

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL/EP 3295491 T3**

(12)

Tłumaczenie patentu europejskiego

(96) Data i numer zgłoszenia patentu europejskiego:

2016.05.12 16793494.2

(97) O udzieleniu patentu europejskiego ogłoszono:

**2024.12.18 Europejski Biuletyn Patentowy 2024/51
EP 3295491 B1**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu:

2018.03.21 Europejski Biuletyn Patentowy 2018/12

(45) Data publikacji o złożeniu tłumaczenia patentu:

2025.03.03 Wiadomości Urzędu Patentowego 2025/09

(51) MKP:

H10K 85/50

(2023.01)

H01G 9/20

(2006.01)

(30) Pierwszeństwo:

2015.05.13 US 201514711430

(73) Uprawniony:

CubicPV Inc., Bedford, US

(72) Twórca(-y):

MICHAEL D. IRWIN, Dallas, US

JERRED A. CHUTE, Dallas, US

VIVEK V. DHAS, Dallas, US

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. MARIUSZ KONDRAT,
Warszawa, PL**

(54) Tytuł:

**TYTANIANOWE WARSTWY MIĘDZYFAZOWE W URZĄDZENIACH Z MATERIAŁÓW
PEROWSKITOWYCH**

PL/EP 3295491 T3

TYTANIANOWE WARSTWY MIĘDZYFAZOWE W URZĄDZENIACH Z MATERIAŁÓW PEROWSKITOWYCH

Opis

[0001] Wykorzystanie fotowoltaiki (PV) do generowania energii elektrycznej z energii słonecznej lub promieniowania może zapewnić wiele korzyści, w tym na przykład źródło zasilania, niską lub zerową emisję, produkcję energii niezależną od sieci energetycznej, nieruchome konstrukcje fizyczne (brak ruchomych części), stabilne i niezawodne układy, modułową konstrukcję, stosunkowo szybką instalację, bezpieczną produkcję i użytkowanie oraz dobrą opinię publiczną i akceptację użytkownika.

[0002] Cechy i zalety niniejszego ujawnienia będą łatwo widoczne dla specjalistów w dziedzinie. Podczas gdy specjaliści w dziedzinie mogą wprowadzać liczne zmiany, takie zmiany są zgodne z duchem wynalazku.

[0003] JP 2015 056430 (A) ujawnia urządzenie do konwersji fotoelektrycznej do przekształcania energii świetlnej w energię elektryczną, które zawiera warstwę pochłaniającą światło zawierającą 1-4 podstawiony lub niepodstawiony halogenek metalu amonu domieszkowany jonami metalu.

[0004] WO2014/180780 (A1) ujawnia stałe ogniwo słoneczne zawierające przezroczystą przewodzącą warstwę nośną, na której znajduje się nanostrukturalna, zwiększająca powierzchnię, mezoporowata struktura rusztowania, przy czym organiczno-nieorganiczna warstwa perowskitu znajduje się na wspomnianej strukturze rusztowania i przy czym przeciwelektroda znajduje się w kontakcie elektrycznym ze wspomnianą warstwą perowskitu. Mezoporowate rusztowanie korzystnie zawiera domieszkowany materiał stały, w szczególności domieszkowany TiO_2 . Ujawniono w nim, że zastosowanie domieszkowanego TiO_2 w porównaniu do niedomieszkowanego odpowiednika może skutkować zwiększoną wydajnością konwersji energii.

[0005] JP 2014 175473 (A) ujawnia urządzenie do konwersji fotoelektrycznej, które przekształca energię świetlną w energię elektryczną, która obejmuje warstwę pochłaniającą światło złożoną z $(\text{RNH})\text{PbI}$ (R reprezentuje grupę węglowodorową, a n reprezentuje 1 lub 2) i nieorganiczną warstwę transportu dziur.

[0006] WO 2013/171518 (A1) ujawnia urządzenie optoelektroniczne zawierające: (i) porowaty dielektryczny materiał rusztowania; oraz (ii) półprzewodnik mający przerwę pasmową mniejszą lub równą 3,0 eV, w kontakcie z materiałem rusztowania. Półprzewodnik, który może być perowskitem, jest umieszczony na powierzchni porowatego dielektrycznego materiału rusztowania, dzięki czemu jest podparty na powierzchni porów w rusztowaniu.

[0007] WO 2014/151522 (A1) ujawnia urządzenia fotowoltaiczne, takie jak ogniwa słoneczne, hybrydowe ogniwa słoneczne-akumulatory i inne takie urządzenia, które zawierają warstwę aktywną z materiałem perowskitowym i tlenkiem miedzi lub innym materiałem transportującym ładunek tlenu metalu. Taki materiał transportujący ładunek może być umieszczony w sąsiedztwie materiału perowskitowego w taki sposób, że oba materiały przylegają do siebie i/lub stykają się ze sobą. Włączenie obu materiałów do warstwy aktywnej urządzenia fotowoltaicznego może poprawić jego wydajność. Mogą być zawarte inne materiały, takie jak na przykład: jedna lub wiele warstw międzyfazowych, jedna lub wiele warstw mezoporowatych i jeden lub wiele barwników.

[0008] Ashok Bera i in. (Journal of Physical Chemistry C, tom 118, nr 49, (2014-14-02), strony 28494-28501) opisuje perowskitowy tlenek SrTiO_3 jako wydajny transporter elektronów dla hybrydowych perowskitowych ogniw słonecznych.

[0009] Norman Pellet i in. (Angewandte Chemie International Edition, tom 53, nr 12, (2014-02-19), strony 3151-3157) opisuje mieszane organiczno-kationowe perowskitowe ogniwa słoneczne do ulepszonego zbierania światła słonecznego.

PODSUMOWANIE

[0010] Zgodnie z niniejszym ujawnieniem, dostarczono urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1. Opcjonalne cechy urządzeń fotowoltaicznych są określone w zastrzeżeniach zależnych.

KRÓTKI OPIS FIGUR RYSUNKU

[0011]

FIGURA 1 to przedstawienie projektu DSSC przedstawiająca różne warstwy DSSC niebędące częścią niniejszego wynalazku.

FIGURA 2 to kolejne przedstawienie projektu DSSC przedstawiające różne warstwy DSSC niebędące częścią niniejszego wynalazku.

FIGURA 3 przedstawia przykładowe przedstawienie projektu urządzenia BHJ zgodnie z niektórymi przykładami wykonania niniejszego ujawnienia.

FIGURA 4 przedstawia schematyczny widok typowego ogniwa fotowoltaicznego zawierającego warstwę aktywną zgodnie z niektórymi przykładami wykonania niniejszego ujawnienia.

FIGURA 5 przedstawia schemat typowego stałego urządzenia DSSC, które nie stanowi części niniejszego wynalazku.

FIGURA 6 przedstawia stylizowany schemat przedstawiający składniki przykładu urządzenia fotowoltaicznego PV zgodnego z niektórymi przykładami wykonania niniejszego ujawnienia.

FIGURA 7 przedstawia stylizowany schemat przedstawiający komponenty przykładowego urządzenia fotowoltaicznego zgodnego z niektórymi przykładami wykonania niniejszego ujawnienia.

FIGURA 8 przedstawia stylizowany schemat przedstawiający komponenty przykładowego urządzenia fotowoltaicznego niebędącego częścią niniejszego wynalazku.

FIGURA 9 przedstawia stylizowany schemat przedstawiający komponenty przykładowego urządzenia fotowoltaicznego niebędącego częścią niniejszego wynalazku.

FIG. 10 przedstawia stylizowany schemat urządzenia z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku.

FIG. 11 przedstawia stylizowany schemat urządzenia z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku.

FIG. 12 przedstawia obrazy z przekrojowego skaningowego mikroskopu elektronowego porównujące perowskitowe PV wytworzone z wodą (górze) i bez wody (dół).

FIG. 13-18, 20 przedstawiają stylizowane schematy urządzeń z materiału perowskitowego niebędące częścią niniejszego wynalazku.

FIG. 19 przedstawia stylizowany schemat urządzenia z materiału perowskitowego według niniejszego wynalazku.

SZCZEGÓŁOWY OPIS KORZYSTNYCH PRZYKŁADÓW WYKONANIA

[0012] Ulepszenia w różnych aspektach technologii fotowoltaicznych kompatybilnych z organicznymi, nieorganicznymi i/lub hybrydowymi ogniwami fotowoltaicznymi zapewniają dalsze obniżenie kosztów zarówno organicznych ogniw fotowoltaicznych, jak i innych ogniw fotowoltaicznych. Na przykład, niektóre ogniwa słoneczne, takie jak stałe ogniwa słoneczne uczulone barwnikiem, mogą wykorzystywać nowe, opłacalne i wysoce stabilne alternatywne komponenty, takie jak stałe materiały transportujące ładunek (lub, potocznie, „elektrolity stałe”). Ponadto, różne rodzaje ogniw słonecznych mogą korzystnie zawierać materiały międzyfazowe i inne, które mogą, oprócz innych zalet, być bardziej opłacalne i trwałe niż konwencjonalne opcje obecnie istniejące.

[0013] Niniejsze ujawnienie dotyczy ogólnie kompozycji stanowiących przedmiot wynalazku, urządzenia i sposobów stosowania materiałów w ogniwach fotowoltaicznych do wytwarzania energii elektrycznej z promieniowania słonecznego. Bardziej szczegółowo, niniejsze ujawnienie dotyczy fotoaktywnych i innych kompozycji stanowiących przedmiot wynalazku, a także urządzenia i sposobów stosowania i tworzenia takich kompozycji stanowiących przedmiot wynalazku.

[0014] Przykłady tych kompozycji stanowiących przedmiot wynalazku mogą obejmować, na przykład, materiały transportujące dziury i/lub materiały, które mogą być odpowiednie do stosowania jako np. warstwy międzyfazowe (IFL), barwniki i/lub inne elementy urządzeń fotowoltaicznych PV. Takie związki mogą być stosowane w różnych urządzeniach fotowoltaicznych PV, takich jak ogniwa heterozłączowe (np. dwuwarstwowe i masowe), ogniwa hybrydowe (np. organiczne z $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$, ZnO , nanoprety ZnO lub kropki kwantowe PbS) i DSSC (ogniwa słoneczne uczulone barwnikiem). Te ostatnie, DSSC, występują w trzech postaciach: elektrolitów rozpuszczalnikowych, ciekłych elektrolitów jonowych i stałych transporterów dziur (lub stałych DSSC, tj. SS-DSSC). Struktury SS-DSSC według niektórych przykładów wykonania mogą być zasadniczo wolne od elektrolitu, zawierając raczej materiały transportujące dziury, takie jak spiro-OMeTAD, CsSnI_3 i inne materiały aktywne.

[0015] Niektóre lub wszystkie materiały zgodne z niektórymi przykładami wykonania niniejszego ujawnienia mogą być również korzystnie stosowane w dowolnym organicznym lub innym urządzeniu elektronicznym, z niektórymi przykładami obejmującymi między innymi: akumulatory, tranzystory polowe (FET), diody elektroluminescencyjne (LED), nieliniowe urządzenia optyczne, memrystory, kondensatory, prostowniki i/lub anteny prostownicze.

[0016] W niektórych przykładach wykonania, niniejsze ujawnienie może zapewniać PV i inne podobne urządzenia (np. akumulatory, hybrydowe akumulatory PV, wielozłączowe PV, FET, diody LED itp.) Takie urządzenia mogą w niektórych przykładach wykonania zawierać ulepszony materiał aktywny, warstwy międzyfazowe i/lub jeden lub wiele materiałów perowskitowych. Materiał perowskitowy może być włączony do różnych aspektów jednego lub wielu urządzeń fotowoltaicznych PV lub innych. Materiał perowskitowy według niniejszego wynalazku ma wzór ogólny CMX_3 , gdzie: C zawiera jeden lub wiele kationów zgodnie z zastrzeżeniami; M zawiera jeden lub wiele metali (przykłady obejmują Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti i Zn); X zawiera jeden lub wiele anionów zgodnie z zastrzeżeniami. Materiały perowskitowe według różnych przykładów wykonania omówiono bardziej szczegółowo poniżej.

