

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10)

PL 245661 B1

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439841**

(22) Data zgłoszenia: **2021.12.14**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.06.19 BUP 25/2023**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.09.16 WUP 38/2024**

(51) MKP:

H01M 10/056 (2010.01)

H01M 10/054 (2010.01)

(73) Uprawniony z patentu:

INSTYTUT KATALIZY I FIZYKOCHEMII
POWIERZCHNI IM. JERZEGO HABERA
POLSKIEJ AKADEMII NAUK, Kraków, PL
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

MACIEJ GUZIK, Kraków, PL
MICHAŁ MOSIAŁEK, Kraków, PL
PAWEŁ PASIERB, Zabierzów, PL
MAGDA MĄCZKA, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Andrzej Witek, Warszawa, PL

(54) Tytuł:

Ogniwo glinowo-jonowe do magazynowania energii elektrycznej

PL 245661 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest ogniwo glinowo-jonowe do magazynowania energii elektrycznej na drodze elektrochemicznej, z elektrolitem bezwodnym zawierającym tróchlorkek glinu, pracujące w temperaturze pokojowej.

Ogniwa glinowo-jonowe są potencjalnie jednym z korzystnych rozwiązań problemu magazynowania energii elektrycznej. Zaletą ogniw glinowo-jonowych, w porównaniu do aktualnie stosowanych rozwiązań komercyjnych (ogniwa litowo-jonowe) jest ich niższa toksyczność, możliwość uzyskania teoretycznie wyższych gęstości energii, niższy koszt wytworzenia ze względu na powszechność występowania glinu oraz możliwość pełnej utylizacji po zakończeniu użytkowania.

Uzyskanie komercyjnych ogniw glinowych wymaga opracowania szeregu materiałów o zadanych właściwościach, w tym materiałów elektrodowych oraz elektrolitów posiadających zdolność przewodzenia prądu elektrycznego jonami glinu.

Użycie w ogniwach glinowo-jonowych elektrolitów na bazie organicznych cieczy głęboko eutektycznych (z ang. Deep eutectic solvents, DES) jest jednym z możliwych rozwiązań, co zaproponowano w ramach niniejszego wynalazku.

Rozpuszczalniki głęboko eutektyczne (DES) to układy dwuskładnikowe powstałe w wyniku zmieszania akceptora wiązań wodorowych (HBA), najczęściej czwartorzędowej soli amoniowej (np. chlorku choliny) z solą metalu lub donorem wiązań wodorowych (HBD), w tym m.in. alkoholi, amidów czy kwasów karboksylowych. Kluczową właściwością tych układów jest znaczne obniżenie temperatury topnienia, w porównaniu z temperaturami topnienia czystych składników, dzięki czemu DES w temperaturze niższej niż 100°C, nawet w temperaturze pokojowej, występują w postaci ciekłej [2]. Wyróżnia się podgrupę DES tzw. Natural Deep Eutectic Solvents (NADES), jako dwu- lub trójskładnikowe mieszaniny, złożone z polarnych metabolitów pierwotnych pochodzenia naturalnego, tj. chlorku choliny, kwasów naturalnych, aminokwasów, mono- i disacharydów [3]. Donorem wiązań wodorowych z powodzeniem mogą być również monomery – (*R*)-3-hydroksykwas – pochodzące z bakteryjnych polimerów poli-hydroksyalkanianów (PHA). Przykładem mogą być DES otrzymane z trójskładnikowych układów z wykorzystaniem mieszaniny kwasów (*R*)-3-hydroksynonanowego i (*R*)-3-hydroksyheptanowego pochodzących z PHA oraz chlorku choliny [4], czy bardziej skomplikowane układy zawierające mieszaniny kwasów 3-hydroksykarboksylowych od 6 do 12 węgli w łańcuchu monomeru w połączeniu z chlorkiem choliny [1].

DES znalazły zastosowanie głównie w syntezie polimerów [5], katalizie enzymatycznej [6], w ekstrakcji związków bioaktywnych z biomasy [4] a także procesach elektrochemicznych [2]. Opisane istnieją w literaturze zastosowania DES jako elektrolitów w konstrukcji ogniw. Zgłoszenie patentowe WO2020056514A1 [7] opisuje konstrukcje baterii aluminium-jonowych z elektrolitem zawierającym tróchlorkek glinu (AlCl_3) / rozpuszczalnik eutektyczny na bazie amidu, metalicznym glinem jako anodą, oraz kompatybilnym materiałem katody, np. materiałem grafitowym (pierwotny grafit pirolityczny / grafit naturalny, przetworzony grafit pirolityczny / grafit naturalny), tlenkiem lub związkiem zawierającym siarczek.

Inne rozwiązanie zostało zaprezentowane w [8]. Autorzy skonstruowali baterię glinowo-żelazową z zastosowaniem DES opartych na solach chlorkowych wymienionych metali i ich odpowiednich mieszanin eutektycznych z glikolem etylenowym oraz mocznikiem. Używając katolitu Fe(210) o stężeniu 5 M, bateria Fe-Al zapewnia wysoką gęstość energii około 166 Wh/L przy średnim napięciu roboczym 1.41 V. Ponadto, poprzez dysocjację kompleksów żelaza w Fe(126) DES, bateria Fe-Al osiąga pełne naładowanie i rozładowanie w ciągu 60 cykli bez degradacji.

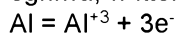
Użycie DES w konstrukcji baterii zostało opisane również w [9] przy konstrukcji baterii powietrznej z zastosowaniem układu Al-DES. Wytworzono stałą baterię aluminium-powietrzną z elektrolitem składającym się z AlCl_3 , mocznika, karboksymetylocelulozy i gliceryny. Bateria wykazywała stabilne reakcje elektrochemiczne. Kiedy TiN został użyty jako materiał katody powietrznej, typowe produkty uboczne baterii aluminium-powietrze, takie jak $\text{Al}(\text{OH})_3$ i Al_2O_3 nie były obserwowane, nawet kiedy jako elektrolit zastosowano głęboko-eutektyczny rozpuszczalnik.

Inne znane z opisów patentowych zastosowania cieczy jonowych w urządzeniach elektrochemicznych obejmują ich zastosowanie w kondensatorach elektrochemicznych (polskie patenty nr 237466, nr 237457, zgłoszenie patentowe P.423566), jako dodatek do cieczy jonowej w akumulatorach kwasowo-ołowiowych (nr zgłoszenia patentowego P.417298), składu cieczy jonowych do różnych zastosowań (polski patent nr 231581), mieszanin rozpuszczalników do zastosowań przemysłowych,

zwłaszcza w ogniwach galwanicznych oraz do wytwarzania elektrolitów do ogniw galwanicznych (polskie patenty nr 232679 i nr 213532). Ponadto opisy patentowe ujawniają zastosowanie cieczy jonowych do konstrukcji kondensatorów elektrochemicznych (polskie zgłoszenie patentowe P.427166, patent nr 221355), konstrukcji hybrydowych elementów optoelektronicznych wykazujących efekt pamięci (polski patent nr 222843) czy też sposobów ich oznaczania (polski patent nr 213461).

