i ujemna wykonane są z węgla aktywnego, jest ograniczone do 2,7 V. W praktyce przyłożenie napięcia powyżej 2,7 V powoduje – wraz z upływem czasu – znaczny spadek pojemności, związany ze wzrastającym oporem, będącym rezultatem uszkodzeń mechanicznych i chemicznych elektrod węglowych.

Niepożądane procesy faradajowskie (reakcje uboczne, na przykład wydzielanie się gazu), także prowadzą do wzrostu oporów w układzie i w konsekwencji spadku mocy i energii układu. W związku z tym istnieje ograniczenie napięcia do 2,7 V, które z pewnością hamuje dalsze zwiększanie gęstości energii [K. Naoi, S. Ishimoto, J. Miyamoto, W. Naoi, *Energy Environ. Sci.*, 2012, 5, 9363].

Obecnie podejmuje się znaczące wysiłki, aby zwiększyć gęstość energii EDLC do wartości docelowej ok. 20–30 Wh·kg⁻¹. Istnieją trzy główne podejścia do osiągnięcia tego celu: pierwszym jest zmiana materiału elektrody na materiał zawierający węgiel wykazujący wyższe wartości pojemności lub wykazujący aktywność redoks; drugie podejście polega na zamianie elektrolitu na bardziej stabilny elektrochemicznie; trzecim i najbardziej obiecującym podejściem, jest opracowanie hybrydowych kondensatorów, łączących mechanizm magazynowania energii EDLCs i mechanizm faradajowskiego magazynowania energii (np. Li-ion). Podjęto wiele badań i obecnie koncepcja konwencjonalnego symetrycznego kondensatora elektrochemicznego została w praktyce rozszerzona na dwie różne kategorie: EDLC oraz hybrydowe systemy litowo-jonowe [D. Cericola, P. Novak, A. Wokaun, R. Kotz, *J. Power Sources*, 2011, 196, 10305–10313].

Kondensatory hybrydowe łączące typ akumulatora litowo-jonowego z układem podwójnej warstwy elektrycznej stanowią ciekawą alternatywę dla EDLC. Wykazują one wyższą gęstość energii, przy zachowaniu dopuszczalnej gęstości mocy i żywotności układu [L. Dong, W. Yang, W. Yang, Y. Li, W. Wu, G. Wang, *J. Mater. Chem. A*, 2019, 7, 13810–13832]. Mechanizm działania kondensatora hybrydowego opiera się na charakterystycznych właściwościach każdego z materiałów elektrod. Węgiel aktywny o rozwiniętej powierzchni właściwej, stanowiący elektrodę dodatnią, umożliwia magazynowanie ładunku o charakterze niefaradajowskim, a jego potencjał zmienia się liniowo podczas ładowania i wyładowania. Z kolei w przypadku grafitu stanowiącego elektrodę ujemną, potencjał jest prawie zawsze stały podczas ładowania i wyładowywania ogniwa i umożliwia magazynowanie ładunku o charakterze faradajowskim, co przedstawiono w opisie patentowym P.413467. Początkowo do kondensatorów hybrydowych w elektrolicie organicznym stosowano związki interkalujące takie jak Li₄Ti₅O₁₂ [B. Scrosati, *Electrochim. Acta*, 2000, 45, 2461–2466] czy LiCoO₂ [A. Yoshino, T. Tsubata, M. Shimoyamada, H. Satake, Y. Okano, S. Mori, S. Yata, *J. Electroch. Soc.*, 2004, 151, A2180–A2182]. Jednak w przypadku najbardziej obiecującego systemu opartego na Li₄Ti₅O₁₂ i węglu aktywnym wymagana jest znacznie większa masa elektrody dodatniej względem elektrody ujemnej, aby zrównoważyć wysoką gęstość

