

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 249163 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **444946**

(22) Data zgłoszenia: **2023.05.22**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2024.11.25 BUP 48/2024**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2026.03.09 WUP 10/2026**

(51) MKP:

H01L 31/042 (2014.01)

H02S 40/38 (2014.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

ROMAN SZAFRAN, Domasław, PL

MIKITA DAVYKOZA, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Katarzyna Paprzycka, Wrocław, PL

(54) Tytuł:

Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny z magazynem energii

PL 249163 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny z magazynem energii o sprawności absorpcji promieniowania przekraczającej 90%, zdolny do konwersji promieniowania elektromagnetycznego w pełnym zakresie częstotliwości fal widma światła słonecznego, od światła widzialnego po głęboką podczerwień, na energię elektrochemiczną oraz ciepłą. Panel umożliwia magazynowanie energii w ciekłych elektrolitach oraz produkcję prądu stałego, ciepła użytkowego i/lub naładowanego elektrycznie ciekłego elektrolitu będącego regenerowalnym źródłem energii elektrycznej. Panel łączy w sobie funkcje ogniwa fotowoltaicznego, kolektora ciepła oraz magazynu energii elektrycznej, przy czym każda z tych funkcji może być realizowana łącznie lub niezależnie, jednocześnie bądź okresowo naprzemiennie, w zależności od warunków, potrzeb i konfiguracji układu.

Panel energetyczny jest zespołem mikrofluidalnych ogniw fotowoltaicznych wzajemnie zintegrowanych hydraulicznie i elektrycznie, który jest połączony z układem magazynowania ciekłych elektrolitów oraz magazynem ciepła o dowolnych pojemnościach elektrycznych i cieplnych, dostosowanych do potrzeb.

Mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne posiada budowę warstwową i złożone jest z mikroprzepływowych fotokomórek elektrochemicznych będących zespołem wielu celek elektrochemicznych zintegrowanych hydraulicznie i elektrycznie w skalowalny system z dwoma mikroprzepływowymi wymiennikami elektrolitów, mikrofluidalnym wymiennikiem ciepła oraz dwiema piezoelektrycznymi mikropompami cyrkulacyjnymi.

Mikroprzepływowa fotokomórka elektrochemiczna wykonana jest z cienkich warstw przewodników i półprzewodników tlenkowych na bazie szeroko dostępnych domieszkowanych tlenków tytanu i cyny, szkła sodowego oraz tworzyw sztucznych i metalu, i nie posiada warstw wykonanych z krzemu krystalicznego, a jako elektrolit odpowiedzialny za magazynowanie energii elektrycznej wykorzystuje wodne roztwory soli metali z grupy metali przejściowych, przez co masowa produkcja panelu jest nieskomplikowana, tania i łatwoskalowalna do dużych wolumenów.

Kompaktowa konstrukcja panelu umożliwia jego montaż na powierzchniach płaskich dowolnych obiektów, w tym urządzeniach i mikrourządzeniach elektrycznych, na dachach i elewacjach budynków, na karoseriach samochodów i na kadłubach statków powietrznych. Cechą charakterystyczną konstrukcji panelu jest uniezależnienie gęstości generowanego prądu od pojemności elektrycznej, co umożliwia szerokie i niezależne skalowanie mocy urządzenia i ilości magazynowanej energii, a przez to łatwe dostosowanie konstrukcji do różnych zastosowań.

Urządzenie znajduje zastosowanie jako przenośne, mobilne bądź stacjonarne źródło i magazyn prądu oraz źródło ciepła i jest zdolne do akumulacji energii w okresie dostępu do jego źródła, np. energii odnawialnej światła słonecznego lub nadwyżki energii elektrycznej z sieci elektroenergetycznej, a następnie uwalniania zmagazynowanej energii w formie prądu elektrycznego w okresie jego zapotrzebowania. W szczególności, panel znajduje zastosowanie do zasilania w energię elektryczną i ciepłą przydomowych prosumenckich instalacji energetycznych małej skali, jak również elektrociepłowni średniej i dużej skali. Ponadto, system znajduje zastosowanie do stabilizacji i zrównoważenia zapotrzebowania z produkcją prądu elektrycznego w sieciach elektroenergetycznych, a także jako źródło paliwa (naładowanego elektrycznie elektrolitu) dla elektromobilności – pojazdów elektrycznych oraz elektrycznych statków powietrznych, a także awaryjnych generatorów prądu.

Konwersja energii odnawialnej na możliwą do zmagazynowania jej formę oraz konwertery i nośniki energii stanowią intensywnie rozwijaną dziedzinę nauki i techniki. Przykładowo, baterie i akumulatory wykorzystywane są do magazynowania energii elektrochemicznej, biopaliwa jako nośniki energii biochemicznej, ogniwa solarne do bezpośredniej konwersji promieniowania świetlnego na prąd elektryczny, ciepło przemian fazowych do gromadzenia energii cieplnej, a koła zamachowe do magazynowania energii mechanicznej. Urządzenia te choć obecne w makroskali, często bazują na zjawiskach mikroskalowych takich jak dyfuzja, transport jonów, czy reakcje powierzchniowe, przez co ich efektywność wzrasta dzięki wykorzystaniu technik mikrofluidalnych przy ich konstrukcji. Mikrofluidyka poza miniaturyzacją urządzeń energetycznych, zapewnia wysoki stosunek powierzchni do objętości układu, nawet dziesięciokrotnie wyższe wartości gęstości strumieni ciepła i masy oraz precyzyjną kontrolę natężeń przepływów. Prowadzi to do wzrostu sprawności mikrofluidalnych urządzeń energetycznych w stosunku do ich klasycznych odpowiedników (*S. Kok et al., Advances in Microfluidic Technologies for Energy Storage and Release Systems, Advanced Energy and Sustainability Research, 3, 10, 2022, pp. 2200060*).

Obecnie najszerzej wykorzystywane ogniwa fotowoltaiczne wykonane na bazie warstw krzemu mono- i polikrystalicznego, odpowiadające za 95% sprzedaży, cechują się maksymalnie 25%-ową

sprawnością konwersji energii promieniowania słonecznego w zakresie widzialnym obejmującym jedynie 50% energii słonecznej docierającej do ziemi, na niskonapięciowy prąd stały, która to sprawność dodatkowo maleje ze wzrostem temperatury oraz spadkiem intensywności i równomierności oświetlenia powierzchni ogniwa. Koszt produkcji ogniwa krzemowego wynosi około 230 \$/m² (*NREL chart, Best Research-Cell Efficiencies, 2022, <https://www.nrel.gov/pv/assets/pdfs/best-research-cell-efficiencies-rev220630.pdf>*) i jest konsekwencją wysokiej energochłonności i złożoności metod produkcji krystalicznego krzemu o wysokiej czystości. Do głównych wad krzemowych ogniw fotowoltaicznych, poza niską sprawnością energetyczną oraz wysoką ceną, zaliczyć można również niedostosowany do zapotrzebowania, okresowy charakter produkcji energii, zależny od chwilowych warunków nasłonecznienia. Z tego też względu poszukuje się alternatywnych dla ogniw krzemowych rozwiązań obniżających koszty i podwyższających sprawność pozyskania, konwersji i magazynowania energii słonecznej.

Z patentu CN101958194B znana jest mikrofluidalna komórka fotowoltaiczna będąca połączeniem ogniwa solarnego typu DSSC (*ang. dye-sensitized solar cell*) i urządzenia mikrofluidalnego. Urządzenie jest zbudowane w ten sposób, że cienka warstwa półprzewodnika nano-TiO₂ uczulanego fotosensybilizatorem jest umieszczona pomiędzy obszarem przewodzącym ujemnego bieguna ogniwa – fotoanody, a przewodzącym obszarem dodatniego bieguna ogniwa – przeciwelektrody, które to elektrody połączone są za pomocą mikrokanalów z dwoma zbiornikami bezwodnego elektrolitu odpowiedzialnego za utlenienie wzbudzonej formy fotosensybilizatora w reakcji redoks. Zbiorniki połączone są wzajemnie za pomocą mikrokanalu i tworzą z komórką ogniwa pętlę cyrkulacyjną, w której cyrkulacja cieczy wymuszana jest za pomocą pompy elektroosmotycznej. Mikrofluidalne ogniwo słoneczne może realizować cyrkulację i uzupełnianie ciekłego elektrolitu w ogniwie słonecznym pod wpływem siły podnoszenia pompy elektroosmotycznej, co rozwiązuje problem awarii ogniwa spowodowany utratą elektrolitu i pozwala wydłużyć żywotność ogniwa. Z kolei, z patentu CN106783190B znane jest cyrkularne ogniwo fotowoltaiczne typu DSSC z przepływem elektrolitu, który to przepływ ogranicza niekorzystny efekt wtórnej rekombinacji zredukowanych form jonów obecnych w elektrolicie na powierzchni powleczonej filmem fotoanody poprzez intensyfikację transportu masy w jego obrębie. W efekcie obserwowany jest wzrost sprawności ogniwa. Konstrukcja obydwu ogniw nie umożliwia magazynowania energii elektrycznej oraz ciepłej w układzie lub poza jego obrębem, a absorpcja promieniowania świetlnego w ogniwach możliwa jest w zakresie światła widzialnego, co ogranicza sprawność urządzeń.