W fazie badań są także inne typy akumulatorów i ogniw glino-jonowych:

1. glinowo-powietrzne
2. glinowo-siarkowe (selenowe, tellurowe)
3. podwójne jonowe, w których utlenianiu i redukcji podlegają 2 różne jony.
4. ogniwa, w których na anodzie zachodzi odwracalny proces: utlenianie/redukcja:



podczas gdy na katodzie zachodzi interkalacja/deinterkalacja kompleksu AlCl_4^- . Tego rodzaju ogniwa są omówione w dalszej części wniosku.

Ze względu na rodzaj elektrolitu ogniwa glinowo-jonowe dzieli się następująco:

A) Z elektrolitami w postaci roztworów wodnych:

Elektrolity: roztwory wodne AlCl_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ [10]; $\text{Al}(\text{CF}_3\text{SO}_3)_3/\text{H}_2\text{O}$ [11]

Katody: $\text{VOPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [10]; tlenochlorek bizmutu BiOCl [12]

Anody: folia aluminiowa [10]

B) Z elektrolitami o wysokich temperaturach topnienia pracujące znacznie powyżej temperatury pokojowej. Jako elektrolity stosowano: stopione mieszaniny chlorku glinu i chlorku alkalicznego [13–17] na przykład $\text{NaCl} + \text{AlCl}_3$; $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ [18] i $(\text{Al}_{0.2}\text{Zr}_{0.8})_{20/19}\text{Nb}(\text{PO}_4)_3$ [19] o strukturze nasiconu.

C) Z elektrolitami w postaci ciała stałego żelu lub polimeru, na przykład:

poliakrylamid- AlCl_3 [20]; Usieczony kopolimer politetrahydrofuranu o niskiej masie cząsteczkowej i cykloalifatycznego epoksydu, nasycony jonami glinu poprzez zanurzenie w roztworze azotanu glinu w THF [21]; elektrolit polimerowo-żelowy poliakrylonitryl, EMIMCl i AlCl_3 [22]; tlenek polietylenu zmieszany z AlCl_3 i mocznikiem [23]; Et3NHCl-based gel-polymer electrolyte [24]; żelatyna/poliakrylamid hydrożel [25]; ogniwa z dwoma stykającymi się elektrolitami, z kwasowym – membrana PVA jako anolit i hydrożel solankowy jako katolit bez separatora [26]; Żel agarozowy [27]

D) Z elektrolitami bezwodnymi pracujące w temperaturze pokojowej.

W tego typu ogniwach do tej pory stosowane są (były proponowane) jako elektrolity: roztwory chlorku glinu w cieczach jonowych o ogólnym wzorze M^+X^- , gdzie X^- jest anionem: Cl^- , Br^- , J^- lub anionem organicznym bis(trifluorometanosulfonyl)imid lub trifluorometanosulfonian. Spośród anionów najlepszymi parametrami charakteryzują się ogniwa z Cl^- jako anionem [28], natomiast M jest to imidazol lub pirodina lub ich pochodne: 1-butyl-3-metylo-imidazol (BMIM) lub 1-etylo-3-metylo-imidazol (EMIM); chlorowodorek trietyloaminy (Et_3NHCl) z AlCl_3 [29]; 1-(2-methoxyethyl)-3-methylimidazolium [30]; ciecz jonowa 1-butylo-1-metylopirolidynium bis(trifluorometanosulfonyl)imid ([BMP][Tf₂N]) i 1-etylo-3-metyloimidazol bis(trifluorometanosulfonyl)imid ([EMIM][Tf₂N]) [31–33]; Chlorek AlCl_3 -1-metylo-1-propylopirolidyniowy [34]; aluminium trifluoromethanesulfonate ($\text{Al}[\text{TfO}]_3$) rozpuszczony w eterze dimetylowym glikolu dietylenowego [35]; trójskładnikowa mieszanina zawierająca trifluorometanosulfonian glinu ($\text{Al}[\text{TfO}]_3$), N-metyloacetamid (NMA) i mocznik [36]; mocznik i AlCl_3 [37]; mocznik, AlCl_3 i mediator redox: LiBr, NaBr, LiI, NaI, LiI lub NaI [38]; elektrolity na bazie sulfonu np. trójskładnikowy AlCl_3 , sulfon etyleno-propyloowy (EnPS) i toluen; mieszanina acetamidu i chlorku glinu [39]; chlorowodorek imidazolu i AlCl_3 [40]; Chlorek benzylotrietyloamoniowy + AlCl_3 [41]; AlCl_3 /kaprolaktam (CPL) i AlCl_3 /mocznik/CPL [41]; 1-trifluoroacetyl piperydyna [42]; propionamid- AlCl_3 , butyramid- AlCl_3 [43]; etylopierydyna- AlCl_3 [44]; Di-propylosulfon-toluen [45]; Elektrolit trójskładnikowy: AlCl_3 , mocznik, i chlorek 1-etylo-3-metyloimidazoliowy [46]; $\text{I}(\text{CF}_3\text{SO}_3)_3$ i trifluorometanosulfonian 1-butylo-3-metyloimidazolu [47]; $\text{Al}(\text{CF}_3\text{SO}_3)_3$ -Diglyme [48]; $\text{Al}(\text{CF}_3\text{SO}_3)_3$, N-metyloacetamid i mocznik [49]; $[\text{Al}(1\text{-butylimidazol})_6][\text{TFSI}]_3$ [50]; $\text{Al}(\text{TFSI})_3$ /Acetonitryl [51].