energii ujemnej, a okno napięcia jest ograniczone do zakresu od 1,2 do 3,2 V. W konsekwencji gęstość energii kondensatora hybrydowego jest tylko nieznacznie wyższa niż w przypadku symetrycznych EDLCs [G.G. Amatucci, F. Badaway, A.D. Pasquier, T. Zheng, *J. Electrochem. Soc.*, 2001, 148, A930–A939]. Innym podejściem umożliwiającym zwiększenie napięcia pracy jest połączenie grafitowej ujemnej elektrody interkalacyjnej i dodatniej elektrody podwójnej warstwy elektrycznej z węgla aktywnego, przy użyciu soli litu w elektrolicie organicznym. W tym układzie ujemna elektroda grafitowa jest wstępnie litowana przy użyciu pomocniczej metalicznej elektrody litowej w celu utworzenia stabilnego związku zainterkalowanego [T. Aida, K. Yamada, M. Morita, *Electrochem. Solid-State Lett.*, 2006, 9, A534–A536]. Po procesie interkalacji, ogniwo można ładować i wyładowywać w zakresie napięć od 1,9 do 3,6 V. System zaproponowany przez Aida jako elektrody dodatnie i ujemne wykorzystuje węgiel aktywny i węgiel niegrafityzowalny. Bez wstępnego interkalowania elektrody ujemnej pojemność urządzenia hybrydowego zmniejsza się w ciągu kilkudziesięciu cykli ładowania/wyładowania. Jeśli chodzi o układ Fuji, grafit musi być wstępnie interkalowany litem, aby uzyskać kondensator hybrydowy o zadowalającej żywotności. Jednak doświadczenie zaczerpnięte z technologii akumulatorów litowo-jonowych pokazuje, że użycie metalicznego litu może prowadzić do niekontrolowanego wzrostu temperatury i zapłonu systemów, o czym wspomina opis patentowy US2007/0002524A1.

Następnym krokiem w rozwoju technologii byłoby wyeliminowanie litowej elektrody pomocniczej.

W literaturze znane są koncepcje kondensatorów litowo-jonowych, w których jony litu pochodzą z wysoce stężonego roztworu elektrolitycznego [C. Decaux, G. Lota, E. Raymundo-Piñero, E. Frackowiak, F. Béguin, *Electrochim. Acta*, 2012, 86, 282–286]. Ponieważ elektrolit jest integralną częścią całego systemu, udało się uniknąć stosowania metalicznego litu i wszystkich kwestii bezpieczeństwa związanych z jego użytkowaniem. Ogniwo elektrochemiczne zostało zbudowane z elektrody dodatniej stanowiącej węgiel aktywny i grafitu jako elektrody ujemnej. W przeciwieństwie do powszechnie stosowanego elektrolitu (1-molowy roztwór LiPF_6 w EC:DMC), wykorzystany został 2-molowy roztwór soli litowej bis(trifluorometano) sulfonoimidu (LiTFSI) w mieszaninie rozpuszczalników EC:DMC. Wybór LiTFSI został podyktowany wyróżniającą się rozpuszczalnością tej soli w porównaniu do konwencjonalnych soli litu. Podczas ładowania ogniwa wzrasta potencjał elektrody z węgla aktywnego, a obniża się potencjał elektrody grafitowej – na skutek interkalacji jonów litu pochodzących z roztworu elektrolitu. Ponieważ maksymalny potencjał elektrody dodatniej musi być ograniczony do ok. 4,2 V vs. Li/Li^+ (aby uniknąć utleniania elektrolitu), nie jest możliwe wprowadzenie wszystkich niezbędnych jonów litu jednym impulsem ładowania przy C/10 (gdzie C oznacza teoretyczną pojemność grafitu). Pomimo, że w elektrolicie występuje nadmiar jonów litu, proces pre-interkalacji prowadzi do zauważalnego zmniejszenia stężenia jonów Li^+ w objętości elektrolitu. W konsekwencji zmniejszenie stężenia elektrolitu powoduje spadek przewodnictwa, co niestety prowadzi do zmniejszenia mocy układu. Należałoby więc zadbać, aby pomimo interkalacji elektrody grafitowej jonami litu z roztworu, w elektrolicie pozostała taka ilość soli, która pozwoliłaby na utrzymanie jego wysokiego przewodnictwa. Dodatkowo, mając na uwadze bilans ładunku gromadzonego na elektrodzie ujemnej i dodatniej, należy odpowiednio dobrać stężenie reagenta redoks tak, aby ładunek interkalacji (elektroda ujemna) był równoważony reakcją redoks (elektroda dodatnia).

Istotą wynalazku jest hybrydowy kondensator elektrochemiczny składający się z elektrody dodatniej oraz ujemnej, rozdzielonych separatorem. Całość zanurzona jest w bezwodnym roztworze elektrolitu zawierającym tiocyjanian litu (LiSCN) o wzorze 1.