Z patentu CN104916884B znany jest optyczny akumulator elektrochemiczny, w którym podczas ładowania przebiega fotoelektrochemiczna reakcja utleniania jonów wanadu na powierzchni półprzewodnikowej anody oraz reakcja redukcji jonów wanadu na powierzchni katody, a energia elektryczna magazynowana jest w ciekłym elektrolicie. Akumulator zbudowany jest z dwóch celek elektrochemicznych oddzielonych membraną kationowymienną, w których umieszczone zostały fotoelektrody typu p i n. Celki elektrochemiczne wypełnione są kationitem (elektrolit dodatni) i anionitem (elektrolit ujemny) oraz połączone ze zbiornikami elektrolitów, których cyrkulację wymuszają pompy. Ponadto, ze zgłoszenia patentowego CN109216742A znany jest przepływowy akumulator redoks, który bezpośrednio wykorzystuje energię słoneczną do ładowania elektrolitu. Układ zbudowany jest z dwóch przepływowych komór reakcyjnych oddzielonych membraną jonoselektywną, w których to komorach umieszczone zostały kolektory prądu oraz fotoanoda wykonana z uczulanego fotosensybilizatorem półprzewodnika nano-TiO₂. Bezwodne elektrolity tłoczone są za pomocą pomp ze zbiorników obiegowych do odpowiednich komór reakcyjnych, po czym zawracane są z powrotem do zbiorników. Akumulator umożliwia bezpośrednią konwersję promieniowania z zakresu światła widzialnego na energię elektrochemiczną i jej magazynowanie, a następnie konwersję energii elektrochemicznej na prąd stały niskonapięciowy. Konstrukcja obydwu akumulatorów oparta jest na klasycznych celkach elektrochemicznych i nie ma formy panelu fotowoltaicznego umożliwiającej montaż na dowolnych płaskich powierzchniach, w tym powierzchniach obiektów mobilnych, nie zapewnia też wysokich wartości strumieni ciepła i masy przenoszonych pomiędzy elektrodami, tak jak ma to miejsce w układach mikrofluidalnych. Ponadto urządzenia te nie zapewniają efektywnego pochłaniania promieniowania świetlnego w całym zakresie częstotliwości promieniowania słonecznego, a następnie jego konwersji z wysoką efektywnością na energię elektryczną i ciepłą.

Z patentu EP3375017B1 (US11189432B2) znany jest mikrofluidalny układ elektryczny do konwersji energii słonecznej w prąd elektryczny, z przeznaczeniem do zasilania w energię elektronicznych urządzeń przenośnych. Układ wykorzystuje celki fotoelektrochemiczne oraz efekt powierzchniowego rezonansu plazmonowego (SPR) obiektów w nanoskali, takich jak druty, cząstki lub włókna dla zwiększenia sprawności elektrycznej układu fotowoltaicznego. Urządzenie zbudowane jest z centralnego mikrokanalu z rozmiesz-

czonymi po bokach elektrodami, parami wykonanymi z przewodnika metalicznego np. Cu oraz półprzewodnika z tlenku metalu np. Cu_2O , w którym to kanale przepływa wodny roztwór soli nieorganicznej np. NaCl z zawieszoną nanocząsteczką złota. Układ cechuje się bardzo małymi wartościami generowanych prądów oraz niewielką sprawnością elektryczną, co limituje jego wykorzystanie w praktyce.

Ze zgłoszenia patentowego PL426398A1 znana jest konstrukcja panelu fotowoltaicznego zintegrowanego z podzespołem termoelektrycznym, korzystnie ogniwnem Peltiera, a z patentu PL203881B1 konstrukcja fotoogniwa zintegrowanego z kolektorem ciepła słonecznego. Urządzenia te umożliwiają jednoczesne wytwarzanie prądu i pobieranie ciepła z promieniowania słonecznego, jednak nie umożliwiają magazynowania energii elektrycznej.

Żadne ze znanych rozwiązań konstrukcyjnych paneli fotowoltaicznych nie zapewnia jednocześnie wysokiej efektywności konwersji promieniowania słonecznego lub prądu elektrycznego na energię elektrochemiczną i ciepło użytkowe oraz ich magazynowania w cieczach roboczych, a następnie ich uwalniania w odpowiedzi na ich zapotrzebowanie i nie jest urządzeniem w formie mikrofluidalnego panelu energetycznego zapewniającego wszystkie w/w funkcje jednocześnie przy zachowaniu kompaktowych rozmiarów umożliwiających jego montaż na obiektach budowlanych i urządzeniach elektrycznych, w tym mikrourządzeniach i pojazdach elektrycznych, a przy tym nie umożliwia wymiany ciekłego, regenerowalnego elektrochemicznego nośnika energii elektrycznej oraz jego ładowania i rozładowania elektrycznego. Celem opracowanego wynalazku było opracowanie nowego urządzenia, które rozwiązałoby powyżej wskazane problemy.

Istotą wynalazku jest wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny z magazynem energii, charakteryzujący się tym, że składa się z co najmniej jednego mikrofluidalnego ogniwa fotowoltaicznego, obudowy panelu oraz co najmniej jednego dwubiegunowego przyłącza elektrycznego panelu, a mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne składa się z mikroprzepływowej fotokomórki elektrochemicznej złożonej z zespołu celek elektrochemicznych oraz podzielnika elektrolitów, a także mikrofluidalnego wymiennika mediów, co najmniej dwóch mikropomp cyrkulacyjnych oraz przyłączy hydraulicznych mediów; przy czym mikrofluidalny wymiennik mediów składa się z mikrowymiennika aniolitu, mikrowymiennika katiolitu oraz mikrowymiennika przekaźnika ciepła, a zespół celek elektrochemicznych jest złożony z dwóch elektrod – cienkowarstwowej fotoanody i przeciwelektrody, połączonych warstwą dystansową przeciwelektrody i warstwą dystansową fotoanody z membraną jonoselektywną oraz zespołu kolektorów prądu fotoanody złożonego z mikrostrukturyzowanych kolektorów prądu fotoanody i zespołu kolektorów prądu przeciwelektrody złożonego z mikrostrukturyzowanych kolektorów prądu przeciwelektrody rozmieszczonymi po obu stronach membrany jonoselektywnej, które to kolektory prądu są zestawione razem z elektrodami bez przerwy elektrycznej w stos, a cienkowarstwowa fotoanoda i przeciwelektroda są połączone elektrycznie za pomocą ścieżek elektroprzewodzących fotoanody oraz ścieżek elektroprzewodzących przeciwelektrody odpowiednio z kontaktami elektrycznymi fotoanody i kontaktami elektrycznymi przeciwelektrody; ponadto cienkowarstwowa fotoanoda zbudowana jest z warstwy szklanej fotoanody z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd fotoanody, na którą naniesiona została ścieżka elektroprzewodząca fotoanody, warstwa blokująca oraz co najmniej jedna warstwa nanoporowata, a także posiada co najmniej jeden kontakt elektryczny fotoanody na bocznej ścianie; a przeciwelektroda zbudowana jest z tafli szkła z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd przeciwelektrody na którą naniesiona została ścieżka elektroprzewodząca przeciwelektrody i posiada co najmniej jeden kontakt elektryczny przeciwelektrody na bocznej ścianie; podczas gdy mikrowymiennik aniolitu zbudowany jest z komory mikroprzepływowej mikrowymiennika aniolitu wyposażonej w przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika aniolitu oraz wlot wewnętrzny obiegu aniolitu i wewnętrzny obieg aniolitu oraz wlot zewnętrzny obiegu aniolitu i wylot zewnętrznego obiegu aniolitu; a mikrowymiennik katiolitu zbudowany jest z komory mikroprzepływowej mikrowymiennika katiolitu wyposażonej w przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika katiolitu oraz wlot wewnętrzny obiegu katiolitu i wylot wewnętrzny obiegu katiolitu, a także wlot zewnętrzny obiegu katiolitu i wylot zewnętrznego obiegu katiolitu; a mikrowymiennik przekaźnika ciepła zbudowany jest z komory mikroprzepływowej mikrowymiennika przekaźnika ciepła wyposażonej w przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika przekaźnika ciepła oraz wlot zewnętrzny obiegu przekaźnika ciepła i wylot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła; przy czym obwód hydrauliczny wewnętrznego obiegu aniolitu w mikrofluidalnym ogniwie fotowoltaicznym tworzy mikrowymiennik aniolitu połączony za pomocą wertykalnych kanałów mikropompy aniolitu i wertykalnych kanałów powrotu aniolitu z mikropompą cyrkulacyjną aniolitu oraz kolektorem prądu fotoanody, a obwód hydrauliczny wewnętrznego obiegu katiolitu w mikrofluidalnym ogniwie fotowolta-

icznym tworzy mikrowymiennik katiolitu połączony za pomocą wertykalnych kanałów mikropompy katiolitu i wertykalnych kanałów powrotu katiolitu z mikropompą cyrkulacyjną katiolitu oraz kolektorem prądu przeciwelektrody; podczas gdy podzielnik elektrolitów jest zespołem podzielnika katiolitu i podzielnika aniolitu, warstwy przejściowej podzielnika aniolitu oraz warstwy przejściowej podzielnika katiolitu, a od góry zamknięty jest przeciwelektrodą, przy czym podzielnik katiolitu zawiera mikrokanały podzielnika katiolitu połączone z kolektorami prądu przeciwelektrody poprzez wertykalne kanały podzielnika katiolitu, a podzielnik aniolitu zawiera mikrokanały podzielnika aniolitu połączone z kolektorami prądu fotoanody poprzez wertykalne kanały podzielnika aniolitu.