Ogniwa Fotowoltaiczne i Inne Urządzenia Elektroniczne

[0017] Niektóre przykłady wykonania PV można opisać poprzez odniesienie do różnych ilustracyjnych przedstawień ogniw słonecznych, jak przedstawiono na FIG. 1, 3, 4 i 5.

Przykłady z FIG. 1 i 5 nie stanowią części niniejszego wynalazku. Na przykład, przykładowa architektura PV według niektórych przykładów wykonania może mieć zasadniczo postać podłoże-anoda-IFL-warstwa aktywna-IFL-katoda. Warstwa IFL zawiera warstwę $M'TiO_3$ zgodnie z zastrzeżeniami. Warstwa aktywna w niektórych przykładach wykonania może być fotoaktywna i/lub może zawierać materiał fotoaktywny. Inne warstwy i materiały mogą być wykorzystane w ogniwie zgodnie ze stanem techniki. Ponadto należy zauważyć, że użycie terminu „warstwa aktywna” w żaden sposób nie ma na celu ograniczenia lub w inny sposób zdefiniowania, wyraźnie lub pośrednio, właściwości jakiejkolwiek innej warstwy - na przykład w niektórych przykładach wykonania jedna lub obie warstwy IFL mogą być również aktywne, ponieważ mogą być stałe. W szczególności, odnosząc się do FIG. 4, przedstawiono stylizowane ogólne ogniwo fotowoltaiczne PV **2610**, przedstawiające wysoce międzyfazową naturę niektórych warstw w PV. PV **2610** reprezentuje ogólną architekturę mającą zastosowanie do wielu urządzeń PV, takich jak rozwiązania PV z materiału perowskitowego. Ogniwo fotowoltaiczne PV **2610** zawiera przezroczystą warstwę **2612** ze szkła (lub materiału podobnie przezroczystego dla promieniowania słonecznego), która umożliwia przenikanie promieniowania słonecznego **2614** przez warstwę. Przezroczysta warstwa w niektórych przykładach wykonania może być również określana jako podłoże (np. jak w przypadku warstwy **1507** podłoża na FIG. 1) i może zawierać jeden lub wiele różnych sztywnych lub elastycznych materiałów, takich jak: szkło, polietylen, PET, Kapton, kwarc, folia aluminiowa, złota folia lub stal. Warstwa fotoaktywna **2616** składa się z donora elektronów lub materiału **2618** typu *p* i/lub akceptora elektronów lub materiału **2620** typu *n* i/lub półprzewodnika ambipolarnego, który wykazuje zarówno charakterystykę materiału typu *p*, jak i typu *n*. Warstwa aktywna lub, jak przedstawiono na FIG. 4, warstwa fotoaktywna **2616** jest umieszczona pomiędzy dwiema przewodzącymi elektrycznie warstwami **2622** i **2624** elektrod. Na FIG. 4, warstwa **2622** elektrody to tlenek indu z domieszką cyny (materiał ITO). Jak wcześniej wspomniano, warstwa aktywna w niektórych przykładach wykonania niekoniecznie musi być fotoaktywna, chociaż w urządzeniu przedstawionym na FIG. 4, jest fotoaktywna. Warstwa **2624** elektrody jest wykonana z aluminium. Inne materiały mogą być stosowane zgodnie z dziedziną. Ogniwo **2610** zawiera również warstwę międzyfazową (IFL) **2626**, przedstawioną na przykładzie z FIG. 4 jako materiał ZnO. IFL może pomóc w rozdzieleniu ładunku. W niektórych przykładach wykonania, IFL **2626** może zawierać związek organiczny zgodnie z niniejszym ujawnieniem w postaci samoorganizującej się monowarstwy (SAM) lub cienkiej warstwy. W innych przykładach wykonania, IFL **2626** może zawierać wielowarstwową IFL, co omówiono bardziej szczegółowo poniżej. Do elektrody 2624 może również przylegać IFL **2627**. W niektórych przykładach wykonania, IFL **2627** przylegająca do elektrody 2624 może również lub zamiast tego zawierać związek organiczny zgodny z niniejszym ujawnieniem w postaci samoorganizującej się monowarstwy (SAM) lub cienkiej warstwy. W innych przykładach wykonania, IFL **2627** przylegająca do elektrody 2624 może również lub zamiast tego zawierać wielowarstwową IFL (ponownie omówioną bardziej szczegółowo poniżej). IFL według niektórych przykładów wykonania może mieć charakter stały i może być typu *p* lub typu *n* lub może mieć charakter dielektryczny. W niektórych przykładach wykonania, IFL po stronie katody urządzenia (np. IFL **2627**, jak przedstawiono na FIG. 4) może być typu *p*, a IFL po stronie anody urządzenia (np. IFL **2626**, jak przedstawiono na FIG. 4) może być typu *n*. W innych przykładach wykonania, IFL po stronie katody może być typu *n*, a IFL po stronie anody może być typu *p*. Ogniwo **2610** jest podłączone do przewodów **2630** i jednostki rozładowującej **2632**, takiej jak akumulator.

[0018] Jeszcze inne przykłady wykonania można opisać poprzez odniesienie do FIG. 3, która przedstawia stylizowany projekt urządzenia BHJ i obejmuje: szklane podłoże **2401**; elektrodę ITO (tlenek indu domieszkowany cyną) **2402**; warstwę międzyfazową (IFL) **2403**; warstwę fotoaktywną **2404**; oraz katody LiF/Al **2405**. Materiały konstrukcji BHJ, o których mowa, są jedynie przykładami; każda inna konstrukcja BHJ znana w dziedzinie może być stosowana zgodnie z niniejszym ujawnieniem. W niektórych przykładach wykonania, warstwa

fotoaktywna **2404** może zawierać jeden lub wiele materiałów, z których wykonana jest warstwa aktywna lub fotoaktywna **2616** urządzenia z FIG. 4.

[0019] FIG. 1 przedstawia uproszczone przedstawienie ogniw fotowoltaicznych PV DSSC niebędących częścią niniejszego wynalazku, przywołane w niniejszym dokumencie w celu przedstawienia montażu takich przykładowych fotowoltaicznych ogniw PV. Przykładowe DSSC przedstawione na FIG. 1 można skonstruować w następujący sposób: warstwa **1506** elektrody (przedstawiona jako tlenek cyny z domieszką fluoru, FTO) jest osadzana na warstwie **1507** podłoża (przedstawionej jako szkło). Mezoporowata warstwa ML **1505** (którą w niektórych przykładach wykonania może być TiO_2) jest osadzana na warstwie **1506** elektrody, a następnie fotoelektroda (dotychczas zawierająca warstwę **1507** podłoża, warstwę **1506** elektrody i mezoporowatą warstwę **1505**) jest nasączana rozpuszczalnikiem (nie przedstawionym) i barwnikiem **1504**. Pozostawia to barwnik **1504** związany z powierzchnią ML. Oddzielna przeciwelektroda zawiera warstwę **1501** podłoża (również przedstawioną jako szkło) i warstwę **1502** elektrody (przedstawioną jako Pt/FTO). Fotoelektroda i przeciwelektroda są połączone, umieszczając różne warstwy **1502-1506** między dwiema warstwami **1501** i **1507** podłoża, jak przedstawiono na FIG. 1, umożliwiając wykorzystanie warstw **1502** i **1506** elektrody odpowiednio jako katody i anody. Warstwa **1503** elektrolitu jest osadzana bezpośrednio na gotowej fotoelektrodzie po warstwie **1504** barwnika lub przez otwór w urządzeniu, zwykle otwór wstępnie wywiercony przez piaskowanie w podłożu **1501** przeciwelektrody. Ogniwo może być również podłączone do przewodów i jednostki rozładowującej, takiej jak akumulator (nie przedstawiono). Warstwa **1507** podłoża i warstwa **1506** elektrody i/lub warstwa **1501** podłoża i warstwa **1502** elektrody powinny mieć wystarczającą przezroczystość, aby umożliwić przenikanie promieniowania słonecznego do fotoaktywnego barwnika **1504**. W niektórych przykładach wykonania przeciwelektroda i/lub fotoelektroda mogą być sztywne, podczas gdy w innych jedna lub obie mogą być elastyczne. Warstwy podłoża w różnych przykładach wykonania mogą składać się z co najmniej jednego z: szkła, polietylenu, PET, Kaptonu, kwarcu, folii aluminiowej, złotej folii i stali. W niektórych przykładach wykonania, DSSC może dodatkowo zawierać warstwę **1601** zbierającą światło, jak przedstawiono na FIG. 2 w celu rozpraszania padającego światła w celu zwiększenia długości drogi światła przez warstwę fotoaktywną urządzenia (zwiększając tym samym prawdopodobieństwo, że światło zostanie zaabsorbowane w warstwie fotoaktywnej).

[0020] W innych przykładach wykonania, niniejsze ujawnienie zapewnia stałe DSSC. stałe DSSC według niektórych przykładów wykonania mogą zapewniać korzyści, takie jak brak wycieków i/lub korozji, które mogą wpływać na DSSC zawierające ciekłe elektrolity. Co więcej, stały nośnik ładunku może zapewnić szybszą fizykę urządzenia (np. szybszy transport ładunku). Dodatkowo, elektrolity stałe mogą, w niektórych przykładach wykonania, być fotoaktywne, a tym samym przyczynić się do mocy pochodzącej z stałego urządzenia DSSC.

[0021] Niektóre przykłady stałych DSSC niebędące częścią niniejszego wynalazku, można opisać w odniesieniu do FIG. 5, która jest stylizowanym schematem typowego stałego DSSC. Podobnie jak w przypadku przykładowego ogniwa słonecznego przedstawionego np. na FIG. 4, warstwa aktywna zawierająca pierwszy i drugi materiał aktywny (np. przewodzący i/lub półprzewodzący) (odpowiednio **2810** i **2815**) jest umieszczona pomiędzy elektrodami **2805** i **2820** (przedstawionymi na FIG. 5 odpowiednio jako Pt/FTO i FTO). W urządzeniu przedstawionym na FIG. 5, pierwszy materiał aktywny **2810** jest materiałem aktywnym typu *p* i zawiera elektrolit stały. W niektórych przykładach wykonania, pierwszy materiał aktywny **2810** może obejmować materiał organiczny, taki jak spiro-OMeTAD i/lub poli(3-heksylotiofen), nieorganiczny dwuskładnikowy, trójskładnikowy, czwartorzędowy lub większy kompleks, dowolny stały materiał stały lub dowolną ich kombinację. Pierwszy materiał aktywny może dodatkowo lub zamiast tego zawierać tlenek i/lub siarczek, i/lub selenek, i/lub jodek (np. CsSnI_3). Tak więc, na przykład, pierwszy materiał aktywny może obejmować stały materiał typu *p*, który może obejmować siarczek miedziowo-indowy, a w

niektórych przykładach wykonania może obejmować selenek miedziowo-indowo-galowy. Drugi materiał aktywny **2815** przedstawiony na FIG. 5 jest materiałem aktywnym typu *n* i zawiera TiO_2 pokryty barwnikiem. Drugi materiał aktywny może również zawierać materiał organiczny, taki jak spiro-OMeTAD, nieorganiczny dwuskładnikowy, trójskładnikowy, czwartorzędowy lub większy kompleks, lub dowolną ich kombinację. Drugi materiał aktywny może zawierać tlenek, taki jak tlenek glinu, i/lub może zawierać siarczek, i/lub może zawierać selenek. Drugi materiał aktywny może zawierać siarczek miedziowo-indowy lub selenek miedziowo-indowo-galowy. Drugi materiał aktywny **2815** może stanowić warstwę mezoporowatą. Ponadto, oprócz bycia aktywnym, jeden lub oba z pierwszych i drugich aktywnych materiałów **2810** i **2815** mogą być fotoaktywne. Drugi materiał aktywny może zawierać elektrolit stały. Ponadto, gdy pierwszy i drugi materiał aktywny **2810** i **2815** zawierają elektrolit stały, w urządzeniu fotowoltaicznym może brakować efektywnej ilości elektrolitu ciekłego. Chociaż przedstawione i wspomniane na FIG. 5 jako typu *p*, warstwa stała (np. pierwszy materiał aktywny zawierający elektrolit stały) może w niektórych przypadkach być półprzewodzącą typu *n*. W takich przypadkach drugi materiał aktywny (np. TiO_2 (ub inny materiał mezoporowaty), jak przedstawiono na FIG. 5) pokryty barwnikiem może być półprzewodzący typu *p* (w przeciwieństwie do półprzewodzącego typu *n* przedstawionego i omówionego na FIG. 5).