Stosowane materiały katodowe pozwalają odwracalnie interkalować i deinterkalować trójwartościowy jon Al^{3+} . Stosowano jako katody: grafit [52] i ogólnie materiały na bazie węgla; fluorowany grafit [53]; 3D-grafen [54]; nanogرافit, nanowstążki grafenowe na wysoce porowatym 3DGF, grafen i Ni_3S_2 @grafen [55–58]; papier grafitowy [59]; grafenowa katoda aerożelowa [29], kompozyt grafit z węglem amorficznym [60]; litowany grafit [61]; V_2O_5 [62]; VO_2 [63]; tlenki mieszane o ogólnym wzorze $(\text{Al}_x\text{M}_{1-x})_2(\text{M}'\text{O}_4)_3$, gdzie $\text{M} = \text{M}_2^a\text{M}_3^b\text{M}_4^c$, $\text{M}_2 = \text{Mg}$, Ca , Sr lub Ba , $\text{M}_3 = \text{Sc}$, Y , Ga lub In , $\text{M}_4 = \text{Zr}$ lub Hf , $\text{M}' = \text{W}$ lub Mo , $0 \leq a < 1$, $0 \leq b < 1$, $c = a$, $0 < x \leq 1$ i $(2a/(1-x)) + (3b/(1-x)) + (4c/((1-x))) = 3$, [64]; CuO , P_2O_5 , SnO_2 , PbO_2 , FeO , Fe_2O_3 , CoO , Co_2O_3 , NiO , AgO , COF_2 , CoF_3 , FeF_2 , FeF_3 , CuF_2 , MOF_2 , SnF_4

oraz kompozyty siarki i FeS_2 lub NiS_2 [65]; spinel $\lambda\text{-Mn}_2\text{O}_4$ [66]; faza Chevrela Mo_6S_8 [67], przewodzące polimery takie jak polipirol, politiofen, polianilina i poli(p-fenylen) [68–73]; nanocząsteczki CoSe otoczone węglem [74]; kompozyty MO_x/C gdzie $\text{MO}_x = \text{WO}_3$, V_2O_5 , ZnO [75]; $\text{FeS}_2@\text{C}/\text{nanorurki węgłowe}$ [76]; roztwór stały MXene, węgiel dotowany azotem i $\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{S}$ ($\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.4}\text{S}@\text{MXene}@\text{NC}$) [77]; $\text{MoS}_2/\text{Węgiel dotowany azotem}$ [78]. Jako anodę stosowano: folia Al pokryta nanodrutami aluminiumowymi [54]; przewodzący papier węglowy [59]; folia aluminiowa [29]; folia aluminiowa pokryta warstwą grafitu [79]; Folia ze stopu aluminium [80]; 9,10-antrachinon [81].

Przedmiotem wynalazku jest ogniwo glinowo-jonowe charakteryzujące się tym, że zawiera elektrolit będący nasyconym roztworem trójkloru glinu w rozpuszczalniku głęboko eutektycznym (DES) będącym mieszaniną monomerów średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA i chlorku choliny, przy czym monomery średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA są pochodzenia mikrobiologicznego i otrzymywane na drodze depolimeryzacji polimeru mcl-PHA syntetyzowanego przez szczep *Pseudomonas putida* CA-3 wzrastającego w warunkach fermentorowych na kwasach tłuszczowych pochodzących z hydrolizy oleju rzepakowego.

Równie korzystanie ogniwo według wynalazku charakteryzuje się tym, że monomerami średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA jest mieszanina (R)-3-hydroksykwasów.

W kolejnej korzystanej realizacji wynalazku ogniwo charakteryzuje się tym, że w skład mieszaniny (R)-3-hydroksykwasów wchodzi (R)-3-hydroksykwas: (R)-3-hydroksyheksanowy, (R)-3-hydroksyoktanowy, (R)-3-hydroksydekanowy, (R)-3-hydroksydodekanowy, (R)-3-hydroksydodekenowy i (R)-3-hydroksytetradekanowy w stosunku molowym odpowiednio (od 2 do 6) : (od 32 do 36) : (od 30 do 34) : (od 3 do 7) : (od 4 do 8) : (od 17 do 21).

Równie korzystnie ogniwo według wynalazku charakteryzuje się tym, że w elektrolicie zastosowanym w ogniwie stosunek molowy monomerów średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA do choliny mieści się w granicach 1–3 do 1, korzystnie 1 do 2.

W następnej korzystnej realizacji wynalazku ogniwo charakteryzuje się tym, że zawiera anodę wykonaną z metalicznego glinu lub stopu zawierającego glin.

Najkorzystniej ogniwo według wynalazku charakteryzuje się tym, że katoda wykonana jest z węgla lub kompozytu zawierającego węgiel, korzystnie kompozytu WO_3 -węgiel.

Wynalazek w pełni realizuje postawione zadanie techniczne. Zastosowany w nim elektrolit spełnia warunki stawiane elektrolitom stosowanym w ogniwach elektrochemicznych do magazynowania energii oraz posiada szereg dodatkowych zalet. Do najważniejszych z nich można zaliczyć aspekt ekologiczny. Na każdym etapie życia produktu – ogniwa i elektrolitu w nim zastosowanego: jego wytworzeniu, użytkowaniu jak i późniejszej utylizacji nie następuje obciążenie dla środowiska. Wynika to z faktu biodegradowalności użytych komponentów (DES) lub ich inertnego charakteru dla środowiska. Chlorek glinu pod wpływem wilgoci rozkłada się do uwodnionego tlenku glinu, który jest podstawowym składnikiem glinokrzemianów, jonu chlorkowego i jonu H_3O^+ , powszechnie występujących w środowisku naturalnym.

Przedmiot wynalazku w przykładach realizacji przedstawiono poniżej.

Przykład 1

Przykładem rozwiązania jest ogniwo przedstawione schematycznie na załączonym rysunku na Fig. 1. W skład ogniwa wchodzi anoda wykonana z metalicznego glinu lub innego stopu zawierającego glin, katoda wykonana na podłożu z folii węglowej, w formie naniesionej warstwy materiału aktywnego – proszku WO_3 . Elektrody oddzielone są od siebie przy użyciu separatora, np. Cellgard™ oraz znajdują się w kontakcie z użytym elektrolitem, którego skład i sposób otrzymania wygląda następująco: ogniwo glinowo-jonowe charakteryzujące się tym, że zawiera elektrolit będący nasyconym roztworem trójkloru glinu w rozpuszczalniku głęboko eutektycznym (DES) będącym mieszaniną monomerów średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA i chlorku choliny, przy czym monomery średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA są pochodzenia mikrobiologicznego i otrzymywane na drodze depolimeryzacji polimeru mcl-PHA syntetyzowanego przez szczep *Pseudomonas putida* CA-3 wzrastającego w warunkach fermentorowych na kwasach tłuszczowych pochodzących z hydrolizy oleju rzepakowego. Całość umieszczona jest w szczelnej obudowie zapewniającej brak oddziaływania elektrolitu z czynnikami zewnętrznymi. Elektrolit stanowi roztwór kwasów mcl-PHA z rozpuszczonym chlorem glinu w proporcji molowej 2 : 1 (DES). W tak przygotowanej cieczy rozpuszczony jest chlorek glinu (AlCl_3) z utworzeniem roztworu nasyconego. Przewodność elektrochemiczna elektrolitu, zbadana za pomocą elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej wynosi 0,025 [S/m].