Korzystnie zespół celek elektrochemicznych jest zespołem co najmniej dwóch celek.

Korzystnie mikropompy cyrkulacyjne aniolitu i katiolitu są pompami piezoelektrycznymi.

Korzystnie mikropompy cyrkulacyjne aniolitu i katiolitu są połączone elektrycznie z dwubiegowymi przyłączami elektrycznymi panelu za pomocą izolowanych przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu i mikropompy katiolitu przebiegających w kanałach przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu i mikropompy katiolitu.

Korzystnie nanoporowate warstwy uczulane są fotosensybilizatorem, korzystnie organicznym związkami rutenu, najkorzystniej ruthenizacją 535-bisTBA (N719).

Korzystnie nanoporowate warstwy są impregnowane, najkorzystniej 5% roztworem nafionu w wyższych alkoholach alifatycznych.

Korzystnie nanoporowate warstwy są wykonane z niestechiometrycznej mieszaniny nanokrystalicznego tlenku tytanu (IV) i (III) w stosunku wagowym 1:10.

Korzystnie celki zespołu celek elektrochemicznych są wzajemnie połączone elektrycznie za pomocą ścieżek elektroprzewodzących fotoanody i przeciwelektrody oraz hydraulicznie za pomocą wertykalnych kanałów podzielnika katiolitu i podzielnika aniolitu oraz mikrokanalów podzielnika katiolitu i podzielnika aniolitu.

Korzystnie kolektory prądu fotoanody i przeciwelektrody wykonane są z hydrofilowej tkaniny węglowej lub hydrofilowego filcu węglowego.

Korzystnie w kolektorze prądu fotoanody wykonano sieć mikrokanalów rozpraszających aniolit.

Korzystnie w kolektorze prądu przeciwelektrody wykonano sieć mikrokanalów rozpraszających katiolit.

Korzystnie mikrokanały są rozłożone równomiernie na całej powierzchni kolektorów prądu fotoanody i przeciwelektrody i przyjmują układ jodełki.

Korzystnie na powierzchnię kolektorów prądu fotoanody i przeciwelektrody jest naniesiony katalizator platynowy, najkorzystniej czerń platynowa w ilości od 0,01 do 0,1 g/cm².

Korzystnie ścieżki elektroprzewodzące wykonane są z fryty szklanej zmieszanej z nanocząstkami srebra w stosunku wagowym od 1:1 do 1:10.

Korzystnie fotoanoda i przeciwelektroda wykonane są z wykorzystaniem tafli szkła sodowego lub borokrzemowego.

Korzystnie transparentna warstwa przewodząca prąd fotoanody i przeciwelektrody wykonana jest z tlenku cyny (IV) domieszkowanego fluorem lub indem.

Korzystnie warstwa blokująca wykonana jest z nanokrystalicznego, nieporowatego tlenku tytanu (IV).

Korzystnie cienkowarstwowa fotoanoda składa się z od jednej do dziesięciu półprzewodnikowych tlenkowych warstw nanoporowatych nałożonych jedna na drugą.

Korzystnie membrana jonoselektywna wykonana jest z folii nafionu.

Korzystnie warstwy dystansowe przeciwelektrody i fotoanody wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego lub kleju akrylowego na nośniku.

Korzystnie mikrowymienniki aniolitu, katiolitu i przekaźnika ciepła wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego lub kleju akrylowego na nośniku.

Korzystnie podzielniki aniolitu i katiolitu wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego lub kleju akrylowego na nośniku.

Korzystnie komory mikroprzepływowe mikrowymiennika aniolitu, katiolitu i przekaźnika ciepła mają głębokość równą wysokości warstwy na której zostały wykonane.

Przedmiot wynalazku przedstawiony jest bliżej w przykładach wykonania oraz na rysunku na którym:

fig. 1 przedstawia panel fotowoltaiczny zawierający jedno mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne,

fig. 2 przedstawia w widoku eksplodowanym układ zespołów panelu fotowoltaicznego zawierającego jedno mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne,

fig. 3 przedstawia w widoku eksplodowanym układ warstw mikroprzepływowej fotokomórki elektrochemicznej złożonej z zespołu szesnastu mikroprzepływowych celek elektrochemicznych oraz podzielnika elektrolitów.

fig. 4 przedstawia w widoku eksplodowanym cienkowarstwową fotoanodę,

fig. 5 przedstawia w widoku eksplodowanym zespół mikrofluidalnego wymiennika mediów.

Przykład 1

Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny o wymiarach całkowitych 100/100/40 mm (dł./szer./wys.) został przedstawiony na fig. 1, a układ zespołów panelu w widoku eksplodowanym na fig. 2. Panel jest urządzeniem mikroprzepływowym będącym nierozłącznym zespołem mikrofluidalnego ogniwa fotowoltaicznego 1 o wymiarach 80/80/40 mm (dł./szer./wys.), obudowy panelu 2, złożonej z czterech ścian, o wysokości 20 mm, grubości 3 mm oraz długości i szerokości dopasowanej do rozmiarów ogniwa fotowoltaicznego oraz czterech dwubiegunowych przyłączy elektrycznych panelu 3 w formie trzpieni o średnicy 0,5 mm i długości 10 mm rozlokowanych symetrycznie na bocznych ścianach panelu i połączonych elektrycznie z kontaktami elektrycznymi fotoanody 4a i przeciwelektrody 4b.

Mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne 1 składa się z mikroprzepływowej fotokomórki elektrochemicznej 5 o całkowitej wysokości 9,3 mm oraz długości i szerokości dopasowanej do rozmiarów ogniwa, zespołu mikrofluidalnego wymiennika mediów 6 o całkowitej wysokości 9,6 mm oraz długości i szerokości dopasowanej do rozmiarów ogniwa, sześciu przyłączy hydraulicznych 7a-f w formie szybkozłącza węża o średnicy 5 mm oraz cyrkulacyjnej mikropompy piezoelektrycznej aniolitu 8a i cyrkulacyjnej mikropompy piezoelektrycznej katiolitu 8b, każda o wymiarach 12/14/1,5 mm i regulowanym przepływie w zakresie 0–100 ml/min. Mikropompa cyrkulacyjna aniolitu 8a i mikropompa cyrkulacyjna katiolitu 8b połączone są elektrycznie odpowiednio z kontaktami elektrycznymi fotoanody 4a i kontaktami elektrycznymi przeciwelektrody 4b za pomocą izolowanych przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu 9a i izolowanych przewodów elektrycznych mikropompy katiolitu 9b przebiegających odpowiednio w kanałach przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu 10a i kanałach przewodów elektrycznych mikropompy katiolitu 10b w obrębie ogniwa fotowoltaicznego 1.

Na rysunku fig. 3 przedstawiono w widoku eksplodowanym układ warstw mikroprzepływowej fotokomórki elektrochemicznej 5 złożonej z zespołu szesnastu mikroprzepływowych celek elektrochemicznych 60, o sumarycznym polu powierzchni aktywnej 400 mm² oraz podzielnika elektrolitów 61.

Podzielnik elektrolitów 61 jest zespołem podzielnika katiolitu 62 i podzielnika aniolitu 63 wykonanych na warstwach mikrofluidalnych wykonanych z błony klejowej na nośniku poliestrowym o grubości 0,5 mm, warstwy przejściowej podzielnika aniolitu 64 i warstwy przejściowej katiolitu 65 wykonanych z tafli szkła sodowego o grubości 2,3 mm, a od góry zamknięty jest przeciwelektrodą 16. Podzielnik katiolitu 62 zawiera mikrokanały podzielnika katiolitu 66 o szerokości 0,5 mm dzielące strumień katiolitu na szesnastcie równych części oraz doprowadzające i odprowadzające katiolit do/z każdego z szesnastu kolektorów prądu przeciwelektrody 19 poprzez wertykalne kanały podzielnika katiolitu 68 o średnicy 0,5 mm. Podobnie, podzielnik aniolitu 63 zawiera mikrokanały podzielnika aniolitu 67 o szerokości 0,5 mm dzielące strumień aniolitu na szesnastcie równych części oraz doprowadzające i odprowadzające aniolit do/z każdego z szesnastu kolektorów prądu fotoanody 12 poprzez wertykalne kanały podzielnika aniolitu 69 o średnicy 0,5 mm.