Korzystnie masa LiSCN w elektrolicie kondensatora powinna wynosić minimalnie 0.75 masy aktywnej elektrody grafitowej i maksymalnie 1.5 masy aktywnej elektrody grafitowej, korzystnie stosunek ten równy jest 0.9 (grafit: LiSCN).

Optymalny wariant elektrolitu przewiduje mieszaninę tiocyjanianu litu (LiSCN) o wzorze 1 w 1-molowym roztworze heksafluorofosforanu litu (LiPF_6) o wzorze 2, a także rozpuszczalników: węglanu etylenu (EC) o wzorze 3 i węglanu dimetylu (DMC) o wzorze 4. Stosunek objętościowy EC:DMC wynosi 1:1.

W proponowanym systemie elektroda ujemna zbudowana jest z materiału zawierającego grafit, a elektroda dodatnia zbudowana z materiału węglowego o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej. Układ umożliwia interkalację litu w elektrodę ujemną z wykorzystaniem jonów litu pochodzących z elektrolitu. Hybrydowy kondensator elektrochemiczny według wynalazku nadaje się do zastosowania w temperaturze od -25 do 65°C , korzystnie 30°C , przy napięciu od 1,8 do 4,5 V, korzystnie 2,2 do 4,2 V.

Zastosowanie rozwiązania według wynalazku pozwoliło na uzyskanie następujących korzyści technologiczno-użytkowych:

- zastosowanie napięcia pracy – 2,2 – 4,2 V,
- uzyskanie pojemności odwracalnej – 357 mAh·g⁻¹,
- uzyskanie wysokiej wartości przewodnictwa elektrolitu niewodnego – 12 mS·cm⁻¹,
- uzyskanie wysokiej wartości gęstości energii układu – 101 Wh·kg⁻¹,
- uzyskanie wysokiej wartości mocy układu – 1000 W·kg⁻¹,
- uzyskanie długiego czasu pracy układu – ok. 1850 cykli ładowania/wyładowania,
- pełna interkalacja elektrody ujemnej,
- brak konieczności pre-interkalacji elektrody ujemnej przy użyciu metalicznego litu,
- wysoka stabilność elektrochemiczna elektrolitu.

Hybrydowy kondensator elektrochemiczny bazujący na mieszaninie soli tiocyjanianu litu z heksafluorofosforanem litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu, którego sposób otrzymywania przedstawiają poniższe przykłady:

Przykład I

W kolbie miarowej o objętości 1 dm³ umieszczono 0,01 mola tiocyjanianu litu oraz dopełniono 1-molowym roztworem heksafluorofosforanu litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu w stosunku objętościowym 1:1. Składniki mieszano w temperaturze pokojowej do momentu uzyskania jednorodnej mieszaniny, zwanej elektrolitem. Elektrode ujemną hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii miedzianej pokrytej warstwą mieszaniny: grafit SLC1512P (91%), polifluorek winylidenu (PVdF) (8%) oraz sadza węglowa C65 (1%). Elektrode dodatnią hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii aluminiowej pokrytej warstwą o składzie: Kuraray YP80F (80%), polite-trafluoroetylen (PTFE) (5%), sadza węglowa C65 (15%). Obie elektrody o powierzchni 2 cm² rozdzielono przy pomocy dwóch separatorów GF/D. Elektrode referencyjną wykonano z metalicznego litu. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 3-elektrodowym, a następnie nasączono roztworem elektrolitu.

Skonstruowany układ w temperaturze 30°C poddano badaniom elektrochemicznym: galwanostaticznemu ładowaniu/wyładowaniu w przeliczeniu na masę elektrody ujemnej (0,2 A·g⁻¹; 2,2 – 4,2 V) woltamperometrii cyklicznej (0,1 mV·s⁻¹; 2,2 – 4,2 V), oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (100 kHz ÷ 10 mHz).

Przykład II

W kolbie miarowej o objętości 1 dm³ umieszczono 0,05 mola tiocyjanianu litu oraz dopełniono 1-molowym roztworem heksafluorofosforanu litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu w stosunku objętościowym 1:1. Składniki mieszano w temperaturze pokojowej do momentu uzyskania jednorodnej mieszaniny, zwanej elektrolitem. Elektrode ujemną hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii miedzianej pokrytej warstwą mieszaniny: grafit SLC1512P (91%), polifluorek winylidenu (PVdF) (8%) oraz sadza węglowa C65 (1%). Elektrode dodatnią hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii aluminiowej pokrytej warstwą o składzie: Kuraray YP80F (80%), polite-trafluoroetylen (PTFE) (5%), sadza węglowa C65 (15%). Obie elektrody o powierzchni 2 cm² rozdzielono przy pomocy dwóch separatorów GF/D. Elektrode referencyjną wykonano z metalicznego litu. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 3-elektrodowym, a następnie nasączono roztworem elektrolitu.