Fig. 2a na załączonym rysunku przedstawia przykładową krzywą rozładowania ogniwa przy prądzie rozładowania $I = 2 \cdot 10^{-5}$ [A/cm²], przez czas rozładowania $\Delta t = 3600$ [sec], przy obserwowanym spadku napięcia równym około $\Delta V = 0,16$ V. Ogniwo to pracuje w sposób odwracalny. Wyznaczona pojemność ogniwa wynosi 88,9 [F/g]. Pojemność ogniwa utrzymuje się na tym poziomie przez 10 cykli pracy.

Przykład 2

Przykładem rozwiązania jest ogniwo jak opisano w przykładzie 1, z tą różnicą, że warstwą aktywną materiału katody jest warstwa węgla (np. Norit), zastosowano taki sam elektrolit jak w przykładzie 1.

Fig. 2d na załączonym rysunku przedstawia przykładową krzywą rozładowania ogniwa przy prądzie rozładowania $I = 4 \times 10^{-5}$ [A/cm²], przez czas rozładowania $\Delta t = 500$ [sec], przy obserwowanym spadku napięcia równym około $\Delta V = 0,15$ V. Ogniwo to pracuje w sposób odwracalny. Wyznaczona pojemność ogniwa wynosi 14,4 [F/g].

Przykład 3

Przykładem rozwiązania jest ogniwo jak w przykładzie 1, w którym użyto ten sam, opisany w przykładzie 1 elektrolit i tą samą anodę co przykładzie 1, z tą różnicą, że warstwą aktywną materiału katody jest warstwa kompozytu WO₃-węgiel otrzymanego jak niżej:

WO₃ był otrzymany przez kalcynację (NH₄)₁₀H₂(W₂O₇)₆·xH₂O w 500°C. Otrzymany proszek:

- (i) zmieszano z mąką ziemniaczaną w stosunku 1 : 2 i poddano kalcynacji w 600°C w atmosferze argonu przez 10 godzin;
- (ii) wzbogacono o węgiel metodą chemicznego osadzania z fazy gazowej z użyciem metanu przez 5 minut w temperaturze 900°C.

Fig. 2b i fig. 2c na załączonym rysunku przedstawiają przykładowe krzywe rozładowania ogniwa przy czasach rozładowania odpowiednio $\Delta t = 3600$ [sec] oraz $\Delta t = 1800$ [sec] przy obserwowanych spadku napięcia równych odpowiednio około $\Delta V = 0,15$ V oraz $\Delta V = 0,06$ V. Ogniwa te pracują w sposób odwracalny. Wyznaczona pojemność ogniwa wynosi odpowiednio 6,4 [F/g] oraz 19,0 [F/g].

Literatura:

- [1] L. Archer et al., „Physical properties of biomass-derived novel natural deep eutectic solvents based on choline chloride and (R)-3-hydroxyacids”, *J. Mol. Liq.*, vol. 315, p. 113680, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.113680>.
- [2] E. L. Smith, A. P. Abbott, and K. S. Ryder, „Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications”, *Chem. Rev.*, vol. 114, no. 21, pp. 11060–11082, Nov. 2014. <https://doi.org/10.1021/cr300162p>.
- [3] Y. H. Choi et al., „Are natural deep eutectic solvents the missing link in understanding cellular metabolism and physiology?”, *Plant Physiol.*, vol. 156, no. 4, pp. 1701–1705, Aug. 2011. <https://doi.org/10.1104/pp.111.178426>.
- [4] K. Harażna et al., „Polyhydroxyalkanoate-derived hydrogen-bond donors for the synthesis of new deep eutectic solvents”, *Green Chem.*, vol. 21, no. 11, pp. 3116–3126, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1039/c9gc00387h>.
- [5] J. D. Mota-Morales, R. J. Sánchez-Leija, A. Carranza, J. A. Pojman, F. del Monte, and G. Luna-Bárcenas, „Free-radical polymerizations of and in deep eutectic solvents: Green synthesis of functional materials”, *Prog. Polym. Sci.*, vol. 78, pp. 139–153, Mar. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2017.09.005>.
- [6] H. Zhao, C. Zhang, and T. D. Crittle, „Choline-based deep eutectic solvents for enzymatic preparation of biodiesel from soybean oil”, *J. Mol. Catal. B Enzym.*, vol. 85–86, pp. 243–247, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2012.09.003>.
- [7] K. L. Ng, M. Malik, and G. Azimi, „Aluminum-ion battery using aluminum chloride/amide-based deep eutectic solvents”, WO2020056514A1, 2019.
- [8] L. Zhang, C. Zhang, Y. Ding, K. Ramirez-Meyers, and G. Yu, „A Low-Cost and High-Energy Hybrid Iron-Aluminum Liquid Battery Achieved by Deep Eutectic Solvents”, *Joule*, vol. 1, no. 3, pp. 623–633, Nov. 2017. <https://doi.org/10.1016/J.JOULE.2017.08.013>.
- [9] R. Mori, „All solid state rechargeable aluminum-air battery with deep eutectic solvent based electrolyte and suppression of byproducts formation”, *RSC Adv.*, vol. 9, no. 39, pp. 22220–22226, Jul. 2019. <https://doi.org/10.1039/C9RA04567H>.
- [10] Q. Pang, S. Yang, X. Yu, W. He, S. Zhang, Y. Tian, M. Xing, Y. Fu, X. Luo, Realizing reversible storage of trivalent aluminum ions using VOPO₄·2H₂O nanosheets as cathode material in aqueous aluminum metal batteries, *J. Alloys Compd.* 885 (2021) 161008. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2021.161008>.