Zespół szesnastu mikroprzepływowych celek elektrochemicznych 60 zbudowany jest z cienkowarstwowej fotoanody 11 o całkowitej długości i szerokości dopasowanej do rozmiarów ogniwa, szesnastu mikrostrukturyzowanych kolektorów prądu fotoanody 12, każdy o wymiarach 5,8/8,4/0,5 mm (dł./szer./gr.) dopasowanych do wewnętrznej krawędzi otworów w warstwie dystansowej fotoanody 25, wykonanych z tkaniny węglowej impregnowanej czernią platynową w ilości 0.01 g/cm², w których wykonane zostały mikrokanały aniolitu 13 o szerokości 0,5 mm rozprowadzające aniolit w obrębie kolektora prądu fotoanody 12 od wlotu mikrokanalu aniolitu 14 do wylotu mikrokanalu aniolitu 15; przeciwelektrody 16 wykonanej z tafli szkła sodowego o grubości 2,3 mm o wymiarach dopasowanych do długości i szerokości ogniwa z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd przeciwelektrody 17 z nanokryształicznego tlenku cyny (IV) domieszkowanego fluorem (FTO) o grubości 0,8 mikrometrów oraz z naniesionym układem siedmiu równoległych ścieżek elektroprzewodzących przeciwelektrody 18 o szerokości 1,5 mm wzajemnie odległych o 10 mm i połączonych połączonymi na obu końcach; szesnastu mikrostrukturyzowanych kolektorów prądu przeciwelektrody 19, każdy o wymiarach 5,8/8,4/0,5 mm (dł./szer./gr.) dopasowanych do wewnętrznych krawędzi otworów warstwy dystansowej przeciwelektrody 24, wykonanych z filcu węglowego impregnowanego czernią platynową w ilości 0,1 g/cm², w których wykonane zostały mikrokanały katiolitu 20 o szerokości 0,5 mm rozprowadzające katiolit w obrębie

kolektora prądu przeciwelektrody 19 od wlotu mikrokanalu katiolitu 21 do wylotu mikrokanalu katiolitu 22. Zespół kolektora prądu fotoanody 70 oraz zespół kolektora prądu przeciwelektrody 71 oddzielone są membraną jonoselektywną 23 przepuszczalną dla jonów wodorowych i nieprzewodzącą prądu, o wymiarach 80/80/0.025 mm (dł./szer./gr.) wykonaną z nafionu N211. Membrana jonoselektywna 23 została połączona z cienkowarstwową fotoanodą 11 oraz przeciwelektrodą 16 odpowiednio za pomocą warstwy dystansowej fotoanody 25 oraz warstwy dystansowej przeciwelektrody 24, wykonanych z kleju akrylowego na nośniku z polimetakrylanu metylu, o grubości 0,5 mm, w sposób nierozłączny.

Na rysunku fig. 4 w widoku eksplodowanym został przedstawiony układ warstw cienkowarstwowej fotoanody 11. Cienkowarstwową fotoanodą 11 zbudowaną jest z warstwy szklanej fotoanody 28 wykonanej z tafli szkła sodowego o grubości 2,3 mm z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd fotoanody 29 z nanokrystalicznego tlenku cyny (IV) domieszkowanego fluorem (FTO) o grubości 0,8 mikrometrów, na którą naniesiono ścieżkę elektroprzewodzącą fotoanody 30 wykonaną z mieszaniny fryty szklanej z nanocząstkami srebra w stosunku wagowym 1:10 o grubości 20 mikrometrów i szerokości 3 mm łączącą elektrycznie transparentną warstwę przewodzącą prąd fotoanody 29 z kontaktem elektrycznym fotoanody 4a o wymiarach 2,3/6 mm (dł./szer.). Na transparentną warstwę przewodzącą prąd fotoanody 29 poza obrębem ścieżki elektroprzewodzącej fotoanody 30 naniesiona jest nieporowata warstwa blokująca 31 o grubości 2 mikrometrów wykonana z nanokrystalicznego tlenku tytanu (IV). Na warstwę blokującą 31 w obszarze 30/30 mm, osiowosymetrycznie naniesionych jest kolejno pięć nanoporowatych warstw 32 jedna na drugą, każda o grubości 3 mikrometrów. Warstwy nanoporowate 32 wykonane są z niestechiometrycznej mieszaniny nanokrystalicznego tlenku tytanu (IV) i (III) w stosunku wagowym 10:1 i uczulone fotosensybilizatorem 535-bisTBA (N719) poprzez jego adsorpcję z 0.01M alkoholowego roztworu fotosensybilizatora i impregnowane 5% wag. roztworem nafionu w wyższych alkoholach alifatycznych.

Na rysunku fig. 5 w widoku eksplodowanym został przedstawiony układ warstw mikrofluidalnego wymiennika mediów 6. Mikrofluidalny wymiennik mediów 6 zbudowany jest z mikrowymiennika aniolitu 33, mikrowymiennika katiolitu 34 oraz mikrowymiennika przekaźnika ciepła 35 znajdujących się na warstwach mikrofluidalnych o grubości 1 mm wykonanych z błony kleju akrylowego naniesionego dwustronnie na nośnik z poliwęglanu, a także warstw przejściowych mikrowymiennika aniolitu 36 i mikrowymiennika katiolitu 37 oraz podstawy ogniwa 38, wykonanych z tafli szkła sodowego o grubości 2,3 mm oraz długości i szerokości dopasowanej do wymiarów ogniwa. Mikrowymiennik aniolitu 33 posiada komorę mikroprzepływową mikrowymiennika aniolitu 39 w formie meandrującego mikrokanalu o szerokości 4 mm oraz pięć przegród mieszalnikowych mikrowymiennika aniolitu 40 zapewniających hydrodynamiczne przemieszanie strumienia aniolitu, a ponadto mikrowymiennik aniolitu 33 posiada wlot wewnętrznego obiegu aniolitu 41, wlot zewnętrznego obiegu aniolitu 42, wylot wewnętrznego obiegu aniolitu 43 oraz wylot zewnętrznego obiegu aniolitu 44. Mikrowymiennik katiolitu 34 posiada komorę mikroprzepływową mikrowymiennika katiolitu 45 w formie meandrującego mikrokanalu o szerokości 4 mm oraz pięć przegród mieszalnikowych mikrowymiennika katiolitu 46 zapewniających hydrodynamiczne przemieszanie strumienia katiolitu, a ponadto mikrowymiennik katiolitu 34 posiada wlot wewnętrznego obiegu katiolitu 47, wlot zewnętrznego obiegu katiolitu 48, wylot wewnętrznego obiegu katiolitu 49 oraz wylot zewnętrznego obiegu katiolitu 50. Mikrowymiennik przekaźnika ciepła 35 posiada komorę mikroprzepływową mikrowymiennika przekaźnika ciepła 51 w formie meandrującego mikrokanalu o szerokości 6 mm oraz trzy przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika przekaźnika ciepła 52 zapewniające hydrodynamiczne przemieszanie strumienia przekaźnika ciepła. Mikrowymiennik przekaźnika ciepła 35 posiada wlot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła 53 oraz wylot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła 54.

Obwód hydrauliczny wewnętrznego obiegu aniolitu w ogniwie tworzy mikrowymiennik aniolitu 33 połączony hydraulicznie za pomocą wertykalnych kanałów mikropompy aniolitu 55 o średnicy 1,5 mm i wertykalnych kanałów powrotu aniolitu 26 o średnicy 1,5 mm, z mikropompą piezoelektryczną aniolitu 8a oraz kolektorem prądu fotoanody 12. Obwód hydrauliczny wewnętrznego obiegu katiolitu tworzy mikrowymiennik katiolitu 34 połączony hydraulicznie za pomocą wertykalnych kanałów mikropompy katiolitu 56 o średnicy 1,5 mm i wertykalnych kanałów powrotu katiolitu 27 o średnicy 1,5 mm z mikropompą cyrkulacyjną katiolitu 8b oraz kolektorem prądu przeciwelektrody 19.

Elementy obudowy panelu 2 zostały połączone z bocznymi ścianami ogniwa za pomocą kleju epoksydowego chemoutwardzalnego, który uszczelnia i trwale łączy warstwy ogniwa.

Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny działa w ten sposób, że promieniowanie słoneczne pada od góry na mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne 1. W wyniku oddziaływa-