Skonstruowany układ w temperaturze 50°C poddano badaniom elektrochemicznym: galwanostaticznemu ładowaniu/wyładowaniu w przeliczeniu na masę elektrody ujemnej (0,1 A·g⁻¹; 2,0 – 4,0 V) woltamperometrii cyklicznej (10 mV·s⁻¹; 2,0 – 4,0 V), oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (100 kHz ÷ 10 mHz).

Przykład III

W kolbie miarowej o objętości 1 dm³ umieszczono 0,085 mola tiocyjanianu litu oraz dopełniono 1-molowym roztworem heksafluorofosforanu litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu w stosunku objętościowym 1:1. Składniki mieszano w temperaturze pokojowej do momentu ustalenia się jednorodnej mieszaniny, zwanej elektrolitem. Elektrode ujemną hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii miedzianej pokrytej warstwą mieszaniny: grafit SLC1512P (91%), polifluorek winylidenu (PVdF) (8%) oraz sadza węglowa C65 (1%). Elektrode dodatnią hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii aluminiowej pokrytej warstwą o składzie: Kuraray YP80F (80%), polite-trafluoroetylen (PTFE) (5%), sadza węglowa C65 (15%). Obie elektrody o powierzchni 2 cm² rozdzielono przy pomocy dwóch separatorów GF/D. Elektrode referencyjną wykonano z metalicznego litu. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 3-elektrodowym, a następnie nasączono roztworem elektrolitu.

Skonstruowany układ w temperaturze 100°C poddano badaniom elektrochemicznym: galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu w przeliczeniu na masę elektrody ujemnej ($0,5 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$; 1,8 – 4,5 V) woltamperometrii cyklicznej ($5 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$; 1,8 – 4,5 V), oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ($100 \text{ kHz} \div 10 \text{ mHz}$).

Przykład IV

W kolbie miarowej o objętości 1 dm^3 umieszczono 0,1 mola tiocyjanianu litu oraz dopełniono 1-molowym roztworem heksafluorofosforanu litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu w stosunku objętościowym 1:1. Składniki mieszano w temperaturze pokojowej do momentu uzyskania jednorodnej mieszaniny, zwanej elektrolitem. Elektrode ujemną hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii miedzianej pokrytej warstwą mieszaniny: grafit SLC1512P (91%), polifluorek winylidenu (PVdF) (8%) oraz sadza węglowa C65 (1%). Elektrode dodatnią hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii aluminiowej pokrytej warstwą o składzie: Kuraray YP80F (80%), polite-trafluoroetylen (PTFE) (5%), sadza węglowa C65 (15%). Obie elektrody o powierzchni 2 cm^2 rozdzielono przy pomocy dwóch separatorów GF/D. Elektrode referencyjną wykonano z metalicznego litu. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 3-elektrodowym, a następnie nasączono roztworem elektrolitu.

Skonstruowany układ w temperaturze 75°C poddano badaniom elektrochemicznym: galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu w przeliczeniu na masę elektrody ujemnej ($0,3 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$; 2,2 – 4,0 V) woltamperometrii cyklicznej ($2 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$; 2,2 – 4,0 V), oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ($100 \text{ kHz} \div 10 \text{ mHz}$).

Przykład V

W kolbie miarowej o objętości 1 dm^3 umieszczono 0,5 mola tiocyjanianu litu oraz dopełniono 1-molowym roztworem heksafluorofosforanu litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu w stosunku objętościowym 1:1. Składniki mieszano w temperaturze pokojowej do momentu uzyskania jednorodnej mieszaniny, zwanej elektrolitem. Elektrode ujemną hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii miedzianej pokrytej warstwą mieszaniny: grafit SLC1512P (91%), polifluorek winylidenu (PVdF) (8%) oraz sadza węglowa C65 (1%). Elektrode dodatnią hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii aluminiowej pokrytej warstwą o składzie: Kuraray YP80F (80%), polite-trafluoroetylen (PTFE) (5%), sadza węglowa C65 (15%). Obie elektrody o powierzchni 2 cm^2 rozdzielono przy pomocy dwóch separatorów GF/D. Elektrode referencyjną wykonano z metalicznego litu. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 3-elektrodowym, a następnie nasączono roztworem elektrolitu.