[0022] Warstwy **2801** i **2825** podłoża (obie przedstawione na FIG. 5 jako szkło) tworzą odpowiednio zewnętrzną górną i dolną warstwę przykładowego ogniwa z FIG. 5. Warstwy te mogą zawierać dowolny materiał o wystarczającej przezroczystości, aby umożliwić przenikanie promieniowania słonecznego do warstwy aktywnej/fotoaktywnej zawierającej barwnik, pierwszy i drugi materiał aktywny i/lub fotoaktywny **2810** i **2815**, taki jak szkło, polietylen, PET, Kapton, kwarc, folia aluminiowa, złota folia i/lub stal. Ponadto na FIG. 5, elektroda **2805** (przedstawiona jako Pt/FTO) jest katodą, a elektroda **2820** jest anodą. Podobnie jak w przypadku przykładowego ogniwa słonecznego przedstawionego na FIG. 4, promieniowanie słoneczne przechodzi przez warstwę **2825** podłoża i elektrodę **2820** do warstwy aktywnej, po czym co najmniej część promieniowania słonecznego jest pochłaniana w celu wytworzenia jednego lub wielu ekscytonów umożliwiających wytwarzanie energii elektrycznej.

[0023] Stały DSSC niebędący częścią niniejszego wynalazku może być skonstruowany w sposób zasadniczo podobny do opisanego powyżej w odniesieniu do DSSC przedstawionego w sposób stylizowany na FIG. 1. W przykładzie wykonania przedstawionym na FIG. 5, materiał aktywny **2810** typu *p* odpowiada elektrolitowi **1503** z FIG. 1; materiał aktywny **2815** typu *n* odpowiada zarówno barwnikowi **1504**, jak i ML **1505** z FIG. 1; elektrody **2805** i **2820** odpowiadają odpowiednio warstwom **1502** i **1506** elektrody z FIG. 1; a warstwy **2801** i **2825** podłoża odpowiadają odpowiednio warstwom **1501** i **1507** podłoża.

[0024] Różne przykłady wykonania niniejszego ujawnienia zapewniają ulepszone materiały i/lub konstrukcje w różnych aspektach ogniwa słonecznych i innych urządzeń, w tym między innymi materiałów aktywnych (w tym warstw transportu dziur i/lub transportu elektronów), warstw międzyfazowych i ogólnej konstrukcji urządzenia.

Warstwy Międzyfazowe

[0025] Niniejsze ujawnienie, w niektórych przykładach wykonania, zapewnia korzystne materiały i konstrukcje jednej lub wielu warstw międzyfazowych w PV, w tym cienkowarstwowe IFL. Cienkowarstwowe IFL mogą być stosowane w jednym lub wielu IFL PV zgodnie z różnymi przykładami wykonania omówionymi w niniejszym dokumencie. Urządzenia według niniejszego wynalazku zawierają warstwę IFL zawierającą cienką warstwę $\text{M}'\text{TiO}_3$ zgodnie z zastrzeżeniami.

[0026] Na przykład, urządzenie z materiału perowskitowego zgodnie z zastrzeżeniami może zawierać jedną, dwie, trzy, cztery, pięć lub więcej warstw międzyfazowych (takich jak

przykładowe urządzenie z FIG. 7, które zawiera pięć warstw międzyfazowych **3903, 3905, 3907, 3909 i 3911**). Warstwa międzyfazowa może ponadto zawierać dowolny odpowiedni materiał zwiększający transport ładunku i/lub gromadzenie ładunku między dwiema warstwami lub materiałami; może również pomóc w zapobieganiu lub zmniejszaniu prawdopodobieństwa rekombinacji ładunku po przetransportowaniu ładunku z jednego z materiałów sąsiadujących z warstwą międzyfazową. Warstwa międzyfazowa może dodatkowo fizycznie i elektrycznie homogenizować swoje podłoża, aby tworzyć różnice w chropowatości podłoża, stałej dielektrycznej, przyczepności, tworzeniu lub wygaszaniu defektów (np. pułapek ładunkowych, stanów powierzchniowych). Odpowiednie dodatkowe materiały międzyfazowe mogą obejmować jeden lub wiele z: Al; Bi; Co; Cu; Fe; In; Mn; Mo; Ni; platyna (Pt); Si; Sn; Ta; Ti; V; W; Nb; Zn; Zr; tlenki któregośkolwiek z powyższych metali (np. tlenek glinu, krzemionka, titania); siarczek dowolnego z powyższych metali; azotek dowolnego z powyższych metali; funkcjonalizowane lub niefunkcjonalizowane grupy alkilosililowe; grafit; grafen; fulereny; nanorurki węglowe; dowolny materiał mezoporowaty i/lub materiał międzyfazowy omówiony w innym miejscu; oraz ich kombinacje (w tym, w niektórych przykładach wykonania, dwuwarstwy połączonych materiałów). W niektórych przykładach wykonania warstwa międzyfazowa może zawierać materiał perowskitowy. Ponadto, warstwy międzyfazowe mogą zawierać domieszkowane wersje dowolnego materiału międzyfazowego wymienionego w niniejszym dokumencie (np. ZnO domieszkowane Y, jednościenne nanorurki węglowe domieszkowane N).

[0027] Po pierwsze, jak wcześniej wspomniano, jeden lub wiele IFL (np. jeden lub oba IFL **2626 i 2627**, jak przedstawiono na FIG. 4) może zawierać fotoaktywny związek organiczny zgodny z niniejszym ujawnieniem w postaci samoorganizującej się monowarstwy (SAM) lub cienkiej warstwy. Gdy fotoaktywny związek organiczny z niniejszego ujawnienia jest stosowany jako SAM, może zawierać grupę wiążącą, dzięki której może być kowalencyjnie lub w inny sposób związany z powierzchnią jednej lub obu anody i katody. Grupa wiążąca w niektórych przykładach wykonania może obejmować jedną lub wiele spośród COOH, SiX₃ (gdzie X może być dowolną cząsteczką odpowiednią do tworzenia trójskładnikowego związku krzemu, taką jak Si(OR)₃ i SiCl₃), SO₃, PO₄H, OH, CH₂X (gdzie X może obejmować halogenek z grupy 17) i O. Grupa wiążąca może być kowalencyjnie lub w inny sposób związana z cząsteczką odbierającą elektrony, cząsteczką będącą donorem elektronów i/lub cząsteczką rdzeniową. Grupa wiążąca może przyłączyć się do powierzchni elektrody w taki sposób, aby utworzyć kierunkową, zorganizowaną warstwę o grubości pojedynczej cząsteczki (lub, w niektórych przykładach wykonania, wielu cząsteczek) (np. gdy wiele fotoaktywnych związków organicznych jest związanych z anodą i/lub katodą). Jak wspomniano, SAM może przyłączać się poprzez interakcje kowalencyjne, ale w niektórych przykładach wykonania może przyłączać się poprzez interakcje jonowe, wiązania wodorowe i/lub siły dyspersyjne (tj. Van Der Waalsa). Ponadto, w niektórych przykładach wykonania, po ekspozycji na światło, SAM może wejść w stan wzbudzenia zwitterionowego, tworząc w ten sposób wysoce spolaryzowany IFL, który może kierować nośniki ładunku z warstwy aktywnej do elektrody (np. anody lub katody). Ten ulepszony wtrysk nośników ładunku może, w niektórych przykładach wykonania, zostać osiągnięty poprzez elektroniczne polerowanie przekroju warstwy aktywnej, a tym samym zwiększenie prędkości dryfu nośników ładunku w kierunku ich odpowiedniej elektrody (np. z dziury do anody, z elektronów do katody). Cząsteczki do zastosowań anodowych w niektórych przykładach wykonania mogą obejmować zmienialne związki, które zawierają podstawowe ugrupowanie donora elektronów związane z ugrupowaniem rdzeniowym, które z kolei jest związane z ugrupowaniem odbierającym elektrony, które z kolei jest związane z grupą wiążącą. W zastosowaniach katodowych, zgodnie z niektórymi przykładami wykonania, cząsteczki IFL mogą zawierać zmienialny związek zawierający ugrupowanie ubogie w elektrony związane z ugrupowaniem rdzeniowym, które z kolei jest związane z ugrupowaniem donora elektronów, które z kolei jest związane z grupą wiążącą. Gdy fotoaktywny związek organiczny jest

stosowany jako IFL zgodnie z takimi przykładami wykonania, może on zachować fotoaktywny charakter, chociaż w niektórych przykładach wykonania nie musi być fotoaktywny.

[0028] Dodatkowo lub zamiast fotoaktywnego związku organicznego SAM IFL, PV według niektórych przykładów wykonania może dodatkowo zawierać cienką warstwę międzyfazową („cienkowarstwowa warstwa międzyfazowa” lub „cienka warstwa międzyfazowa”) powleczonej na co najmniej części pierwszego lub drugiego materiału aktywnego takich przykładów wykonania (np. pierwszego lub drugiego materiału aktywnego **2810** lub **2815**, jak przedstawiono na FIG. 5). Z kolei co najmniej część cienkiej warstwy IFL może być pokryta barwnikiem. Cienka warstwa IFL może być typu n lub p; w niektórych przykładach wykonania może być tego samego typu co materiał bazowy (np. TiO_2 lub inny materiał mezoporowaty, taki jak TiO_2 drugiego materiału aktywnego **2815**). Drugi materiał aktywny może zawierać TiO_2 pokryty cienką warstwą IFL zawierającą tlenek glinu (np. Al_2O_3) (nie przedstawiony na FIG. 5), który z kolei jest pokryty barwnikiem. Odniesienia w niniejszym dokumencie do TiO_2 i/lub tytanu nie mają na celu ograniczenia proporcji cyny i tlenu w takich związkach tlenu cyny opisanych w niniejszym dokumencie. Oznacza to, że związek tytanu może zawierać tytan w jednym lub wielu z jego różnych stopni utlenienia (np. tytan I, tytan II, tytan III, tytan IV), a zatem różne przykłady wykonania mogą zawierać stechiometryczne i/lub niestechiometryczne ilości tytanu i tlenu. Tak więc, różne przykłady wykonania mogą obejmować (zamiast lub oprócz TiO_2) Ti_xO_y , gdzie x może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy 1 i 100. W niektórych przykładach wykonania x może wynosić pomiędzy około 0,5 i 3. Podobnie, y może wynosić pomiędzy około 1,5 do 4 (i ponownie, nie musi być liczbą całkowitą). W związku z tym niektóre rozwiązania mogą obejmować np. TiO_2 i/lub Ti_2O_3 . Ponadto, w niektórych przykładach wykonania, tytan w dowolnych proporcjach lub kombinacjach proporcji między tytanem a tlenkiem może mieć dowolną jedną lub wiele struktur krystalicznych, w tym dowolną jedną lub wiele z anatazu, rutyłu i amorficznego.