nia kwantów promieniowania świetlnego z zakresu światła widzialnego z sensybilizatorem zaadsorbowanym na powierzchni warstw nanoporowatych 32 oraz bezpośrednio z tlenkiem tytanu (III) w przypadku promieniowania z zakresu podczerwieni, następuje uwolnienie elektronu swobodnego e^- do pasma przewodnictwa półprzewodnika TiO_2 z jednoczesnym wytworzeniem dziury elektronowej h^- lub uwolnienie energii cieplnej. Ciepło przewodzone jest przez warstwy ogniwa i odbierane w mikrowymienniku przekaźnika ciepła 35. Swobodny elektron przewodzony jest przez transparentną warstwę przewodząca prąd fotoanody 29 i ścieżkę elektroprowadzącą fotoanody 30 do kontaktów elektrycznych fotoanody 4a i przyłącza elektrycznego panelu 3, podczas gdy dziura elektronowa reaguje z jonami wanadu (IV) obecnymi w aniolicie, utleniając je do wanadu (V) przy jednoczesnym przejściu przez membranę jonoselektywną 23 do katiolitu jonu wodorowego i tym samym następuje ładowanie elektryczne. Podczas rozładowania elektrycznego jony wodoru poruszają się przez membranę jonoselektywną 23 w przeciwnym kierunku, a jony wanadu w aniolicie ulegają redukcji z (V) do (IV) stopnia utlenienia przyjmując swobodny elektron z kolektora prądu fotoanody 12, który to elektron przewodzony jest w cienkowarstwowej fotoanodzie 11 do warstw nanoporowatych 32 z warstwy elektroprowadzącej 29 poprzez ścieżkę elektroprowadzącą 30 od kontaktów elektrycznych fotoanody 4a i przyłączy elektrycznych panelu 3. Podczas ładowania elektrycznego swobodny elektron poprzez przyłącze elektryczne panelu 3 i kontakt elektryczny przeciwelektrody 4b dopływa do przeciwelektrody 16, a następnie poprzez ścieżkę elektroprowadzącą przeciwelektrody 18 oraz transparentną warstwę przewodzącą prąd przeciwelektrody 17 przepływa do kolektora prądu przeciwelektrody 19, gdzie następuje redukcja obecnych w katiolicie jonów wanadu (IV) do (III). Podczas rozładowania elektrycznego procesy elektrochemiczne i przepływ ładunku jest odwrócony. Podczas ładowania i rozładowania elektrycznego przepływ elektrolitów z natężeniem 50 ml/min w obrębie mikroprzepływowej fotokomórki elektrochemicznej 5 zapewnia mikropompa cyrkulacyjna aniolitu 8a i mikropompa cyrkulacyjna katiolitu 8b. Elektrolity cyrkulujące w obiegu wewnętrznym ogniwa podczas przepływu przez mikrowymiennik aniolitu 33 i mikrowymiennik katiolitu 34 są wymieniane z elektrolitami cyrkulującymi w obiegu zewnętrznym. Przekaznik ciepła podczas przepływu przez mikrowymiennik przekaźnika ciepła 35 odbiera ciepło z ogniwa 1, co zapewnia utrzymanie optymalnej temperatury pracy ogniwa poniżej $50^\circ C$.

Napięcie ogniwa wynosi 0,47 V, moc solarna 0,07 W, a maksymalna moc elektryczna 0,014 W. Sprawność konwersji promieniowania słonecznego na energię elektryczną wynosi 16%, na energię cieplną 84%.

Kierunek zachodzących przemian w ogniwie zależy od różnicy potencjałów na przyłączach elektrycznych ogniwa, która zależy od warunków nasłonecznienia, stopnia naładowania elektrolitów oraz poboru prądu lub przyłożenia nadnapięcia na przyłączach elektrycznych panelu 3. Układ magazynuje energię elektryczną w ciekłych elektrolitach gdy pobór prądu jest mniejszy niż moc solarna panelu lub przyłożone jest nadnapięcie na przyłączach panelu 3, a elektrolity są nie w pełni naładowane. Układ dostarcza energii elektrycznej zmagazynowanej w naładowanych elektrolitach gdy moc solarna panelu jest mniejsza od chwilowego zapotrzebowania na energię elektryczną i w ten sposób stabilizuje pracę sieci elektroenergetycznej do której jest podłączony. Naładowane elektrolity wykorzystywane są jako regenerowalne źródło energii elektrycznej w urządzeniach mobilnych.

Przykład 2

Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny jest wykonany w sposób opisany w przykładzie 1 z tą różnicą, że cienkowarstwowa fotoanoda 11 zbudowana jest z tafli szkła borokrzemowego o grubości 1,3 mm z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd fotoanody 29 wykonaną z nanokrystalicznego tlenku cyny (IV) domieszkowanego indem (ITO) o grubości 0,5 mikrometra, a przeciwelektroda 16 zbudowana jest z tafli szkła borokrzemowego o grubości 1,3 mm z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd przeciwelektrody 17 wykonaną z nanokrystalicznego tlenku cyny (IV) domieszkowanego indem (ITO) o grubości 0,5 mikrometra. Podzielnik elektrolitów 61 jest zespołem podzielnika katiolitu 62 i podzielnika aniolitu 63 rozmieszczonych na warstwach mikrofluidalnych wykonanych z błony klejowej o grubości 0,2 mm oraz warstwy przejściowej podzielnika aniolitu 64 i warstwy przejściowej podzielnika katiolitu 65, wykonanych z tafli szkła borokrzemowego o grubości 1,3 mm. Warstwa dystansowa przeciwelektrody 24 oraz warstwa dystansowa fotoanody 25 wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego na nośniku z folii poliestrowej o grubości 0,09 mm. Mikrowymiennik aniolitu 33, mikrowymiennik katiolitu 34 oraz mikrowymiennik przekaźnika ciepła 35 wykonane są kleju akrylowego na nośniku z pianki akrylowej o grubości 1 mm.

Zastrzeżenia patentowe

1. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny z magazynem energii, **znamienny tym**, że składa się z co najmniej jednego mikrofluidalnego ogniwa fotowoltaicznego (1), obudowy panelu (2) oraz co najmniej jednego dwubiegunowego przyłącza elektrycznego panelu (3), a mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne (1) składa się z mikroprzepływowej fotokomórki elektrochemicznej (5) złożonej z zespołu celek elektrochemicznych (60) oraz podzielnika elektrolitów (61), a także mikrofluidalnego wymiennika mediów (6), co najmniej dwóch mikropomp cyrkulacyjnych (8a-b) oraz przyłączy hydraulicznych mediów (7a-f); przy czym mikrofluidalny wymiennik mediów (6) składa się z mikrowymiennika aniolitu (33), mikrowymiennika katiolitu (34) oraz mikrowymiennika przekaźnika ciepła (35), a zespół celek elektrochemicznych (60) jest złożony z dwóch elektrod – cienkowarstwowej fotoanody (11) i przeciwielektrody (16), połączonych warstwą dystansową przeciwielektrody (24) i warstwą dystansową fotoanody (25) z membraną jonoselektywną (23) oraz zespołu kolektorów prądu fotoanody (70) złożonego z mikrostrukturyzowanych kolektorów prądu fotoanody (12) i zespołu kolektorów prądu przeciwielektrody (71) złożonego z mikrostrukturyzowanych kolektorów prądu przeciwielektrody (19) rozmieszczonymi po obu stronach membrany jonoselektywnej (23), które to kolektory prądu są zestawione razem z elektrodami bez przerwy elektrycznej w stos, a cienkowarstwowa fotoanoda (11) i przeciwielektroda (16) są połączone elektrycznie za pomocą ścieżek elektroprowadzących fotoanody (30) oraz ścieżek elektroprowadzących przeciwielektrody (18) odpowiednio z kontaktami elektrycznymi fotoanody (4a) i kontakt elektryczny przeciwielektrody (4b); ponadto cienkowarstwowa fotoanoda (11) zbudowana jest z warstwy szklanej fotoanody (28) z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd fotoanody (29), na którą naniesiona została ścieżka elektroprowadząca fotoanody (30), warstwa blokująca (31) oraz co najmniej jedna warstwa nanoporowata (32), a także posiada co najmniej jeden kontakt elektryczny fotoanody (4a) na bocznej ścianie; a przeciwielektroda (16) zbudowana jest z tafli szkła z naniesioną transparentną warstwą przewodzącą prąd przeciwielektrody (17) na którą naniesiona została ścieżka elektroprowadząca przeciwielektrody (18) i posiada co najmniej jeden kontakt elektryczny przeciwielektrody (4b) na bocznej ścianie; podczas gdy mikrowymiennik aniolitu (33) zbudowany jest z komory mikroprzepływowej mikrowymiennika aniolitu (39) wyposażonej w przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika aniolitu (40) oraz wlot wewnętrznego obiegu aniolitu (41) i wewnętrznego obiegu aniolitu (43) oraz wlot zewnętrznego obiegu aniolitu (42) i wylot zewnętrznego obiegu aniolitu (44); a mikrowymiennik katiolitu (34) zbudowany jest z komory mikroprzepływowej mikrowymiennika katiolitu (45) wyposażonej w przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika katiolitu (46) oraz wlot wewnętrznego obiegu katiolitu (47) i wylot wewnętrznego obiegu katiolitu (49), a także wlot zewnętrznego obiegu katiolitu (48) i wylot zewnętrznego obiegu katiolitu (50); a mikrowymiennik przekaźnika ciepła (35) zbudowany jest z komory mikroprzepływowej mikrowymiennika przekaźnika ciepła (51) wyposażonej w przegrody mieszalnikowe mikrowymiennika przekaźnika ciepła (52) oraz wlot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła (53) i wylot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła (54); przy czym obwód hydrauliczny wewnętrznego obiegu aniolitu w mikrofluidalnym ogniwie fotowoltaicznym (1) tworzy mikrowymiennik aniolitu (33) połączony za pomocą wertykalnych kanałów mikropompy aniolitu (55) i wertykalnych kanałów powrotu aniolitu (26) z mikropompą cyrkulacyjną aniolitu (8a) oraz kolektorem prądu fotoanody (12), a obwód hydrauliczny wewnętrznego obiegu katiolitu w mikrofluidalnym ogniwie fotowoltaicznym (1) tworzy mikrowymiennik katiolitu (34) połączony za pomocą wertykalnych kanałów mikropompy katiolitu (56) i wertykalnych kanałów powrotu katiolitu (27) z mikropompą cyrkulacyjną katiolitu (8b) oraz kolektorem prądu przeciwielektrody (19); podczas gdy podzielnik elektrolitów (61) jest zespołem podzielnika katiolitu (62) i podzielnika aniolitu (63), warstwy przejściowej podzielnika aniolitu (64) oraz warstwy przejściowej podzielnika katiolitu (65), a od góry zamknięty jest przeciwielektrodą (16), przy czym podzielnik katiolitu (62) zawiera mikrokanaly podzielnika katiolitu (66) połączone z kolektorami prądu przeciwielektrody (19) poprzez wertykalne kanały podzielnika katiolitu (68), a podzielnik aniolitu (63) zawiera mikrokanaly podzielnika aniolitu (67) połączone z kolektorami prądu fotoanody (12) poprzez wertykalne kanały podzielnika aniolitu (69).

2. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zespół celek elektrochemicznych (60) jest zespołem co najmniej dwóch celek.
3. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mikropompy cyrkulacyjne aniolitu (8a) i mikropompy cyrkulacyjne katiolitu (8b) są pompami piezoelektrycznymi.
4. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mikropompy cyrkulacyjne aniolitu (8a) i mikropompy cyrkulacyjne katiolitu (8b) są połączone elektrycznie z dwubiegunowymi przyłączami elektrycznymi panelu (3) za pomocą izolowanych przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu (9a) i przewodów elektrycznych mikropompy katiolitu (9b) przebiegających odpowiednio w kanałach przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu (10a) i kanałach przewodów elektrycznych mikropompy katiolitu (10b).
5. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że warstwy nanoporowate (32) uczulane są fotosensybilizatorem.
6. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 5, **znamienny tym**, że fotosensybilizatorem jest organiczny związek rutenu.
7. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 6, **znamienny tym**, że organicznym związkiem rutenu wykorzystywanym jako fotosensybilizator jest ruthenizer 535-bisTBA (N719).
8. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że warstwy nanoporowate (32) są impregnowane.
9. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 8, **znamienny tym**, że impregnatem jest 5% roztwór nafionu w wyższych alkoholach alifatycznych.
10. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mieszanina nanokrystalicznego tlenku tytanu (IV) i (III) jest mieszaniną tlenku tytanu (IV) i (III) w stosunku wagowym 1:10.
11. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że celki zespołu celek elektrochemicznych (60) są wzajemnie połączone elektrycznie za pomocą ścieżek elektroprzewodzących fotoanody (30) oraz ścieżek elektroprzewodzących przeciwelektrody (18), a także hydraulicznie za pomocą wertykalnych kanałów podzielnika katiolitu (68) i wertykalnych kanałów podzielnika aniolitu (69) oraz mikrokanalów podzielnika katiolitu (66) i mikrokanalów podzielnika aniolitu (67).
12. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że kolektory prądu fotoanody (12) i kolektory prądu przeciwelektrody (19) wykonane są z hydrofilowej tkaniny węglowej lub hydrofilowego filcu węglowego.
13. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w kolektorze prądu fotoanody (12) wykonano sieć mikrokanalów aniolitu (13) rozprowadzających aniolit.
14. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że w kolektorze prądu przeciwelektrody (19) wykonano sieć mikrokanalów katiolitu (20) rozprowadzających katiolit.
15. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 13 i 14, **znamienny tym**, że mikrokanaly są rozłożone równomiernie na całej powierzchni kolektorów prądu fotoanody (12) i kolektorów prądu przeciwelektrody (19) i przyjmują układ jodełki.
16. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że na powierzchnię kolektorów prądu fotoanody (12) i kolektorów prądu przeciwelektrody (19) jest naniesiony katalizator platynowy.
17. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 16, **znamienny tym**, że jako katalizator platynowy stosuje się czerń platynową.
18. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 17, **znamienny tym**, że czerń platynową nanosi się na kolektory prądu fotoanody (12) i kolektory prądu przeciwelektrody (19) w ilości od 0,01 do 0,1 g/cm².
19. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że ścieżka elektroprzewodząca przeciwelektrody (18) i ścieżka elektroprzewodząca fotoanody (30) wykonane są z fryty szklanej zmieszanej z nanocząstkami srebra w stosunku wagowym od 1:1 do 1:10.

20. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cienkowarstwowa fotoanoda (11) i przeciwelektroda (16) wykonane są z wykorzystaniem tafli szkła sodowego lub borokrzemowego.
21. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że transparentna warstwa przewodząca prąd fotoanody (29) i transparentna warstwa przewodząca prąd przeciwelektrody (17) wykonane są z tlenku cyny (IV) domieszkowanego fluorem lub indem.
22. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że warstwa blokująca (31) wykonana jest z nanokrystalicznego, nieporowatego tlenku tytanu (IV).
23. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że cienkowarstwowa fotoanoda (11) składa się z od jednej do dziesięciu warstw nanoporowatych (32) nałożonych jedna na drugą.
24. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że membrana jonoselektywna (23) wykonana jest z folii nafionu.
25. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że warstwa dystansowa przeciwelektrody (24) i warstwa dystansowa anody (25) wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego lub kleju akrylowego na nośniku.
26. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że mikrowymiennik aniolitu (33), mikrowymiennik katiolitu (34) i mikrowymiennik przekaźnika ciepła (35) wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego lub kleju akrylowego na nośniku.
27. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podzielnik aniolitu (63) i podzielnik katiolitu (62) wykonane są z błony klejowej z kleju akrylowego lub kleju akrylowego na nośniku.
28. Wielocelkowy mikrofluidalny elektrochemiczny panel fotowoltaiczny według zastrz. 1, **znamienny tym**, że komora mikroprzepływowa mikrowymiennika aniolitu (39), komora mikroprzepływowa katiolitu (45) i komora mikroprzepływowa przekaźnika ciepła (51) mają głębokość równą wysokości warstwy na której zostały wykonane.