- [11] Q. Zhao, M.J. Zachman, W.I. Al Sadat, J. Zheng, L.F. Kourkoutis, L. Archer, Solid electrolyte interphases for high-energy aqueous aluminum electrochemical cells, *Sci. Adv.* 4 (2018), <https://doi.org/10.1126/sciadv.aau8131> eaa8131.
- [12] S. Nandi, S.K. Das, Exploring the electrochemical activity of bismuth oxychloride for rechargeable aqueous aluminium-metal battery and a method for enhanced performance, *Bull. Mater. Sci.* 44 (2021) 1–9. <https://doi.org/10.1007/s12034-021-02530-2>.
- [13] C. R. Boston, J. W. Hastie, R. E. Hester, *Advances in Molten Salt Chemistry*, Springer US, Boston, MA, USA, 1971.
- [14] L. Qingfeng, H. A. Hjuler, R. W. Berg, N. J. Bjerrum, Electrochemical deposition and dissolution of aluminum in NaAlCl_4 melts – influence of MnCl_2 and sulfide addition. *J. Electrochem. Soc.* 137 (1990) 2794–2798.
- [15] N. Takami, N. Koura, anodic sulfidation of FeS electrode in a NaCl saturated AlCl_3 -NaCl melt, *Electrochim. Acta* 33 (1988) 1137–1142. [https://doi.org/10.1016/0013-4686\(88\)80205-6](https://doi.org/10.1016/0013-4686(88)80205-6).
- [16] R. Huglen, F. W. Poulsen, G. Mamantov, R. Marassi, G. M. Begun, Raman spectral studies of elemental sulfur in Al_2Cl_6 and chloroaluminate melts, *Inorg. Nucl. Chem. Lett.* 14 (1978) 167–172. [https://doi.org/10.1016/0020-1650\(78\)80102-0](https://doi.org/10.1016/0020-1650(78)80102-0).
- [17] G. L. Holleck, Reduction of chlorine on carbon in AlCl_3 -KCl-NaCl melts, *J. Electrochem. Soc.* 119 (1972) 1158–&. <https://doi.org/10.1149/1.2404432>.
- [18] P. Lavela, L. Tirado, F. Nacimiento, M. Cabello, R. Alc, *Electrochimica Acta NASICON-type $\text{Na}_3\text{V}_2(\text{PO}_4)_3$ as a new positive electrode material for rechargeable aluminium battery*, 260 (2018) 798–804. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.12.040>.
- [19] N. Imanaka, Y. Hasegawa, M. Yamaguchi, M. Itaya, S. Tamura, G. Adachi, Extraordinary high trivalent Al^{3+} ion conduction in solids. *Chemistry of Materials*, 14(11), 4481–4483. <https://doi.org/10.1021/cm020667f>.
- [20] X.-G. Sun, Y. Fang, X. Jiang, K. Yoshii, T. Tsuda, S. Dai, Polymer gel electrolytes for application in aluminum deposition and rechargeable aluminum ion batteries. *Chemical Communications*, 52 (2016) 292–295. <https://doi.org/10.1039/c5cc06643c>.
- [21] T. Yao, F.S. Genier, S. Biria, I.D. Hosein, A solid polymer electrolyte for aluminum ion conduction, *Results Phys.* 10 (2018) 529–531. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2018.07.001>.
- [22] G.A. Elia, C.I. Acevedo, R. Kazemi, S. Fantini, R. Lin, R. Hahn, A Gel Polymer Electrolyte for Aluminum Batteries, *Energy Technol.* 9 (2021) 1–6. <https://doi.org/10.1002/ente.202100208>.
- [23] Á. Miguel, N. García, V. Gregorio, A. López-Cudero, P. Tiemblo, Tough polymer gel electrolytes for aluminum secondary batteries based on urea: AlCl_3 , prepared by a new solvent-free and scalable procedure, *Polymers (Basel)*, 12 (2020) 12061336. <https://doi.org/10.3390/POLYM12061336>.
- [24] Yu, Z., Jiao, S., Li, S., Chen, X., Song, W.-L., Teng, T., Tu, J., Chen, H.-S., Zhang, G., Fang, D.-N. Flexible stable solid-state Al-ion batteries. *Adv. Funct. Mater.* 29 (2019) 1806799. <https://doi.org/10.1002/adfm.201806799>.
- [25] Wang, P., Chen, Z., Wang, H., Ji, Z., Feng, Y., Wang, J., Liu, J., Hu, M., Fei, J., Gan, W., Huang, Y. A high-performance flexible aqueous Al ion rechargeable battery with long cycle life. *Energy Storage Mater.* 25, (2020) 426–435. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2019.09.038>.
- [26] M.F. Gaele, F. Migliardini, T.M. Di Palma, Dual solid electrolytes for aluminium-air batteries based on polyvinyl alcohol acidic membranes and neutral hydrogels, *J. Solid State Electrochem.* 25 (2021) 1207–1216. <https://doi.org/10.1007/s10008-021-04900-6>.
- [27] P. Sun, J. Chen, Y. Huang, J.H. Tian, S. Li, G. Wang, Q. Zhang, Z. Tian, L. Zhang, High-Strength agarose gel electrolyte enables long-endurance wearable Al-air batteries with greatly suppressed self-corrosion, *Energy Storage Mater.* 34 (2021) 427–435. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2020.10.009>.
- [28] H.L. Wang, S.C. Gu, Y. Bai, S. Chen, N. Zhu, C. Wu, F. Wu, Anion-effects on electrochemical properties of ionic liquid electrolytes for rechargeable aluminum batteries, *Journal of Materials Chemistry A*, 3 (2015) 22677–22686. <https://doi.org/10.1039/c5ta06187c>.
- [29] H. Xu, T. Bai, H. Chen, F. Guo, J. Xi, T. Huang, S. Cai, X. Chu, J. Ling, W. Gao, Z. Xu, C. Gao, Low-cost $\text{AlCl}_3/\text{Et}_3\text{NHCl}$ electrolyte for high-performance aluminum-ion battery, *Energy Storage Mater.* 17 (2019) 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2018.08.003>.
- [30] S.Z. El Abedin, P. Giridhar, P. Schwab, F. Endres, Electrodeposition of nanocrystalline aluminium from a chloroaluminate ionic liquid, *Electrochemistry Communications* 12 (2010) 1084–1086. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2010.05.034>.