[0029] Inne przykładowe tlenki metali do stosowania w cienkowarstwowych IFL niektórych przykładów wykonania mogą obejmować półprzewodzące tlenki metali, takie jak NiO , WO_3 , V_2O_5 lub MoO_3 . Przykład wykonania, w którym drugi (np. typu n) materiał aktywny zawiera TiO_2 pokryty cienką warstwą IFL zawierającą Al_2O_3 , może być utworzony na przykład z materiału prekursorowego, takiego jak $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, lub dowolnego innego materiału odpowiedniego do osadzenia Al_2O_3 na TiO_2 , a następnie wyżarzania termicznego i powlekania barwnikiem. W przykładowych postaciach wykonania, w których zamiast tego stosowana jest warstwa MoO_3 , warstwa może być utworzona z materiału prekursorowego, takiego jak $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; podczas gdy warstwa V_2O_5 zgodnie z niektórymi przykładami wykonania może być utworzona z materiału prekursorowego, takiego jak NaVO_3 ; a warstwa WO_3 zgodnie z niektórymi przykładami wykonania może być utworzona z materiału prekursorowego, takiego jak $\text{NaWO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Stężenie materiału prekursorowego (np. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) może wpływać na ostateczną grubość warstwy (tutaj Al_2O_3) osadzonej na TiO_2 lub innym materiale aktywnym. Zatem modyfikacja stężenia materiału prekursorowego może być sposobem, za pomocą którego można kontrolować ostateczną grubość cienkiej warstwy. Na przykład, większa grubość cienkiej warstwy może wynikać z większego stężenia materiału prekursorowego. Większa grubość cienkiej warstwy niekoniecznie musi skutkować większym PCE w urządzeniu fotowoltaicznym zawierającym warstwę z tlenu metalu. Tak więc, sposób w niektórych przykładach wykonania może obejmować powlekanie warstwy TiO_2 (lub innej mezoporowatej) przy użyciu materiału prekursorowego o stężeniu w zakresie około 0,5 do 10,0 mM; inne przykłady wykonania mogą obejmować powlekanie warstwy materiałem prekursorowym o stężeniu w zakresie około 2,0 do 6,0 mM; lub, w innych przykładach wykonania, około 2,5 do 5,5 mM.

[0030] Ponadto, chociaż w niniejszym dokumencie jest mowa o Al_2O_3 i/lub tlenku glinu, należy zauważyć, że do tworzenia tlenu glinu mogą być stosowane różne stosunki glinu i tlenu. Tak więc, chociaż niektóre przykłady wykonania omówione w niniejszym dokumencie są opisane w odniesieniu do Al_2O_3 , taki opis nie ma na celu określenia wymaganego stosunku

glinu do tlenu. Przykłady wykonania mogą raczej obejmować jeden lub wiele związków tlenu glinu, z których każdy ma stosunek tlenu glinu zgodny z Al_xO_y , gdzie x może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy około 1 i 100. W niektórych przykładach wykonania, x może wynosić pomiędzy około 1 i 3 (i ponownie, nie musi być liczbą całkowitą). Podobnie, y może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy 0,1 i 100. W niektórych przykładach wykonania, y może wynosić pomiędzy 2 i 4 (i ponownie, nie musi być liczbą całkowitą). Ponadto w różnych przykładach wykonania mogą występować różne postaci krystaliczne Al_xO_y , takie jak alfa, gamma i/lub amorficzne postaci tlenu glinu.

[0031] Podobnie, chociaż w niniejszym dokumencie określa się je jako MoO_3 , WO_3 i V_2O_5 , takie związki mogą zamiast tego lub dodatkowo być przedstawiane odpowiednio jako Mo_xO_y , W_xO_y i V_xO_y . W odniesieniu do każdego z Mo_xO_y i W_xO_y , x może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy około 0,5 i 100; w niektórych przykładach wykonania może wynosić pomiędzy około 0,5 i 1,5. Podobnie, y może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, z przedziału pomiędzy około 1 i 100. W niektórych przykładach wykonania, y może być dowolną wartością pomiędzy około 1 i 4. W odniesieniu do V_xO_y , x może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, w zakresie pomiędzy około 0,5 i 100; w niektórych przykładach wykonania może wynosić pomiędzy około 0,5 i 1,5. Podobnie, y może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, z przedziału pomiędzy około 1 i 100; w niektórych przykładach wykonania może być wartością całkowitą lub niecałkowitą z przedziału pomiędzy około 1 i 10.

[0032] Podobnie, odniesienia w niektórych ilustracyjnych przykładach wykonania do $CsSnI_3$ nie mają na celu ograniczenia proporcji pierwiastków składowych w związkach cesowo-cynowo-jodowych zgodnie z różnymi przykładami wykonania. Niektóre przykłady wykonania mogą obejmować stechiometryczne i/lub niestechiometryczne ilości cyny i jodku, a zatem takie przykłady wykonania mogą zamiast tego lub dodatkowo obejmować różne proporcje cezu, cyny i jodu, takie jak jeden lub wiele związków cesowo-cynowo-jodowych, z których każdy ma stosunek $Cs_xSn_yI_z$. W takich przykładach wykonania, x może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy 0,1 i 100. W niektórych przykładach wykonania, x może wynosić pomiędzy około 0,5 i 1,5 (i ponownie, nie musi być liczbą całkowitą). Podobnie, y może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy 0,1 i 100. W niektórych przykładach wykonania, y może wynosić pomiędzy około 0,5 i 1,5 (i ponownie, nie musi być liczbą całkowitą). Podobnie, z może być dowolną wartością, całkowitą lub niecałkowitą, pomiędzy 0,1 i 100. W niektórych przykładach wykonania z może wynosić pomiędzy około 2,5 i 3,5. Dodatkowo $CsSnI_3$ może być domieszkowany lub łączony z innymi materiałami, takimi jak SnF_2 , w proporcjach $CsSnI_3:SnF_2$ w zakresie od 0,1:1 do 100:1, w tym wszystkie wartości (całkowite i niecałkowite) pomiędzy.

[0033] Ponadto, cienkowarstwowy IFL może zawierać dwuwarstwę. Tak więc, wracając do przykładu, w którym cienka warstwa IFL zawiera tlenek metalu (taki jak tlenek glinu), cienka warstwa IFL może zawierać TiO_2 plus tlenek metalu. Taka cienka warstwa IFL może mieć większą odporność na rekombinację ładunku w porównaniu z mezoporowatym TiO_2 lub innym materiałem aktywnym. Ponadto, podczas tworzenia warstwy TiO_2 , często konieczne jest zastosowanie wtórnej warstwy TiO_2 w celu zapewnienia wystarczającego fizycznego połączenia cząstek TiO_2 , zgodnie z niektórymi przykładami wykonania niniejszego ujawnienia. Powlekanie dwuwarstwowego cienkowarstwowego IFL na mezoporowatym TiO_2 (lub innym mezoporowatym materiale aktywnym) może obejmować kombinację powlekania przy użyciu związku zawierającego zarówno tlenek metalu, jak i $TiCl_4$, co skutkuje dwuwarstwowym cienkowarstwowym IFL zawierającym kombinację tlenu metalu i wtórnej warstwy TiO_2 , co może zapewnić poprawę wydajności w porównaniu z użyciem każdego z tych materiałów osobno.

[0034] IFL według niniejszego wynalazku zawiera tytanian. Tytanian według niniejszego wynalazku ma wzór ogólny $M'TiO_3$, gdzie: M' zawiera kationową postać Be, Mg, Ca, Sr, Ni, Zn, Cd, Hg, Cu, Pd, Pt, Sn, Fe lub Pb. W niektórych przykładach wykonania, IFL może

zawierać pojedynczy gatunek tytanianu, a w innych przykładach wykonania, IFL może zawierać dwa lub więcej różnych gatunków tytanianów. W jednym przykładzie wykonania tytanian ma wzór SrTiO_3 . W jeszcze innym przykładzie wykonania tytanian może mieć wzór CaTiO_3 .

[0035] Tytułem wyjaśnienia i nie sugerując żadnych ograniczeń, tytaniany mają perowskitową strukturę krystaliczną i silnie zasilają proces konwersji wzrostu MAPbI_3 . Tytaniany zazwyczaj spełniają również inne wymagania IFL, takie jak zachowanie ferroelektryczne, wystarczająca ruchliwość nośników ładunku, przezroczystość optyczna, dopasowane poziomy energii i wysoka stała dielektryczna.

[0036] Każdy omawiany w niniejszym dokumencie materiał międzyfazowy może ponadto zawierać domieszkowane kompozycje. Aby zmodyfikować właściwości (np. elektryczne, optyczne, mechaniczne) materiału międzyfazowego, materiał stechiometryczny lub niestechiometryczny może być domieszkowany jednym lub wieloma pierwiastkami (np. Na, Y, Mg, N, P) w ilościach od zaledwie 1 ppb do 50% mol. Niektóre przykłady materiałów międzyfazowych obejmują: NiO , TiO_2 , SrTiO_3 , Al_2O_3 , ZrO_2 , WO_3 , V_2O_5 , MO_3 , ZnO , grafen i sadzę. Przykłady możliwych domieszek dla tych materiałów międzyfazowych obejmują: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Sc, Y, Nb, Ti, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Sn, In, B, N, P, C, S, As, halogenek, pseudohalogenek (np. cyjanek, cyjanian, izocyjanian, piorunian, tiocyjanian, izotiocyjanian, azydek, kobaltan tetrakarbonylu, karbamojodocyjanometanek, dicyjanonitrozometanek, dicyjanamid i tricyjanometanek) oraz Al w dowolnym stanie utlenienia. Odniesienia w niniejszym dokumencie do domieszkowanych materiałów międzyfazowych nie mają na celu ograniczenia proporcji pierwiastków składowych w związkach materiałów międzyfazowych.

[0037] FIG. 10 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **4400** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **4400** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 10 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **4400** zawiera pierwsze i drugie podłoże **4401** i **4407**. Pierwsza elektroda (ITO) **4402** jest usytuowana na wewnętrznej powierzchni pierwszego podłoża **4401**, a druga elektroda (Ag) **4406** jest usytuowana na wewnętrznej powierzchni drugiego podłoża **4407**. Warstwa aktywna **4450** jest usytuowana pomiędzy dwiema elektrodami **4402** i **4406**. Warstwa aktywna **4450** zawiera pierwszą warstwę IFL (np. SrTiO_3) **4403**, materiał fotoaktywny (np. MAPbI_3) **4404** i warstwę transportującą ładunek **4405** (np. Spiro-OMeTAD).

[0038] Omówione wcześniej cienkowarstwowe IFL i sposoby ich powlekania na TiO_2 mogą być stosowane w DSSC zawierających elektrolity ciekłe. Tak więc, wracając do przykładu cienkowarstwowego IFL i odnosząc się do FIG. 1 dla przykładu, DSSC z FIG. 1 może ponadto zawierać cienką warstwę IFL, jak opisano powyżej, pokrytą warstwą mezoporowatą **1505** (tj. cienka warstwa IFL zostanie umieszczona między warstwą mezoporowatą **1505** a barwnikiem **1504**).

[0039] Urządzenie z materiału perowskitowego można utworzyć przez odlanie PbI_2 na podłoże ITO pokryte SrTiO_3 . PbI_2 można przekształcić w MAPbI_3 w procesie zanurzenia. Proces ten opisano bardziej szczegółowo poniżej. Ten proces konwersji jest bardziej kompletny (jak zaobserwowano za pomocą spektroskopii optycznej) w porównaniu do przygotowania podłoża bez SrTiO_3 .