Rysunki

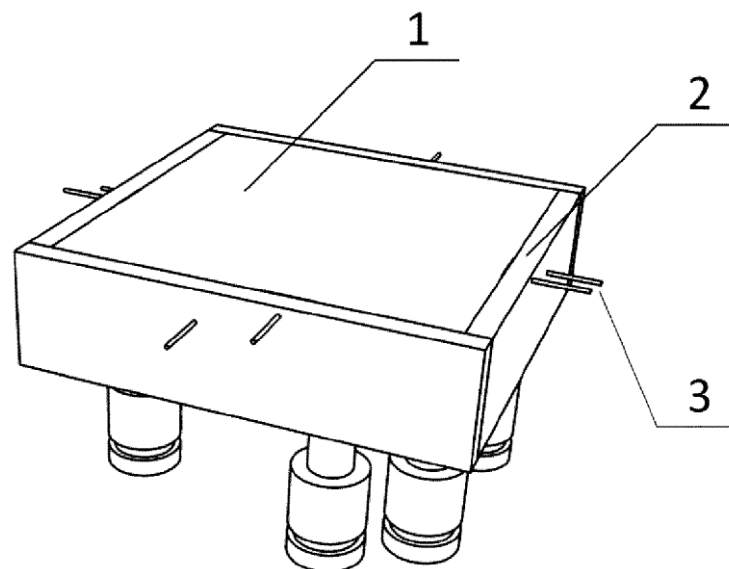


Fig. 1

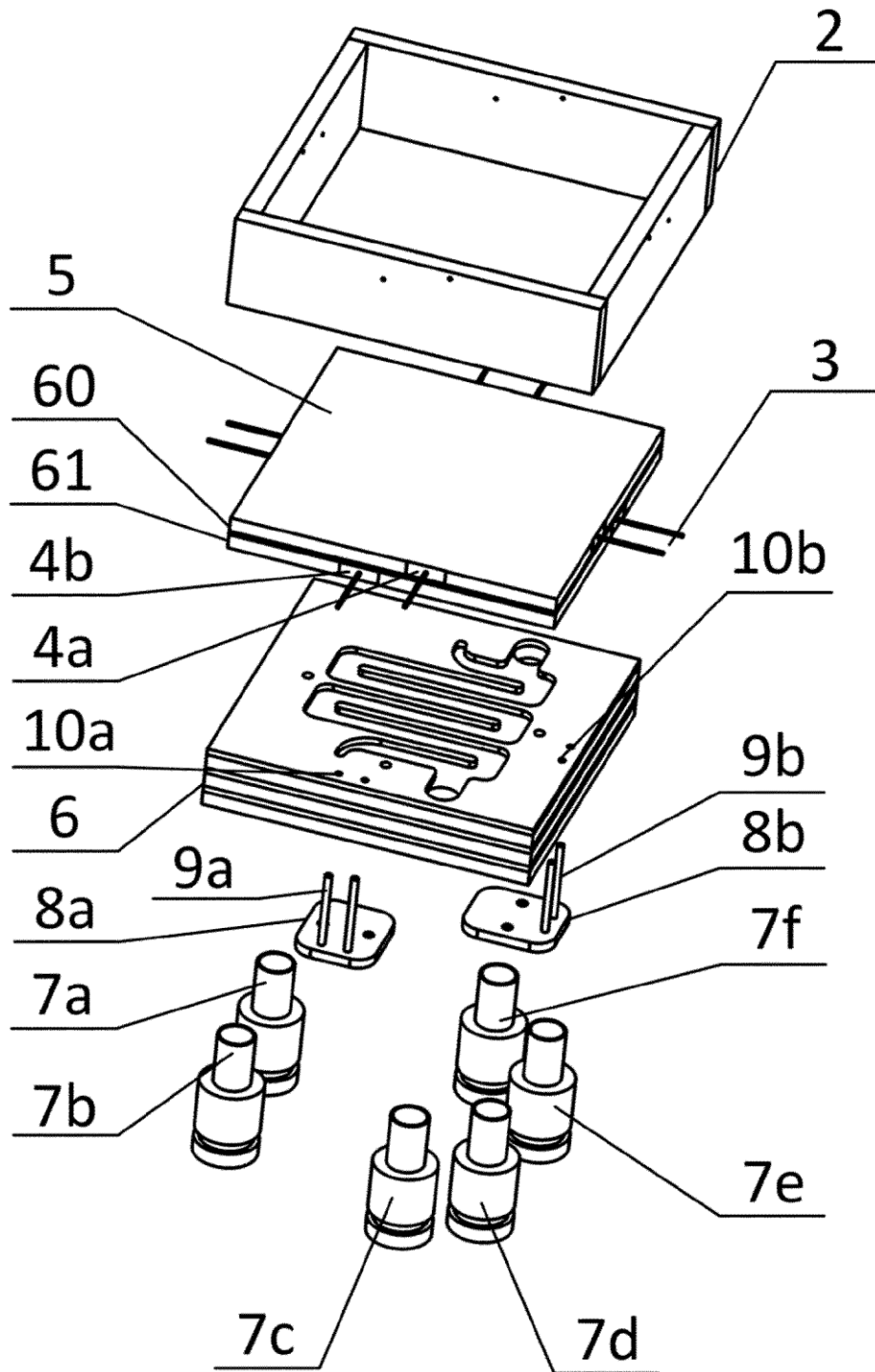


Fig. 2

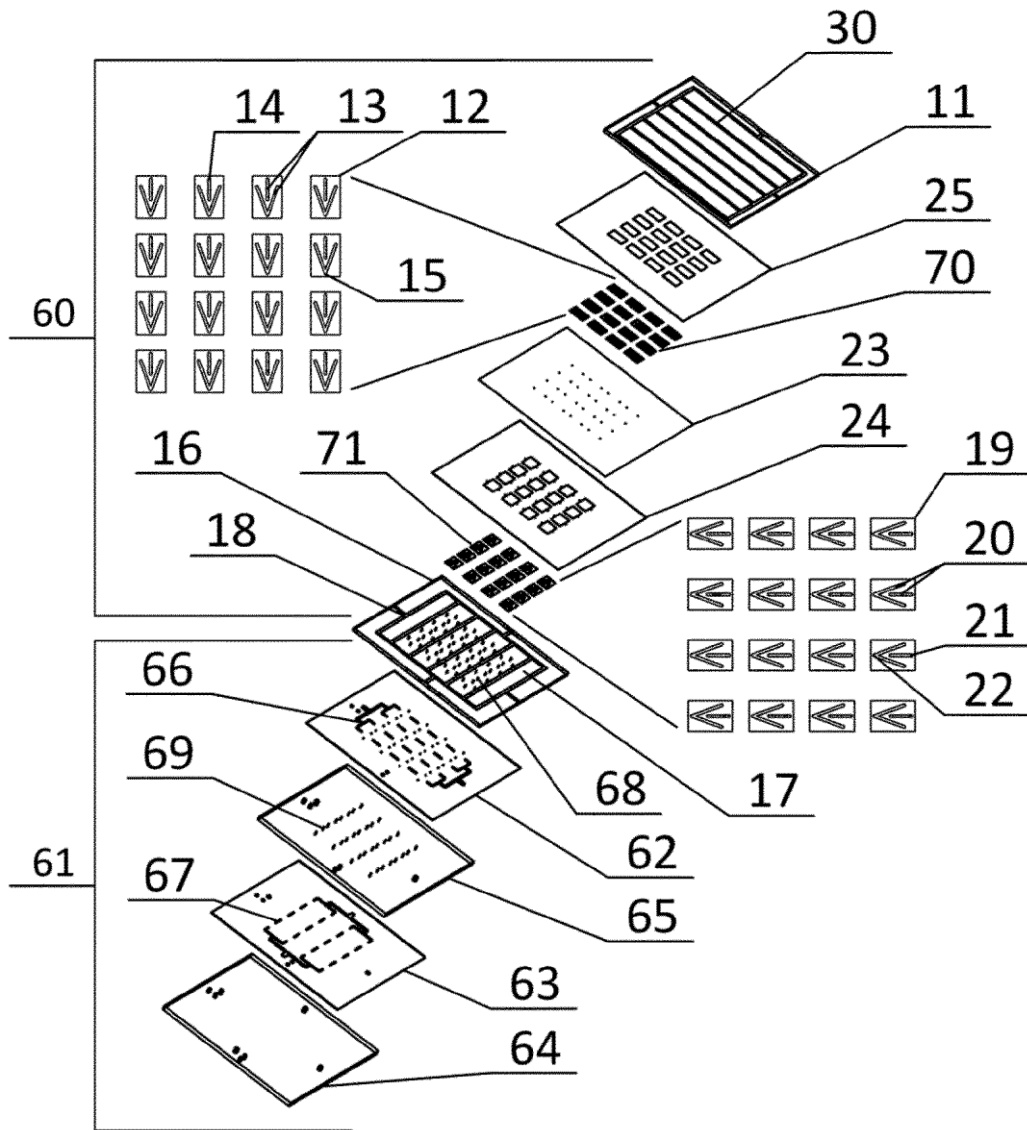


Fig. 3

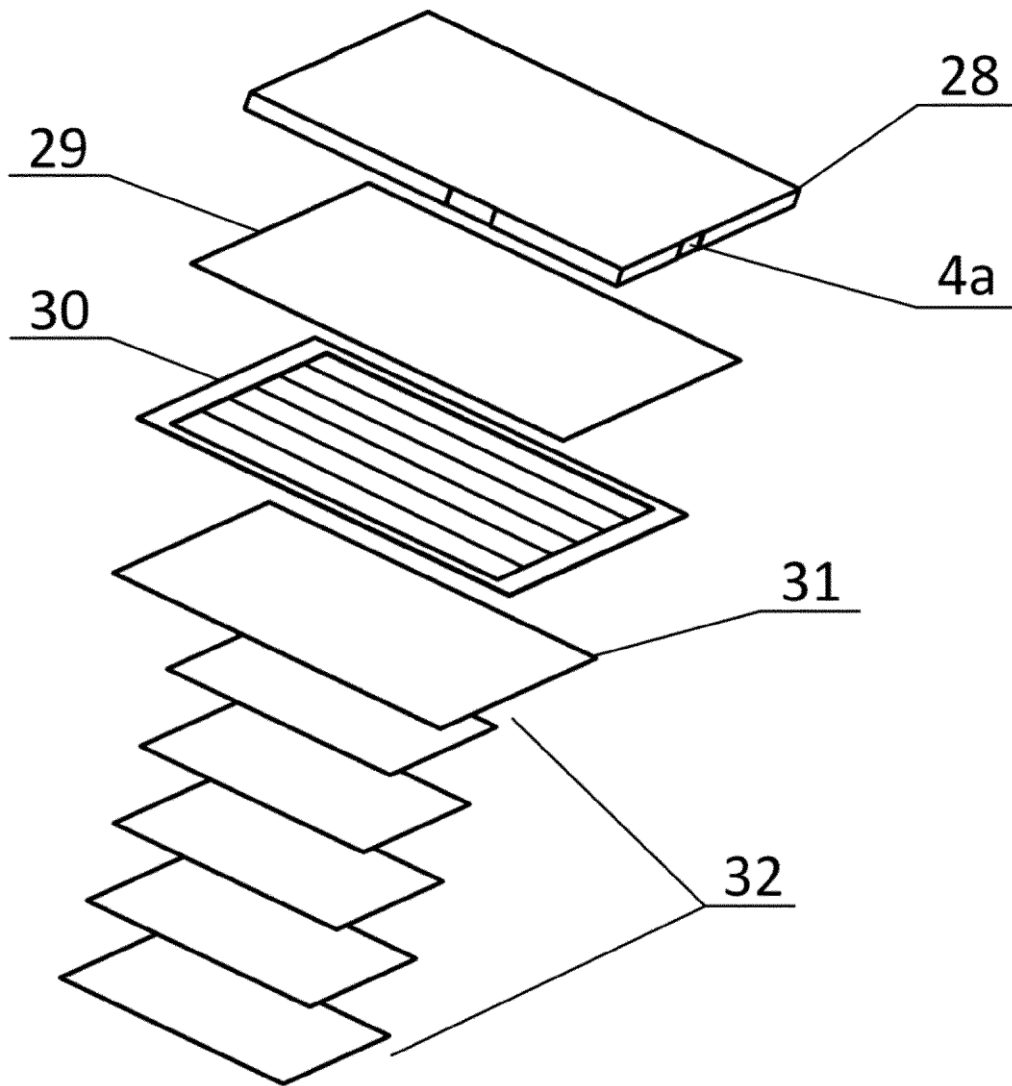


Fig. 4

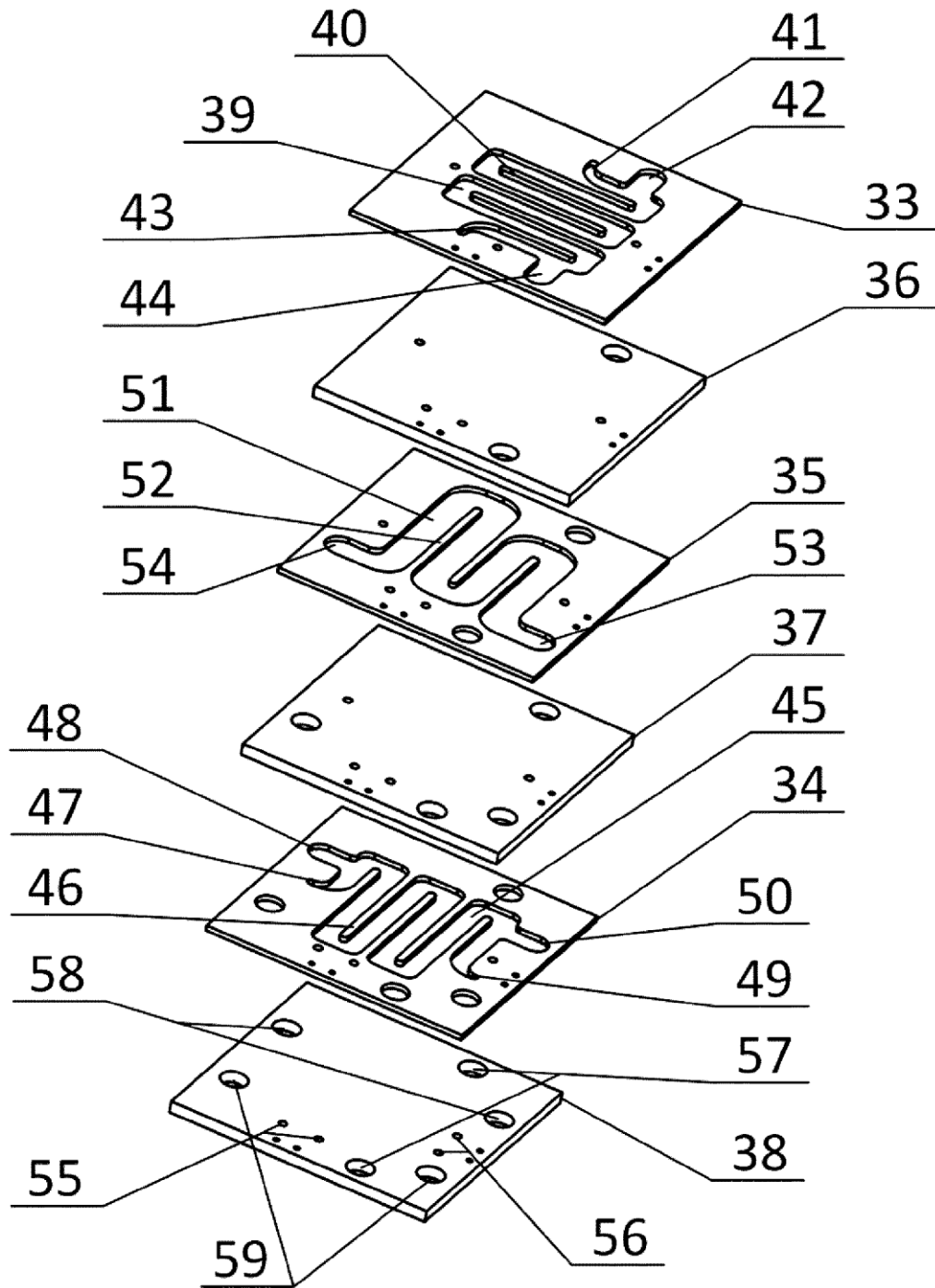


Fig. 5

- 1 – Mikrofluidalne ogniwo fotowoltaiczne,
- 2 – Obudowa panelu,
- 3 – Przyłącze elektryczne panelu,
- 4a – Kontakt elektryczny fotoanody,
- 4b – Kontakt elektryczny przeciwelektrody,
- 5 – Mikroprzepływowa fotokomórka elektrochemiczna,
- 6 – Mikrofluidalny wymiennik mediów,
- 7a – Wlotowe przyłącze hydrauliczne katiolitu,
- 7b – Wlotowe przyłącze hydrauliczne przekaźnika ciepła,
- 7c – Wylotowe przyłącze hydrauliczne aniolitu,
- 7d – Wylotowe przyłącze hydrauliczne przekaźnika ciepła,
- 7e – Wylotowe przyłącze hydrauliczne katiolitu,
- 7f – Wlotowe przyłącze hydrauliczne aniolitu,
- 8a – Mikropompa cyrkulacyjna aniolitu,
- 8b – Mikropompa cyrkulacyjna katiolitu,
- 9a – Przewody elektryczne mikropompy aniolitu,
- 9b – Przewody elektryczne mikropompy katiolitu,
- 10a – Kanały przewodów elektrycznych mikropompy aniolitu,
- 10b – Kanały przewodów elektrycznych mikropompy katiolitu,
- 11 – Cienkowarstwowa fotoanoda,
- 12 – Kolektor prądu fotoanody,
- 13 – Mikrokanal aniolitu,
- 14 – Wlot mikrokanalu aniolitu,
- 15 – Wylot mikrokanalu aniolitu,
- 16 – Przeciwelektroda,
- 17 – Transparentna warstwa przewodząca prąd przeciwelektrody,
- 18 – Ścieżka elektroprzewodząca przeciwelektrody,
- 19 – Kolektor prądu przeciwelektrody,
- 20 – Mikrokanal katiolitu,
- 21 – Wlot mikrokanalu katiolitu,
- 22 – Wylot mikrokanalu katiolitu,
- 23 – Membrana jonoselektywna,
- 24 – Warstwa dystansowa przeciwelektrody,
- 25 – Warstwa dystansowa fotoanody,
- 26 – Wertykalny kanal powrotu aniolitu,
- 27 – Wertykalny kanal powrotu katiolitu,
- 28 – Warstwa szklana fotoanody,
- 29 – Transparentna warstwa przewodząca prąd fotoanody,