- [31] N.M. Rocher, E.I. Izgorodina, T. Ruther, M. Forsyth, D.R. MacFarlane, T. Rodopoulos, M.D. Horne, A.M. Bond, Aluminium Speciation in 1-Butyl-1-Methylpyrrolidinium Bis(trifluoromethylsulfonyl)amide/ AlCl_3 Mixtures, *Chemistry-a European Journal* 15 (2009) 3435–3447. <https://doi.org/10.1002/chem.200801641>.
- [32] P. Eiden, Q.X. Liu, S.Z. El Abedin, F. Endres, I. Krossing, An Experimental and Theoretical Study of the Aluminium Species Present in Mixtures of AlCl_3 with the Ionic Liquids BMP Tf2N and EMIm Tf2N, *Chemistry-a European Journal* 15 (2009) 3426–3434. <https://doi.org/10.1002/chem.200801616>.
- [33] S.Z. El Abedin, E.M. Moustafa, R. Hempelmann, H. Natter, F. Endres, Electrodeposition of nano- and microcrystalline aluminium in three different air and water stable ionic liquids, *Chemphyschem* 7 (2006) 1535–1543. <https://doi.org/10.1002/cphc.200600095>.
- [34] G. Zhu, M. Angell, C.J. Pan, M.C. Lin, H. Chen, C.J. Huang, J. Lin, A.J. Achazi, P. Kaghazchi, B.J. Hwang, H. Dai, Rechargeable aluminum batteries: effects of cations in ionic liquid electrolytes, *RSC Adv.* 9 (2019) 11322–11330. <https://doi.org/10.1039/C9RA00765B>.
- [35] L.D. Reed, A. Arteaga, E.J. Menke, A Combined Experimental and Computational Study of an Aluminum Triflate/Diglyme Electrolyte, *Journal of Physical Chemistry B* 119 (2015) 2677–12681. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b08501>.
- [36] T. Mandai, P. Johansson, Al conductive haloaluminate-free non-aqueous room-temperature electrolytes, *Journal of Materials Chemistry A* 3 (2015) 12230–12239. <https://doi.org/10.1039/c5ta01760b>.
- [37] M. Angell, C. Pan, Y. Rong, C. Yuan, M. Lin, B. Hwang, High Coulombic efficiency aluminum-ion battery using an AlCl_3 -urea ionic liquid analog electrolyte, *PNAS* (2017) 834–839. <https://doi.org/10.1073/pnas.1619795114>.
- [38] H. Li, J. Lampkin, N. Garcia-Araez, Facilitating Charge Reactions in Al-S Batteries with Redox Mediators, *ChemSusChem*. 14 (2021) 3139–3146. <https://doi.org/10.1002/cssc.202100973>.
- [39] N. Canever, N. Bertrand, T. Nann, Acetamide: a low-cost alternative to alkyl imidazolium chlorides for aluminium-ion batteries, *Chemical Communications* 54 (2018) 11725–11728. <https://doi.org/10.1039/c8cc04468f>.
- [40] C. Xu, S. Zhao, Y. Du, W. Zhang, P. Li, H. Jin, Y. Zhang, Z. Wang, J. Zhang, A High Capacity Aluminum-Ion Battery Based on Imidazole Hydrochloride Electrolyte, *ChemElectroChem*. 6 (2019) 3350–3354. <https://doi.org/10.1002/celec.201900883>.
- [41] Xu, C., Li, J., Chen, H., Zhang, J. Benzyltriethylammonium chloride electrolyte for high-performance Al-ion batteries, *ChemNanoMat* 5 (2019) 1367–1372. <https://doi.org/10.1002/cnma.201900490>.
- [42] V.A. Elterman, P.Y. Shevelin, D.L. Chizhov, L.A. Yolshina, E.A. Il'ina, A.V. Borozdin, M.I. Kodess, M.A. Ezhikova, G.L. Rusinov, Development of a novel 1-trifluoroacetyl piperidine-based electrolyte for aluminum ion battery, *Electrochim. Acta* 323 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.134806>.
- [43] C. Liu, W. Chen, Z. Wu, B. Gao, X. Hu, Z. Shi, Z. Wang, Density, viscosity and electrical conductivity of AlCl_3 -amide ionic liquid analogues, *J. Mol. Liq.* 247 (2017) 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.09.091>.
- [44] C. Li, J. Patra, J. Li, P.C. Rath, M.H. Lin, J.K. Chang, A novel moisture-insensitive and low-corrosivity ionic liquid electrolyte for rechargeable aluminum batteries, *Adv. Funct. Mater.* 30 (2020) 1–10. <https://doi.org/10.1002/adfm.201909565>.
- [45] M. Chiku, T. Kunisawa, E. Higuchi, H. Inoue, Copper chloride as a conversion type positive electrode for rechargeable aluminum batteries, *RSC Adv.* 9 (2019) 41475–41480. <https://doi.org/10.1039/c9ra09158k>.
- [46] J. Li, J. Tu, H. Jiao, C. Wang, S. Jiao, Ternary AlCl_3 -Urea-[EMIm]Cl ionic liquid electrolyte for rechargeable aluminum-ion batteries, *J. Electrochem. Soc.* 164 (2017) A3093–A3100. <https://doi.org/10.1149/2.0811713jes>.
- [47] H. Wang, S. Gu, Y. Bai, S. Chen, F. Wu, C. Wu, High-voltage and noncorrosive ionic liquid electrolyte used in rechargeable aluminum battery, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 8 (2016) 27444–27448. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b10579>.
- [48] L.D. Reed, A. Arteaga, E.J. Menke, A combined experimental and computational study of an aluminum triflate/diglyme electrolyte, *J. Phys. Chem. B* 119 (2015) 12677–12681. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b08501>.
- [49] T. Mandai, P. Johansson, Al conductive haloaluminate-free non-aqueous room temperature electrolytes, *J. Mater. Chem. A* 3 (2015) 12230–12239. <https://doi.org/10.1039/C5TA01760B>.