[0040] W niektórych przykładach wykonania, cienkowarstwowe IFL omówione wcześniej w kontekście DSSC mogą być stosowane w dowolnej warstwie międzyfazowej urządzenia półprzewodnikowego, takiego jak PV (np. hybrydowe PV lub inne PV), tranzystor polowy, dioda elektroluminescencyjna, nieliniowe urządzenie optyczne, memrystor, kondensator, prostownik, antena prostownicza itp. Ponadto, cienkowarstwowe IFL niektórych przykładów wykonania mogą być stosowane w dowolnym z różnych urządzeń w połączeniu z innymi związkami omówionymi w niniejszym ujawnieniu, w tym między innymi z jednym lub

wieloma z następujących różnych przykładów wykonania niniejszego ujawnienia: stały materiał transportujący dziury, taki jak materiał aktywny, i dodatki (takie jak, w niektórych wariantach wykonania, kwas chenodeoksycholowy lub 1,8-dijodooktan).

[0041] W niektórych przykładach wykonania, wiele IFL wykonanych z różnych materiałów może być ułożonych obok siebie, tworząc kompozytową IFL. Konfiguracja ta może obejmować dwie różne IFL, trzy różne IFL lub jeszcze większą liczbę różnych IFL. Powstała w ten sposób wielowarstwowa IFL lub kompozytowa IFL może być używana zamiast jednomateriałowej IFL. Na przykład, kompozytowa IFL może być użyta jako IFL **2626** i/lub jako IFL **2627** w ogniwie **2610**, przedstawionym na przykładzie z FIG. 4. Podczas gdy kompozytowa IFL różni się od jednomateriałowej IFL, montaż ogniwa fotowoltaicznego z materiału perowskitowego mającego wielowarstwowe IFL nie różni się zasadniczo od montażu ogniwa fotowoltaicznego z materiału perowskitowego mającego tylko jednomateriałowe IFL.

[0042] Ogólnie, kompozytowa IFL może być wykonana przy użyciu dowolnego z materiałów omówionych w niniejszym dokumencie jako odpowiednich dla IFL. W jednym przykładzie wykonania, IFL zawiera warstwę Al_2O_3 i warstwę ZnO lub M:ZnO (domieszkowane ZnO, np. Be:ZnO, Mg:ZnO, Ca:ZnO, Sr:ZnO, Ba:ZnO, Sc:ZnO, Y:ZnO, Nb:ZnO). W jednym przykładzie wykonania, IFL zawiera warstwę ZrO_2 i warstwę ZnO lub M:ZnO. W niektórych przykładach wykonania IFL zawiera wiele warstw. W niektórych przykładach wykonania, wielowarstwowy IFL ma zazwyczaj warstwę przewodzącą, warstwę dielektryczną i warstwę półprzewodzącą. W konkretnych przykładach wykonania warstwy mogą powtarzać się, na przykład, warstwa przewodząca, warstwa dielektryczna, warstwa półprzewodząca, warstwa dielektryczna i warstwa półprzewodząca. Przykłady wielowarstwowych IFL obejmują IFL mające warstwę ITO, warstwę Al_2O_3 , warstwę ZnO i drugą warstwę Al_2O_3 ; IFL mające warstwę ITO, warstwę Al_2O_3 , warstwę ZnO, drugą warstwę Al_2O_3 i drugą warstwę ZnO; iFL mające warstwę ITO, warstwę Al_2O_3 , warstwę ZnO, drugą warstwę Al_2O_3 , drugą warstwę ZnO i trzecią warstwę Al_2O_3 ; oraz IFL mające tyle warstw, ile jest konieczne do osiągnięcia pożądanej charakterystyki działania. Jak omówiono wcześniej, odniesienia do pewnych współczynników stechiometrycznych nie mają na celu ograniczenia proporcji elementów składowych w warstwach IFL zgodnie z różnymi przykładami wykonania.

[0043] Ułożenie dwóch lub więcej sąsiadujących IFL jako kompozytowej IFL może przewyższać pojedynczą IFL w ogniwach fotowoltaicznych z materiałem perowskitowym, w których atrybuty każdego materiału IFL mogą być wykorzystane w pojedynczej IFL. Na przykład w architekturze z warstwą ITO, warstwą Al_2O_3 i warstwą ZnO, gdzie ITO jest elektrodą przewodzącą, Al_2O_3 jest materiałem dielektrycznym, a ZnO jest półprzewodnikiem typu n, ZnO działa jako akceptor elektronów o dobrych właściwościach transportu elektronów (np. ruchliwości). Dodatkowo, Al_2O_3 jest fizycznie wytrzymałym materiałem, który dobrze przylega do ITO, homogenizuje powierzchnię poprzez ograniczanie defektów powierzchniowych (np. pułapek ładunkowych) i poprawia charakterystykę diody urządzenia poprzez tłumienie prądu ciemnego.

[0044] FIG. 11 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **4500** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **4500** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 11 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **4500** zawiera pierwsze i drugie podłoże **4501** i **4508**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **4502** jest usytuowana na wewnętrznej powierzchni pierwszego podłoża **4501**, a druga elektroda (np. Ag) **4507** jest usytuowana na wewnętrznej powierzchni drugiego podłoża **4508**. Warstwa aktywna **4550** jest usytuowana pomiędzy dwiema elektrodami **4502** i **4507**. Warstwa aktywna **4550** zawiera kompozytową warstwę IFL zawierającą pierwszą warstwę IFL (np. Al_2O_3) **4503** i drugą warstwę IFL (np. ZnO) **4504**, materiał fotoaktywny (np. MAPbI_3) **4505** i warstwę transportującą ładunek (np. Spiro-OMeTAD) **4506**.

[0045] FIG. 13-20 przedstawiają stylizowane schematy urządzeń z materiałów perowskitowych. Chociaż różne składniki urządzeń są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 13-18 są stylizowanymi schematami niebędące częścią niniejszego wynalazku; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Przykładowe urządzenia zawierają warstwy i materiały opisane w niniejszym dokumencie. Urządzenia mogą zawierać warstwę podłoża (np. szkło), warstwy elektrod (np. ITO, Ag), warstwy międzyfazowe, które mogą być kompozytowymi IFL (np. ZnO, Al₂O₃, Y:ZnO i/lub Nb:ZnO), materiał fotoaktywny (np. MAPbI₃, FAPbI₃, 5-AVA·HCl: MAPbI₃ i/lub CHP: MAPbI₃) oraz warstwę transportującą ładunek (np. Spiro-OMeTAD, PCDTBT, TFB, TPD, PTB7, F8BT, PPV, MDMO-PPV, MEH-PPV i/lub P3HT).

[0046] FIG. 13 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6100** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6100** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 13 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6100** zawiera podłoże (np. Szkło) **6101**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6102** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6101**, a druga elektroda (np. Ag) **6107** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6150**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6102** i **6107**. Warstwa aktywna **6150** zawiera kompozytową warstwę IFL zawierającą pierwszą warstwę IFL (np. Al₂O₃) **6103** i drugą warstwę IFL (np. ZnO) **6104**, materiał fotoaktywny (np. MAPbI₃) **6105** i warstwę transportującą ładunek (np. Spiro-OMeTAD) **6106**.

[0047] FIG. 14 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6200** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6200** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 14 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6200** zawiera podłoże (np. Szkło) **6201**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6202** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6201**, a druga elektroda (np. Ag) **6206** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6250**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6202** i **6206**. Warstwa aktywna **6250** zawiera IFL (np. Y:ZnO) **6203**, materiał fotoaktywny (np. MAPbI₃) **6204** i warstwę transportującą ładunek (np. P3HT) **6205**.

[0048] FIG. 15 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6300** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6300** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 15 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6300** zawiera podłoże (np. Szkło) **6301**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6302** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6301**, a druga elektroda (np. Ag) **6309** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6350**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6302** i **6309**. Warstwa aktywna **6350** zawiera kompozytową warstwę IFL zawierającą pierwszą warstwę IFL (np. Al₂O₃) **6303**, drugą warstwę IFL (np. ZnO) **6304**, trzecią warstwę IFL (np. Al₂O₃) **6305** i czwartą warstwę IFL (np. ZnO) **6306**, materiał fotoaktywny (np. MAPbI₃) **6307** i warstwę transportującą ładunek (np. PCDTBT) **6308**.

[0049] FIG. 16 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6400** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6400** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał,

należy rozumieć, że FIG. 16 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6400** zawiera podłoże (np. Szkło) **6401**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6402** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6401**, a druga elektroda (np. Ag) **6409** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6450**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6402** i **6409**. Warstwa aktywna **6450** zawiera kompozytową warstwę IFL zawierającą pierwszą warstwę IFL (np. Al_2O_3) **6403**, drugą warstwę IFL (np. ZnO) **6404**, trzecią warstwę IFL (np. Al_2O_3) **6405** i czwartą warstwę IFL (np. ZnO) **6406**, materiał fotoaktywny (np. 5-AVA·HCL:MAPbI₃) **6407** i warstwę transportującą ładunek (np. PCDTBT) **6408**.

[0050] FIG. 17 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6500** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6500** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 17 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6500** zawiera podłoże (np. Szkło) **6501**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6502** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6501**, a druga elektroda (np. Ag) **6506** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6550**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6502** i **6506**. Warstwa aktywna **6550** zawiera IFL (np. Nb:ZnO) **6503**, materiał fotoaktywny (np. FAPbI₃) **6504** i warstwę transportującą ładunek (np. P3HT) **6505**.

[0051] FIG. 18 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6600** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6600** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 18 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6600** zawiera podłoże (np. Szkło) **6601**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6602** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6601**, a druga elektroda (np. Ag) **6606** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6650**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6602** i **6606**. Warstwa aktywna **6650** zawiera IFL (np. Y:ZnO) **6603**, materiał fotoaktywny (np. CHP;MAPbI₃) **6604** i warstwę transportującą ładunek (np. P3HT) **6605**.

[0052] FIG. 19 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6700** z materiału perowskitowego zgodnego z niektórymi przykładami wykonania. Chociaż różne składniki urządzenia **6700** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 19 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady wykonania zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **6700** zawiera podłoże (np. Szkło) **6701**. Pierwsza elektroda (np.

[0053] ITO) **6702** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni **6701** podłoża, a druga elektroda (np. Al) **6707** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6750**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6702** i **6707**. Warstwa aktywna **6750** zawiera IFL (np. SrTiO_3) **6703**, materiał fotoaktywny (np. FAPbI₃) **6704**, pierwszą warstwę transportującą ładunek (np. P3HT) **6705** i drugą warstwę transportującą ładunek (np. MoOx) **6706**.

[0054] FIG. 20 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **6800** z materiału perowskitowego niebędącego częścią niniejszego wynalazku. Chociaż różne składniki urządzenia **6800** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 16 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym

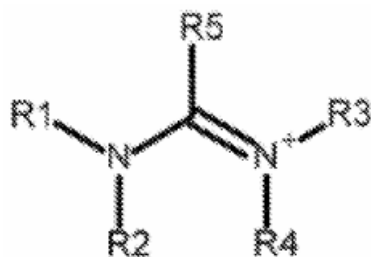
dokumentacie. Urządzenie **6800** zawiera podłoże (np. Szkło) **6801**. Pierwsza elektroda (np. ITO) **6802** jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni podłoża **6801**, a druga elektroda (np. Al) **6811** jest umieszczona na wierzchu warstwy aktywnej **6850**, która jest umieszczona pomiędzy dwiema elektrodami **6802** i **6811**. Warstwa aktywna **6850** obejmuje kompozytową warstwę IFL zawierającą pierwszą warstwę IFL (np. Al_2O_3) **6803**, drugą warstwę IFL (np. ZnO) **6804**, trzecią warstwę IFL (np. Al_2O_3) **6805**, czwartą warstwę IFL (np. ZnO) **6806** i piątą warstwę IFL (np. Al_2O_3) **6807**, ZnO) **6806** i piątą IFL (np. Al_2O_3) **6807**, materiał fotoaktywny (np. FAPbI_3) **6808**, pierwszą warstwę transportującą ładunek (np. P3HT) **6809** i drugą warstwę transportującą ładunek (np. MoOx) **6810**.