Skonstruowany układ w temperaturze 0°C poddano badaniom elektrochemicznym: galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu w przeliczeniu na masę elektrody ujemnej ($0,4 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$; 2,4 – 4,5 V) woltamperometrii cyklicznej ($1 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$; 2,4 – 4,5 V), oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ($100 \text{ kHz} \div 10 \text{ mHz}$).

Przykład VI

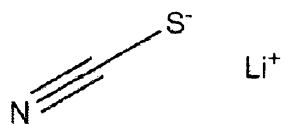
W kolbie miarowej o objętości 1 dm^3 umieszczono 1 mol tiocyjanianu litu oraz dopełniono 1-molowym roztworem heksafluorofosforanu litu w węglanie etylenu i węglanie dimetylu w stosunku objętościowym 1:1. Składniki mieszano w temperaturze pokojowej do momentu uzyskania jednorodnej mieszaniny, zwanej elektrolitem. Elektrode ujemną hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii miedzianej pokrytej warstwą mieszaniny: grafit SLC1512P (91%), polifluorek winylidenu (PVdF) (8%) oraz sadza węglowa C65 (1%). Elektrode dodatnią hybrydowego kondensatora elektrochemicznego wykonano z folii aluminiowej pokrytej warstwą o składzie: Kuraray YP80F (80%), polite-trafluoroetylen (PTFE) (5%), sadza węglowa C65 (15%). Obie elektrody o powierzchni 2 cm^2 rozdzielono przy pomocy dwóch separatorów GF/D. Elektrode referencyjną wykonano z metalicznego litu. Tak złożony układ umieszczono w naczyniu 3-elektrodowym, a następnie nasączono roztworem elektrolitu.

Skonstruowany układ w temperaturze -25°C poddano badaniom elektrochemicznym: galwanostatycznemu ładowaniu/wyładowaniu w przeliczeniu na masę elektrody ujemnej ($0,2 \text{ A}\cdot\text{g}^{-1}$; 2,0 – 4,2 V) woltamperometrii cyklicznej ($0,5 \text{ mV}\cdot\text{s}^{-1}$; 2,0 – 4,2 V), oraz elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej ($100 \text{ kHz} \div 10 \text{ mHz}$).

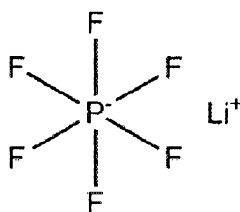
Zastrzeżenia patentowe

1. Hybrydowy kondensator elektrochemiczny składający się z umieszczonych w bezwodnym elektrolicie elektrody dodatniej oraz ujemnej oddzielonych od siebie separatorem, gdzie elektroda ujemna wykonana jest z materiału grafitowego, a elektroda dodatnia wykonana jest z materiału węglowego o silnie rozwiniętej powierzchni właściwej, **znamienny tym**, że elektrolit zawiera tiocyjanian litu o wzorze 1.
2. Hybrydowy kondensator elektrochemiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zawartość tiocyjanianu litu w elektrolicie pozostaje w proporcji do masy aktywnej elektrody ujemnej w stosunku mas grafit:tiocyjanian litu zawierającym się w przedziale 0.7–1.5, korzystnie 0.9.
3. Hybrydowy kondensator elektrochemiczny według zastrz. 1 albo 2, **znamienny tym**, że elektrolit stanowi mieszaninę tiocyjanianu litu o wzorze 1 w 1-molowym roztworze heksafluorofosforanu litu o wzorze 2, a także rozpuszczalników: węglanu etylenu (o wzorze 3 i węglanu dimetylu o wzorze 4, przy czym stosunek objętościowy węglan etylenu:węglan dimetylu wynosi 1:1.

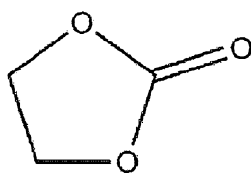
Rysunki



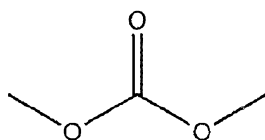
wzór 1



wzór 2



wzór 3



wzór 4