- [50] T. Mandai, P. Johansson, Haloaluminate-free cationic aluminum complexes: structural characterization and physicochemical properties, *J. Phys. Chem. C* 120 (2016) 21285–21292. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.6b07235>.
- [51] M. Chiku, S. Matsumura, H. Takeda, E. Higuchi, H. Inoue, Aluminum bis (trifluoromethanesulfonyl)imide as a chloride-free electrolyte for rechargeable aluminum batteries, *J. Electrochem. Soc.* 164 (2017) A1841–A1844. <https://doi.org/10.1149/2.0701709jes>.
- [52] P. R. Gifford, J. B. Palmisano, An aluminum chlorine rechargeable cell employing a room-temperature molten-salt electrolyte. *J. Electrochem. Soc.*, 135 (1988) 650–654. <https://doi.org/10.1149/1.2095685>.
- [53] J. V. Rani, V. Kanakaiah, T. Dadmal, M. S. Rao, S. Bhavanarushi, Fluorinated Natural Graphite Cathode for Rechargeable Ionic Liquid Based Aluminum-Ion Battery, *J. Electrochem. Soc.* 160 (2013) A1781–A1784. <https://doi.org/10.1149/2.072310jes>.
- [54] C. Zhang, Y.L. Wei, P.F. Cao, M.C. Lin, Energy storage system: Current studies on batteries and power condition system, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82 (2018) 3091–3106. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.030>.
- [55] X. Yu, B. Wang, D. Gong, Z. Xu, B. Lu, Graphene nanoribbons on highly porous 3d graphene for high-capacity and ultrastable al-ion batteries, *Adv. Mater.* 29 (2017) 1604118. <https://doi.org/10.1002/adma.201604118>.
- [56] H. Chen, F. Guo, Y. Liu, T. Huang, B. Zheng, N. Ananth, Z. Xu, W. Gao, C. Gao, A. Defect-Free, Principle for advanced graphene cathode of aluminum-ion battery, *Adv. Mater.* 29 (2017) 1605958, <https://doi.org/10.1002/adma.201605958>.
- [57] S. Wang, Z. Yu, J. Tu, J. Wang, D. Tian, Y. Liu, S. Jiao, A novel aluminum-ion battery: Al/AlCl₃-[EMIm]Cl/Ni₃S₂@Graphene, *Adv. Energy Mater.* 6 (2016) 1600137, <https://doi.org/10.1002/aenm.201600137>.
- [58] D.Y. Wang, C.Y. Wei, M.C. Lin, C.J. Pan, H.L. Chou, H.A. Chen, M. Gong, Y. Wu, C. Yuan, M. Angell, Y.J. Hsieh, Y.H. Chen, C.Y. Wen, C.W. Chen, B.J. Hwang, C.C. Chen, H. Dai, Advanced rechargeable aluminium ion battery with a high quality natural graphite cathode, *Nat. Commun.* 8 (2017) 14283. <https://doi.org/10.1038/ncomms14283>.
- [59] S. Wang, S. Jiao, W.L. Song, H. Sen Chen, J. Tu, D. Tian, H. Jiao, C. Fu, D.N. Fang, A novel dual-graphite aluminum-ion battery, *Energy Storage Mater.* 12 (2018) 119–127. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2017.12.010>.
- [60] J. Wei, W. Chen, D. Chen, K. Yang, Journal of Materials Science & Technology An amorphous carbon-graphite composite cathode for long cycle life rechargeable aluminum ion batteries, *J. Mater. Sci. Technol.* 34 (2018) 983–989. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2017.06.012>.
- [61] Z. Li, B. Niu, Y. Liu, J. Li, F. Kang, Prelithiation treatment of graphite as cathode material for rechargeable aluminum batteries, *Electrochim. Acta.* 263 (2018) 68–75. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.12.166>.
- [62] D. B. Le, S. Passerini, F. Coustier, J. Guo, T. Soderstrom, B. B. Owens, W. H. Smyrl, Intercalation of polyvalent cations into V₂O₅ aerogel, *Chem. Mater.* 10 (1998) 682. <https://doi.org/10.1021/cm9705101>.
- [63] W. Wang, B. Jiang, W. Xiong, H. Sun, Z. Lin, L. Hu, J. Tu, J. Hou, H. Zhu, S. Jiao, A new cathode material for super-valent battery based on aluminium ion intercalation and deintercalation, *Sci. Rep.* 3 (2013) 3383. <https://doi.org/10.1038/srep03383>.
- [64] A. Omote, US Patent 7,524,587 B2 2009.
- [65] J. J. Vajo, A. F.- Gross, P. Liu, J. Hicks-Garner, E. Sherman, S. Van Atta, US Patent N° 8,715,853 B1 2014.
- [66] M. P. Paranthaman, G. Brown, X.-G. Sun, J. Nanda, A. Manthiram, A. Manivannan, A Transformational, High Energy Density, Secondary Aluminum Ion Battery, ECS Meeting Abstracts 2010, MA2010-02, 314. <https://doi.org/10.1149/MA2010-02/4/314>.
- [67] L. Geng, G. Lv, X. Xing, J. Guo, Reversible Electrochemical Intercalation of Aluminum in Mo₆S₈. *Chem. Mater.* 27 (2015) 4926–4929. <https://doi.org/10.1021/acs.chemmater.5b01918>.
- [68] P. G. Pickup, R. A. Osteryoung, Electrochemical polymerization of pyrrole and electrochemistry of polypyrrole films in ambient-temperature molten-salts, *J. Am. Chem. Soc.* 106 (1984) 2294–2299. <https://doi.org/10.1021/ja00320a014>.

- [69] L.M. Goldenberg, R.A. Osteryoung, Benzene polymerization in 1-ethyl-3-methylimidazolium chloride AlCl_3 ionic liquid, *Synthetic Metals* 64 (1994) 63–68. [https://doi.org/10.1016/0379-6779\(94\)90276-3](https://doi.org/10.1016/0379-6779(94)90276-3).
- [70] P. G. Pickup, R. A. Osteryoung, J. Electroanal. Chem., Charging and discharging rate studies of polypyrrole films in AlCl_3 -1-methyl-(3-ethyl)-imidazolium chloride molten-salts and in CH_3CN 195 (1985) 271–288. [https://doi.org/10.1016/0022-0728\(85\)80048-6](https://doi.org/10.1016/0022-0728(85)80048-6).
- [71] L. Janiszewska, R. A. Osteryoung, Electrochemistry of polythiophene and polybithiophene films in ambient-temperature molten-salts, *J. Electrochem. Soc.* 134 (1987) 2787–2794. <https://doi.org/10.1149/1.2100288>.
- [72] J. Tang, R. A. Osteryoung, Formation and electrochemistry of polyaniline in ambient-temperature molten-salts, *Synth. Met.* 45 (1991) 1–13. [https://doi.org/10.1016/0379-6779\(91\)91842-x](https://doi.org/10.1016/0379-6779(91)91842-x).
- [73] N. S. Hudak, Chloroaluminate-Doped Conducting Polymers as Positive Electrodes in Rechargeable Aluminum Batteries, *J. Phys. Chem. C* 118 (2014) 5203–5215. <https://doi.org/10.1021/jp500593d>.
- [74] W. Xing, D. Du, T. Cai, X. Li, J. Zhou, Y. Chai, O. Xue, Z. Yan, Carbon-encapsulated CoSe nanoparticles derived from metal-organic frameworks as advanced cathode material for Al-ion battery, *J. Power Sources* 401 (2018) 6–12. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2018.08.079>.
- [75] M. Mączka, P. Pasierb, Sol-gel synthesis of metal (V, W, Zn) oxide – Carbon nanocomposites as cathode materials for Al-ion batteries, *Ceram. Int.* 45 (2019) 11041–11049. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.02.189>.
- [76] Y. Hu, H. Huang, D. Yu, X. Wang, L. Li, H. Hu, X. Zhu, S. Peng, L. Wang, All-Climate Aluminum-Ion Batteries Based on Binder-Free MOF-Derived $\text{FeS}_2@\text{C}/\text{CNT}$ Cathode, *Nano-Micro Lett.* 13 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40820-021-00682-8>.
- [77] J. Zheng, S. Ju, L. Yao, G. Xia, X. Yu, Construction of solid solution sulfide embedded in MXene@N-doped carbon dual protection matrix for advanced aluminum ion batteries, *J. Power Sources* 511 (2021) 230450. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230450>.
- [78] S. Guo, H. Yang, M. Liu, X. Feng, H. Xu, Y. Bai, C. Wu, Interlayer-Expanded MoS_2/N -Doped Carbon with Three-Dimensional Hierarchical Architecture as a Cathode Material for High-Performance Aluminum-Ion Batteries, *ACS Appl. Energy Mater.* 4 (2021) 7064–7072. <https://doi.org/10.1021/acsaem.1c01120>.
- [79] K. Wang, N. Wang, X. Li, J. He, X. Shen, Z. Yang, Q. Lv, C. Huang, In-situ preparation of ultrathin graphdiyne layer decorated aluminum foil with improved cycling stability for dual-ion batteries, *Carbon N. Y.* 142 (2019) 401–410. <https://doi.org/S0008622318309680>.
- [80] Y. Zhang, S. Liu, Y. Ji, J. Ma, H. Yu, Emerging Nonaqueous Aluminum-Ion Batteries: Challenges, Status, and Perspectives, *Adv. Mater.* 30 (2018). <https://doi.org/10.1002/adma.201708310>.
- [81] L. Zhou, Z. Zhang, L. Cui, F. Xiong, Q. An, Z. Zhou, X.F. Yu, P.K. Chu, K. Zhang, High-capacity and small-polarization aluminum organic batteries based on sustainable quinone-based cathodes with Al^{3+} insertion, *Cell Reports Phys. Sci.* 2 (2021) 100354. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100354>.