Materiał Perowskitowy

[0055] Materiał perowskitowy może być włączony do różnych aspektów urządzenia fotowoltaicznego lub innego urządzenia. Materiał perowskitowy według niniejszego wynalazku ma wzór ogólny CMX_3 , gdzie: C zawiera jeden lub wiele kationów zgodnie z zastrzeżeniami; M zawiera jeden lub wiele metali (przykłady obejmują Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Zn, Ti); i X zawiera jeden lub wiele anionów zgodnie z zastrzeżeniami. W niektórych przykładach wykonania, C może zawierać jeden lub wiele kationów organicznych.

[0056] W niektórych przykładach nie stanowiących części niniejszego wynalazku, C może obejmować amon, kation organiczny o ogólnym wzorze $[\text{NR}_4]^+$, gdzie grupy R mogą być takie same lub różne. Odpowiednie grupy R obejmują w sposób nieograniczony: grupę metylową, etylową, propylową, butylową, pentylową lub ich izomer; dowolny alkan, alken lub alkin C_xH_y , gdzie $x = 1 - 20$, $y = 1 - 42$, cykliczny, rozgałęziony lub prosty łańcuch; halogenki alkilowe, $\text{C}_x\text{H}_y\text{X}_z$, $x = 1 - 20$, $y = 0 - 42$, $z = 1 - 42$, $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}$ lub I ; dowolną grupę aromatyczną (np. fenyl, alkilofenyl, alkoksyfenyl, pirydyna, naftalen); kompleksy cykliczne, w których co najmniej jeden azot jest zawarty w pierścieniu (np. pirydyna, pirol, pirolidyna, piperidyna, tetrahydrochinolina); dowolną grupę zawierającą siarkę (np. sulfotlenek, tiol, siarczek alkilowy); dowolną grupę zawierającą azot (nitrotlenek, amina); dowolną grupę zawierającą fosfor (fosforan); dowolną grupę zawierającą bor (np. kwas boronowy); dowolny kwas organiczny (np. kwas octowy, kwas propanowy); oraz ich pochodne estrowe lub amidowe; dowolny aminokwas (np. glicyna, cysteina, prolina, kwas glutaminowy, arginina, seryna, histydyna, kwas 5-amino-walerianowy), w tym pochodne alfa, beta, gamma i większe; dowolną grupę zawierającą krzem (np. siloksan); oraz dowolną grupę alkoksylową lub grupę - OC_xH_y , gdzie $x = 0 - 20$, $y = 1 - 42$.

[0057] W niektórych przykładach wykonania, C może obejmować formamidynę, kation organiczny o ogólnym wzorze $[\text{R}_2\text{NCRNR}_2]^+$, gdzie grupy R mogą być takie same lub różne. Odpowiednie grupy R obejmują w sposób nieograniczony: wodór, grupę metylową, etylową, propylową, butylową, pentylową lub ich izomer; dowolny alkan, alken lub alkin C_xH_y , gdzie $x = 1 - 20$, $y = 1 - 42$, cykliczny, rozgałęziony lub prosty łańcuch; halogenki alkilowe, $\text{C}_x\text{H}_y\text{X}_z$, $x = 1 - 20$, $y = 0 - 42$, $z = 1 - 42$, $X = \text{F}, \text{Cl}, \text{Br}$ lub I ; dowolną grupę aromatyczną (np. fenyl, alkilofenyl, alkoksyfenyl, pirydyna, naftalen); kompleksy cykliczne, w których co najmniej jeden azot jest zawarty w pierścieniu (np. imidazol, benzimidazol, dihydropirydyna, (azolidynylidenometylo)pirolidyna, triazol); dowolną grupę zawierającą siarkę (np. sulfotlenek, tiol, siarczek alkilowy); dowolną grupę zawierającą azot (nitrotlenek, amina); dowolną grupę zawierającą fosfor (fosforan); dowolną grupę zawierającą bor (np. kwas boronowy); dowolny kwas organiczny (kwas octowy, kwas propanowy); oraz ich pochodne estrowe lub amidowe; dowolny aminokwas (np. glicyna, cysteina, prolina, kwas glutaminowy, arginina, seryna, histydyna, kwas 5-amino-walerianowy), w tym pochodne alfa, beta, gamma i większe; dowolną grupę zawierającą krzem (np. siloksan); oraz dowolną grupę alkoksylową lub grupę - OC_xH_y , gdzie $x = 0 - 20$, $y = 1 - 42$.



Wzór 1

[0058] Wzór 1 przedstawia strukturę kationu formamidynowego o wzorze ogólnym $[R_2NCRNR_2]^+$, jak opisano powyżej. Wzór 2 przedstawia przykładowe struktury wielu kationów formamidynowych, które mogą służyć jako kation „C” w materiale perowskitowym.



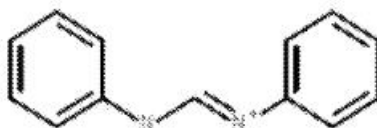
Hydroksy-[(hydroksyamino)metyleno]amon



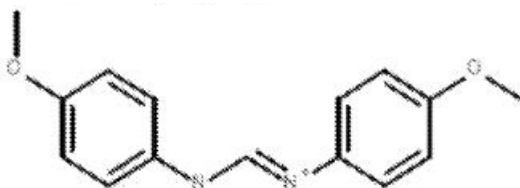
Metylo(metyloaminometyleno)amon



Cykloheksylo-[(cykloksehyloamino)metyleno]amon



Anilinometyleno(fenylo)amon



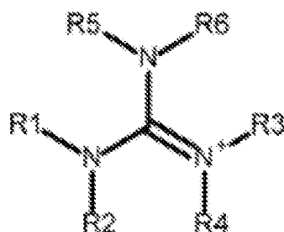
(Metocyjanino)metyleno-(4-metoksyfenylo)amon



Tienylo-[(2-tienyloamino)metyleno]amon

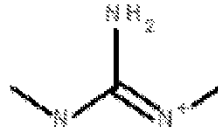
Wzór 2

[0059] W niektórych przykładach wykonania, C może obejmować guanidynę, kation organiczny o ogólnym wzorze $[(R_2N)_2C=NR_2]^+$, gdzie grupy R mogą być takie same lub różne. Odpowiednie grupy R obejmują w sposób nieograniczony: wodór, grupę metylową, etylową, propylową, butylową, pentylową lub ich izomer; dowolny alkan, alken lub alkin C_xH_y , gdzie $x = 1 - 20$, $y = 1 - 42$, cykliczny, rozgałęziony lub prosty łańcuch; halogenki alkilowe, $C_xH_yX_z$, $x = 1 - 20$, $y = 0 - 42$, $z = 1 - 42$, $X = F, Cl, Br$ lub I ; dowolną grupę aromatyczną (np. fenyl, alkilofenyl, alkoksyfenyl, pirydyna, naftalen); kompleksy cykliczne, w których co najmniej jeden azot jest zawarty w pierścieniu (np. oktahydropiryrido[1,2-a]pirymidyna, pirymido[1,2-a]pirymidyna, heksahydroimidazo[1,2-a]imidazol, heksahydropirydyn-2-imina); dowolną grupę zawierającą siarkę (np. sulfotlenek, tiol, siarczek alkilowy); dowolną grupę zawierającą azot (nitrotlenek, amina); dowolną grupę zawierającą fosfor (fosforan); dowolną grupę zawierającą bor (np. kwas boronowy); dowolny kwas organiczny (kwas octowy, kwas propanowy); oraz ich pochodne estrowe lub amidowe; dowolny aminokwas (np. glicyna, cysteina, prolina, kwas glutaminowy, arginina, seryna, histydyna, kwas 5-amino-walerianowy), w tym pochodne alfa, beta, gamma i większe; dowolną grupę zawierającą krzem (np. siloksan); oraz dowolną grupę alkoksyłową lub grupę $-OC_xH_y$, gdzie $x = 0 - 20$, $y = 1 - 42$.

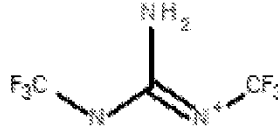


Wzór 3

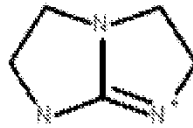
[0060] Wzór 3 przedstawia strukturę kationu guanidyniowego o ogólnym wzorze $[(R_2N)_2C=NR_2]^+$, jak opisano powyżej. Wzór 4 przedstawia przykładowe struktury wielu kationów guanidyniowych, które mogą służyć jako kation „C” w materiale perowskitowym.



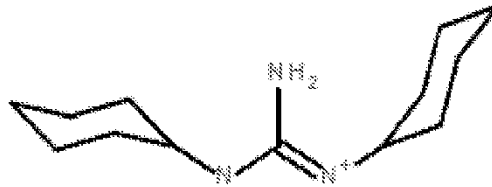
[Amino-(metyloamino)metyleno]-metylo-amon



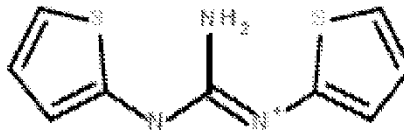
[Amino-(trifluorometyloamino)metyleno]-(trifluorometylo)amon



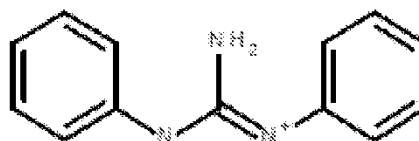
2,3,5,6-Tetrahydro-1H-imidazo[1,2-a]imidazol-7



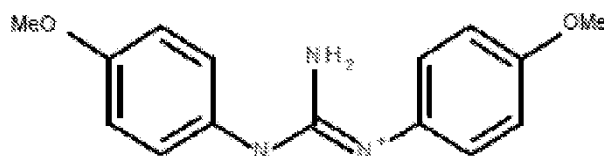
[Amino-(cykloheksyloamino)metyleno]-cykloheksylo-amon



[Amino-(2-tenyloamino)metyleno]-(2-tienylo)-amon

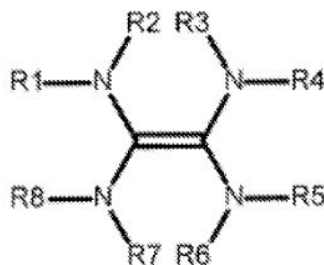


Amino-(anikino)metyleno]-fenylo-amon



[Amino-(4-metoksyanylo)metyleno]-(4-metoksyfenylo)amon

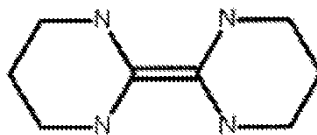
[0061] W niektórych przykładach wykonania, C może obejmować kation tetraminowy etenu, kation organiczny o ogólnym wzorze $[(R_2N)_2C=C(NR_2)_2]^+$, gdzie grupy R mogą być tymi samymi lub różnymi grupami. Odpowiednie grupy R obejmują w sposób nieograniczony: wodór, grupę metylową, etylową, propylową, butylową, pentyłową lub ich izomer; dowolny alkan, alken lub alkin C_xH_y , gdzie $x = 1 - 20$, $y = 1 - 42$, cykliczny, rozgałęziony lub prosty łańcuch; halogenki alkilowe, $C_xH_yX_z$, $x = 1 - 20$, $y = 0 - 42$, $z = 1 - 42$, $X = F, Cl, Br$ lub I ; dowolną grupę aromatyczną (np. fenyl, alkilofenyl, alkoksyfenyl, pirydyna, naftalen); kompleksy cykliczne, w których co najmniej jeden azot jest zawarty w pierścieniu (np. 2-heksahidropirydyn-2-ylidenoheksahidropirydyna, oktahidropirazyno[2,3-b]pirazyna, pirazyno[2,3-b]pirazyna, chinoksalino[2,3-b]chinoksalina); dowolną grupę zawierającą siarkę (np. sulfotlenek, tiol, siarczek alkilowy); dowolną grupę zawierającą azot (nitrotlenek, amina); dowolną grupę zawierającą fosfor (fosforan); dowolną grupę zawierającą bor (np. kwas boronowy); dowolny kwas organiczny (kwas octowy, kwas propanowy); oraz ich pochodne estrowe lub amidowe; dowolny aminokwas (np. glicyna, cysteina, prolina, kwas glutaminowy, arginina, seryna, histydyna, kwas 5-amino-walerianowy), w tym pochodne alfa, beta, gamma i większe; dowolną grupę zawierającą krzem (np. siloksan); oraz dowolną grupę alkoksylową lub grupę $-OC_xH_y$, gdzie $x = 0 - 20$, $y = 1 - 42$.