- 30 – Ścieżka elektroprzewodząca fotoanody,
- 31 – Warstwa blokująca,
- 32 – Warstwy nanoporowate,
- 33 – Mikrowymiennik aniolitu,
- 34 – Mikrowymiennik katiolitu,
- 35 – Mikrowymiennik przekaźnika ciepła,
- 36 – Warstwa przejściowa mikrowymiennika aniolitu,
- 37 – Warstwa przejściowa mikrowymiennika katiolitu,
- 38 – Podstawa ogniwa,
- 39 – Komora mikroprzepływowa mikrowymiennika aniolitu,
- 40 – Przegroda mieszalnikowa mikrowymiennika aniolitu,
- 41 – Wlot wewnętrznego obiegu aniolitu,
- 42 – Wlot zewnętrznego obiegu aniolitu,
- 43 – Wylot wewnętrznego obiegu aniolitu,
- 44 – Wylot zewnętrznego obiegu aniolitu,
- 45 – Komora mikroprzepływowa mikrowymiennika katiolitu,

- 46 – Przegroda mieszalnikowa mikrowymiennika katiolitu,
- 47 – Wlot wewnętrznego obiegu katiolitu,
- 48 – Wlot zewnętrznego obiegu katiolitu,
- 49 – Wylot wewnętrznego obiegu katiolitu,
- 50 – Wylot zewnętrznego obiegu katiolitu,
- 51 – Komora mikroprzepływowa mikrowymiennika przekaźnika ciepła,
- 52 – Przegroda mieszalnikowa mikrowymiennika przekaźnika ciepła,
- 53 – Wlot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła,
- 54 – Wylot zewnętrznego obiegu przekaźnika ciepła,
- 55 – Wertykalne kanały mikropompy aniolitu,
- 56 – Wertykalne kanały mikropompy katiolitu,
- 57 – Wertykalne kanały mikrowymiennika aniolitu,
- 58 – Wertykalne kanały mikrowymiennika katiolitu,
- 59 – Wertykalne kanały mikrowymiennika przekaźnika ciepła,
- 60 – Zespół celek elektrochemicznych,
- 61 – Podzielnik elektrolitów,
- 62 – Podzielnik katiolitu,
- 63 – Podzielnik aniolitu,
- 64 – Warstwa przejściowa podzielnika aniolitu,
- 65 – Warstwa przejściowa podzielnika katiolitu,
- 66 – Mikrokanały podzielnika katiolitu,
- 67 – Mikrokanały podzielnika aniolitu,
- 68 – Wertykalne kanały podzielnika katiolitu,
- 69 – Wertykalne kanały podzielnika aniolitu,
- 70 – Zespół kolektorów prądu fotoanody,
- 71 – Zespół kolektorów prądu przeciwelektrody.