Zastrzeżenia patentowe

1. Ogniwo glinowo-jonowe **znamiennie tym**, że zawiera elektrolit będący nasyconym roztworem trójkloru glinu w rozpuszczalniku głęboko eutektycznym (DES) będącym mieszaniną monomerów średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA i chlorku choliny, przy czym monomery średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA są pochodzenia mikrobiologicznego i otrzymywane na drodze depolimeryzacji polimeru mcl-PHA syntetyzowanego przez szczep *Pseudomonas putida* CA-3 wzrastającego w warunkach fermentorowych na kwasach tłuszczowych pochodzących z hydrolizy oleju rzepakowego.
2. Ogniwo według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że monomerami średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA jest mieszanina (R)-3-hydroksykwasów.
3. Ogniwo według zastrz. 2, **znamiennie tym**, że w skład mieszaniny (R)-3-hydroksykwasów wchodzi (R)-3-hydroksykwasy: (R)-3-hydroksyheksanowy, (R)-3-hydroksyoktanowy, (R)-3-hydroksydekanowy, (R)-3-hydroksydodekanowy, (R)-3-hydroksydodekenowy i (R)-3-hydroksytetradekanowy w stosunku molowym odpowiednio (od 2 do 6) : (od 32 do 36) : (od 30 do 34) : (od 3 do 7) : (od 4 do 8) : (od 17 do 21) .

4. Ogniwo według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że w elektrolicie zastosowanym w ogniwie stosunek molowy monomerów średnio łańcuchowego polihydroksyalkanianu mcl-PHA do choliny mieści się w granicach 1–3 do 1, korzystnie 1 do 2.
5. Ogniwo według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że zawiera anodę wykonaną z metalicznego glinu lub stopu zawierającego glin.
6. Ogniwo według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że katoda wykonana jest z węgla lub kompozytu zawierającego węgiel, korzystnie kompozytu WO_3 -węgiel.

Rysunki

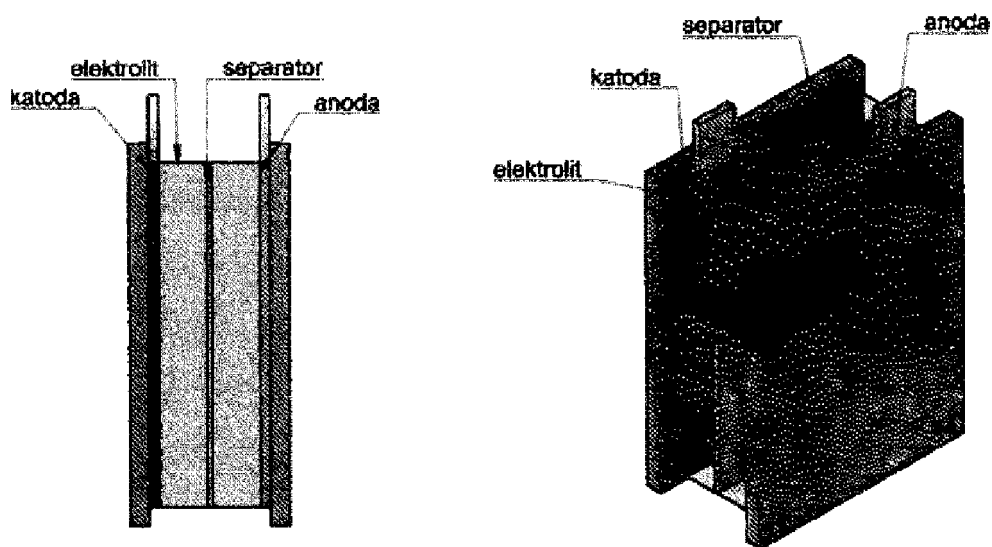


Fig. 1

Krzywe rozładowania galwanostatycznego

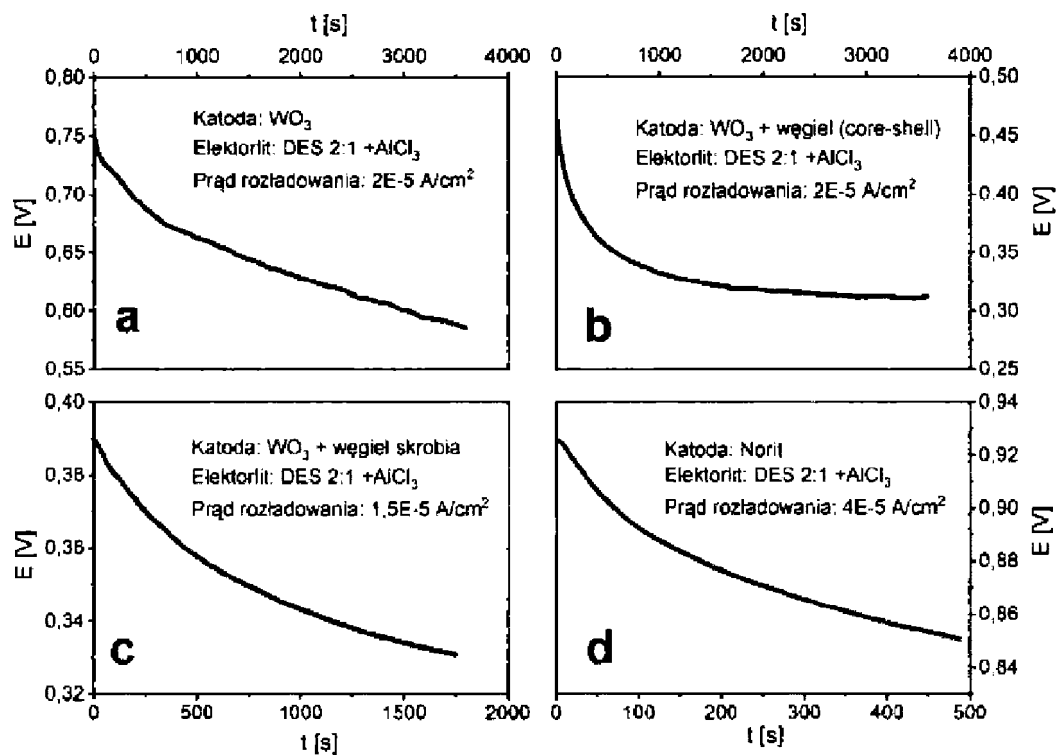


Fig. 2