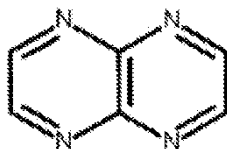
Wzór 5

[0062] Wzór 5 przedstawia strukturę kationu tetraminowego etenu o ogólnym wzorze $[(R_2N)_2C=C(NR_2)_2]^+$, jak opisano powyżej. Wzór 6 przedstawia przykłady struktur wielu jonów tetraminowych etenu, które mogą służyć jako kation „C” w materiale perowskitowym.

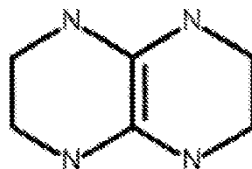
2-heksahydropirymidyno-2-ylidenoheksahydropirymidyna



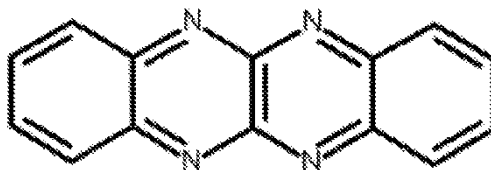
pyrazino[2,3-b]pirazyna



1,2,3,4,5,6,7,8-oktahydropirazyno[2,3-b]pirazyna

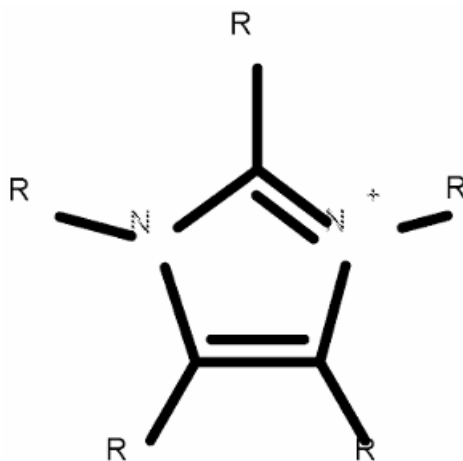


chinoksalino[2,3-b]chinoksalina



Wzór 6

[0063] W niektórych przykładach wykonania, C może obejmować kation imidazoliowy, aromatyczny, cykliczny kation organiczny o ogólnym wzorze $[CRNRCRNRCR]^+$, gdzie grupy R mogą być tymi samymi lub różnymi grupami. Odpowiednie grupy R obejmują w sposób nieograniczony: wodór, grupę metylową, etylową, propylową, butylową, pentylową lub ich izomer; dowolny alkan, alken lub alkin C_xH_y , gdzie $x = 1 - 20$, $y = 1 - 42$, cykliczny, rozgałęziony lub prosty łańcuch; halogenki alkilowe, $C_xH_yX_z$, $x = 1 - 20$, $y = 0 - 42$, $z = 1 - 42$, $X = F, Cl, Br$ lub I ; dowolną grupę aromatyczną (np. fenyl, alkilofenyl, alkoksyfenyl, pirydyna, naftalen); kompleksy cykliczne, w których co najmniej jeden azot jest zawarty w pierścieniu (np. 2-heksahydropirymidyn-2-ylidenoheksahydropirymidyna, oktahydropirazyno[2,3-b]pirazyna, pirazyno[2,3-b]pirazyna, chinoksalino[2,3-b]chinoksalina); dowolną grupę zawierającą siarkę (np. sulfotlenek, tiol, siarczek alkilowy); dowolną grupę zawierającą azot (nitrotlenek, amina); dowolną grupę zawierającą fosfor (fosforan); dowolną grupę zawierającą bor (np. kwas boronowy); dowolny kwas organiczny (kwas octowy, kwas propanowy); oraz ich pochodne estrowe lub amidowe; dowolny aminokwas (np. glicyna, cysteina, prolina, kwas glutaminowy, arginina, seryna, histydyna, kwas 5-amino-walerianowy), w tym pochodne alfa, beta, gamma i większe; dowolną grupę zawierającą krzem (np. siloksan); oraz dowolną grupę alkoksyłową lub grupę $-OC_xH_y$, gdzie $x = 0 - 20$, $y = 1 - 42$.



Wzór 7

[0064] W niektórych przykładach wykonania, X może zawierać jeden lub wiele halogenków. W niektórych przykładach wykonania, X może zamiast lub dodatkowo zawierać anion z Grupy 16. W niektórych przykładach wykonania anionem z Grupy 16 może być siarczek lub selenek. W niektórych przykładach wykonania, X może zamiast lub dodatkowo zawierać jeden lub wiele pseudohalogenków (np. cyjanek, cyjanian, izocyjanian, piorunian, tiocyjanian, izotiocyjanian, azydek, kobaltan tetrakarbonylu, karbamojodicyanometanek, dicyjanonitrozometanek, dicyjanamid i tricyjanometanek). W niektórych przykładach wykonania, każdy organiczny kation C może być większy niż każdy metal M, a każdy anion X może być zdolny do wiązania się zarówno z kationem C, jak i metalem M. Przykłady materiałów perowskitowych według różnych przykładów wykonania obejmują CsSnI_3 (wcześniej omówione w niniejszym dokumencie) i $\text{Cs}_x\text{Sn}_y\text{I}_z$ (przy czym z x, y i z zmieniają się zgodnie z poprzednim omówieniem). Inne przykłady obejmują związki o ogólnym wzorze $\text{Cs}_x\text{Sn}_y\text{I}_z$, gdzie X może być jednym lub wieloma z: I_3 , $\text{I}_{2,95}\text{F}_{0,05}$; I_2Cl ; ICl_2 ; i Cl_3 . W innych przykładach wykonania, X może zawierać jeden lub wiele z I, Cl, F i Br w takich ilościach, że całkowity stosunek X w porównaniu do Cs i Sn daje ogólną stechiometrię CsSnX_3 . W niektórych przykładach wykonania, połączona stechiometria pierwiastków tworzących X może być zgodna z tymi samymi zasadami co I_z , które zostały wcześniej omówione w odniesieniu do $\text{Cs}_x\text{Sn}_y\text{I}_z$. Jeszcze inne przykłady obejmują związki o ogólnym wzorze RNH_3PbX_3 , gdzie R może być $\text{C}_n\text{H}_{2n+1}$, z n w zakresie od 0-10, a X może zawierać jeden lub wiele spośród F, Cl, Br i I w takich ilościach, że całkowity stosunek X w porównaniu do kationu RNH_3 i metalu Pb daje ogólną stechiometrię RNH_3PbX_3 . Ponadto, niektóre specyficzne przykłady R obejmują H, łańcuchy alkilowe (np. CH_3 , CH_3CH_2 , $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2$, i tak dalej) oraz aminokwasy (np. glicyna, cysteina, prolina, kwas glutaminowy, arginina, seryna, histydyna, kwas 5-amino-walerianowy), w tym alfa, beta, gamma i większe pochodne.

Konstrukcja Urządzenia z Kompozytowym Materiałem Perowskitowym

[0065] W niektórych przykładach wykonania, niniejsze ujawnienie może zapewnić kompozytową konstrukcję PV i innych podobnych urządzeń (np. akumulatory, hybrydowe akumulatory PV, FET, diody LED itp.), w tym jednego lub wielu materiałów perowskitowych. Na przykład, jeden lub wiele materiałów perowskitowych może służyć jako jeden lub oba z pierwszego i drugiego materiału aktywnego w niektórych przykładach wykonania (np. materiały aktywne 2810 i 2815 z FIG. 5). W sposób bardziej ogólny, niektóre przykłady wykonania niniejszego ujawnienia zapewniają urządzenia fotowoltaiczne lub inne urządzenia

mające warstwę aktywną zawierającą jeden lub wiele materiałów perowskitowych. W takich przykładach wykonania, materiał perowskitowy (tj. materiał zawierający jeden lub wiele materiałów perowskitowych) może być stosowany w warstwach aktywnych o różnych architekturach. Co więcej, materiał perowskitowy może pełnić funkcję jednego lub wielu składników warstwy aktywnej (np. materiału transportującego ładunek, materiału mezoporowatego, materiału fotoaktywnego i/lub materiału międzyfazowego, z których każdy omówiono bardziej szczegółowo poniżej). W niektórych przykładach wykonania, te same materiały perowskitowe mogą pełnić wiele takich funkcji, chociaż w innych przykładach wykonania, wiele materiałów perowskitowych może być zawartych w urządzeniu, przy czym każdy materiał perowskitowy pełni jedną lub wiele takich funkcji. W niektórych przykładach wykonania, niezależnie od roli, jaką może pełnić materiał perowskitowy, może on być przygotowany i/lub obecny w urządzeniu w różnych stanach. Na przykład, w niektórych przykładach wykonania może być zasadniczo stały. W innych przykładach wykonania może to być roztwór (np. materiał perowskitowy może być rozpuszczony w cieczy i obecny we wspomnianej cieczy w poszczególnych podgatunkach jonowych); lub może to być zawiesina (np. cząstek materiału perowskitowego). Roztwór lub zawiesina mogą być powlekanie lub w inny sposób osadzone w urządzeniu (np. na innym elemencie urządzenia, takim jak mezoporowata, międzyfazowa, transportująca ładunek, fotoaktywna lub inna warstwa i/lub na elektrodzie). Materiały perowskitowe w niektórych przykładach wykonania mogą być formowane in situ na powierzchni innego elementu urządzenia (np. poprzez osadzanie z fazy gazowej jako cienka warstwa stała). Można zastosować dowolne inne odpowiednie środki do tworzenia stałej lub ciekłej warstwy zawierającej materiał perowskitowy.

[0066] W sposób ogólny, urządzenie z materiałem perowskitowym może zawierać pierwszą elektrodę, drugą elektrodę i warstwę aktywną zawierającą materiał perowskitowy, przy czym warstwa aktywna jest umieszczona co najmniej częściowo pomiędzy pierwszą i drugą elektrodą. W niektórych przykładach wykonania, pierwsza elektroda może być jedną spośród anody i katody, a druga elektroda może być drugą spośród anody i katody. Warstwa aktywna zgodna z niektórymi przykładami wykonania może zawierać jeden lub wiele składników warstwy aktywnej zgodnie z zastrzeżeniami, w tym jeden lub wiele z: materiału transportującego ładunek; ciekłego elektrolitu; materiału mezoporowatego; materiału fotoaktywnego (np. barwnika, krzemu, tellurku kadmu, siarczku kadmu, selenku kadmu, selenku galu indowo-miedziowego, arsenku galu, fosforu indowo-germanowego, polimerów stałych, innych materiałów fotoaktywnych); i materiału międzyfazowego. Dowolny z tych składników warstwy aktywnej może zawierać jeden lub wiele materiałów perowskitowych. W niektórych przykładach wykonania, niektóre lub wszystkie elementy warstwy aktywnej mogą być w całości lub częściowo rozmieszczone w podwarstwach. Na przykład, warstwa aktywna może zawierać jedną lub wiele z: warstwy międzyfazowej zawierającej materiał międzyfazowy; warstwy mezoporowatej zawierającej materiał mezoporowaty; oraz warstwy transportującej ładunek zawierającej materiał transportujący ładunek. W niektórych przykładach wykonania materiał fotoaktywny, taki jak barwnik, może być powleczony lub w inny sposób umieszczony na jednej lub wielu z tych warstw. W niektórych przykładach wykonania, jedna lub wiele warstw może być pokryta ciekłym elektrolitem. Ponadto, warstwa międzyfazowa może być zawarta pomiędzy dowolnymi dwiema lub wieloma warstwami tej warstwy aktywnej zgodnie z niektórymi przykładami wykonania, i/lub pomiędzy warstwą a powłoką (np. pomiędzy barwnikiem a warstwą mezoporowatą), i/lub pomiędzy dwiema warstwami (np. pomiędzy ciekłym elektrolitem a barwnikiem), i/lub pomiędzy składnikiem warstwy aktywnej a elektrodą. Odniesienie do warstw w niniejszym dokumencie może obejmować albo ostateczny układ (np. zasadniczo oddzielne części każdego materiału oddzielnie definiowane w urządzeniu), i/lub odniesienie do warstwy może oznaczać układ podczas budowy urządzenia, niezależnie od możliwości późniejszego mieszania materiału (materiałów) w każdej warstwie. W niektórych przykładach wykonania warstwy mogą być oddzielne i zawierać zasadniczo przylegający materiał (np. warstwy mogą być stylistycznie

przedstawione na FIG. 1). W innych przykładach wykonania, warstwy mogą być w znacznym stopniu wymieszane (jak w przypadku np. ogniw BHJ, hybrydowych i niektórych ogniw DSSC), czego przykładem jest pierwszy i drugi materiał aktywny **2618** i **2620** w warstwie fotoaktywnej **2616** na FIG. 4. W niektórych przykładach wykonania, urządzenie może zawierać mieszaninę tych dwóch rodzajów warstw, jak przedstawiono na przykładzie urządzenia z FIG. 4, która zawiera oddzielnie przylegające do siebie warstwy **2627**, **2626** i **2622**, oprócz warstwy fotoaktywnej **2616** zawierającej wymieszane warstwy pierwszego i drugiego materiału aktywnego **2618** i **2620**. W każdym przypadku, dowolne dwie lub więcej warstw dowolnego rodzaju mogą być w niektórych przykładach wykonania umieszczone obok siebie (i/lub wymieszane ze sobą) w taki sposób, aby uzyskać dużą powierzchnię styku. W niektórych przykładach wykonania, warstwa zawierająca materiał perowskitowy może być umieszczona w sąsiedztwie jednej lub wielu innych warstw, aby uzyskać wysoką powierzchnię styku (np. gdy materiał perowskitowy wykazuje niską ruchliwość ładunku). W innych przykładach wykonania, wysoka powierzchnia styku może nie być konieczna (np. gdy materiał perowskitowy wykazuje wysoką mobilność ładunku).

[0067] Urządzenie z materiału perowskitowego zgodne z niektórymi przykładami wykonania może opcjonalnie zawierać jedno lub wiele podłoży. W niektórych przykładach wykonania, jedna lub obie z pierwszej i drugiej elektrody mogą być pokryte lub w inny sposób umieszczone na podłożu, tak że elektroda jest umieszczona zasadniczo pomiędzy podłożem a warstwą aktywną. Materiały, z których wykonane są urządzenia (np. podłoże, elektroda, warstwa aktywna i/lub składniki warstwy aktywnej) mogą być w całości lub w części sztywne lub elastyczne w różnych przykładach wykonania. W niektórych przykładach wykonania elektroda może działać jako podłoże, tym samym eliminując potrzebę stosowania oddzielnego podłoża.

[0068] Ponadto, urządzenie z materiału perowskitowego według niektórych przykładów wykonania może opcjonalnie zawierać materiał zbierający światło (np. w warstwie zbierającej światło, takiej jak warstwa **1601** zbierająca światło, jak przedstawiono na przykładzie PV przedstawionym na FIG. 2). Ponadto, urządzenie z materiału perowskitowego może zawierać jeden lub wiele dodatków, takich jak jeden lub wiele dodatków omówionych powyżej w odniesieniu do niektórych przykładów wykonania niniejszego ujawnienia.

[0069] Opis niektórych z różnych materiałów, które mogą być zawarte w urządzeniu z materiału perowskitowego, zostanie częściowo przedstawiony na FIG. 7. FIG. 7 przedstawia stylizowany schemat urządzenia **3900** z materiału perowskitowego zgodnego z niektórymi przykładami wykonania. Chociaż różne składniki urządzenia **3900** są przedstawione jako oddzielne warstwy zawierające przylegający materiał, należy rozumieć, że FIG. 7 jest stylizowanym schematem; w związku z tym przykłady wykonania zgodne z nim mogą obejmować takie oddzielne warstwy i/lub zasadniczo wymieszane, nie sąsiadujące ze sobą warstwy, zgodnie z użyciem „warstw” omówionych wcześniej w niniejszym dokumencie. Urządzenie **3900** zawiera pierwsze i drugie podłoże **3901** i **3913**. Pierwsza elektroda **3902** jest usytuowana na wewnętrznej powierzchni pierwszego podłoża **3901**, a druga elektroda **3912** jest usytuowana na wewnętrznej powierzchni drugiego podłoża **3913**. Warstwa aktywna **3950** jest usytuowana pomiędzy dwiema elektrodami **3902** i **3912**. Warstwa aktywna **3950** zawiera warstwę mezoporowatą **3904**; pierwszy i drugi materiał fotoaktywny **3906** i **3908**; warstwę **3910** transportującą ładunek i wiele warstw pośrednich. FIG. 7 przedstawia ponadto przykładowe urządzenie **3900** zgodnie z przykładami wykonania, w których podwarstwy warstwy aktywnej **3950** są oddzielone warstwami międzyfazowymi, a ponadto warstwy międzyfazowe są umieszczone na każdej elektrodzie **3902** i **3912**. W szczególności, druga, trzecia i czwarta warstwa międzyfazowa **3905**, **3907** i **3909** są odpowiednio umieszczone pomiędzy każdą z warstw mezoporowatych **3904**, pierwszym materiałem fotoaktywnym **3906**, drugim materiałem fotoaktywnym **3908** i warstwą **3910** transportującą ładunek. Pierwsza i piąta warstwa międzyfazowa **3903** i **3911** są odpowiednio umieszczone pomiędzy (i) pierwszą elektrodą **3902** i warstwą mezoporowatą **3904**; oraz (ii) warstwą **3910** transportującą ładunek i drugą elektrodą **3912**. Tak więc architekturę przykładowego urządzenia przedstawionego na

FIG. 7 można scharakteryzować jako: podłoże-elektroda-warstwa aktywna-elektroda-podłoże. Architektura warstwy aktywnej **3950** można scharakteryzować jako: warstwa międzyfazowa - warstwa mezoporowata - warstwa międzyfazowa - materiał fotoaktywny - warstwa międzyfazowa - materiał fotoaktywny - warstwa międzyfazowa - warstwa transportująca ładunek - warstwa międzyfazowa. Jak wspomniano wcześniej, w niektórych przykładach wykonania, jedna lub wiele warstw międzyfazowych może być zawarta tylko pomiędzy niektórymi, ale nie wszystkimi, składnikami warstwy aktywnej i/lub składnikami urządzenia.

[0070] Podłoże, takie jak jedno lub oba z pierwszych i drugich podłoża **3901** i **3913**, może być elastyczne lub sztywne. Jeśli w zestawie znajdują się dwa podłoża, co najmniej jedno z nich powinno być przezroczyste lub półprzezroczyste dla promieniowania elektromagnetycznego (EM) (takiego jak np. promieniowanie UV, widzialne lub podczerwone). Jeśli w zestawie znajduje się jedno podłoże, może ono być podobnie przezroczyste lub półprzezroczyste, choć nie musi, o ile część urządzenia pozwala na kontakt promieniowania EM z warstwą aktywną **3950**. Odpowiednie materiały podłoża zawierają co najmniej jeden z następujących materiałów: szkło; szafir; tlenek magnezu (MgO); mika; polimery (np. PET, PEG, polipropylen, polietylen itp.); ceramika; tkaniny (np. bawełna, jedwab, wełna); drewno; płyty gipsowo-kartonowe; metal; i ich kombinacje.

[0071] Jak wspomniano wcześniej, elektroda (np. jedna z elektrod **3902** i **3912** na FIG. 7) może być zarówno anodą i katodą. W niektórych przykładach wykonania jedna elektroda może działać jako katoda, a druga jako anoda. Jedna lub obie elektrody **3902** i **3912** mogą być połączone z przewodami, kablami, drutami lub innymi środkami umożliwiającymi transport ładunku do i/lub z urządzenia 3900. Elektrode może stanowić dowolny materiał przewodzący, a co najmniej jedna elektroda powinna być przezroczysta lub półprzezroczysta dla promieniowania EM i/lub być ułożona w sposób umożliwiający promieniowaniu EM kontakt z co najmniej częścią warstwy aktywnej **3950**. Odpowiednie materiały elektrodowe mogą obejmować co najmniej jeden z następujących materiałów: tlenek indowocynowy lub tlenek indowocynowy z domieszką cyny (ITO); tlenek cyny z domieszką fluoru (FTO); tlenek kadmu (CdO); tlenek cynkowo-indowocynowy (ZITO); tlenek glinowo-cynkowy (AZO); aluminium (Al); złoto (Au); wapń (Ca); magnez (Mg); tytan (Ti); stal; węgiel (i jego alotropy); oraz ich kombinacje.

[0072] Materiał mezoporowaty (np. materiał zawarty w warstwie mezoporowatej **3904** z FIG. 7) może zawierać dowolny materiał zawierający pory. W niektórych przykładach wykonania pory mogą mieć średnicę od około 1 do około 100 nm; w innych przykładach wykonania średnica porów może wynosić od około 2 do około 50 nm. Odpowiedni materiał mezoporowaty zawiera co najmniej jeden z: dowolnego materiału międzyfazowego i/lub materiału mezoporowatego omówionego w innym miejscu niniejszego dokumentu; aluminium (Al); bizmutu (Bi); indu (In); molibdenu (Mo); niobu (Nb); niklu (Ni); krzemu (Si); tytanu (Ti); wanadu (V); cynku (Zn); cyrkonu (Zr); tlenku co najmniej jednego z powyższych metali (np. tlenku glinu, tlenku ceru, tlenku tytanu, tlenku cyrkonu itp., tlenek glinu, tlenek ceru, tlenek tytanu, tlenek cynku, cyrkon itp.); siarczku jednego lub wielu z powyższych metali; azotku jednego lub wielu z powyższych metali; oraz ich kombinacji.

[0073] Materiał fotoaktywny (np. pierwszy lub drugi materiał fotoaktywny **3906** lub **3908** z FIG. 7) może zawierać dowolny związek fotoaktywny, taki jak jeden lub wiele związków krzemu (w niektórych przypadkach krzem monokrystaliczny), tellurek kadmu, siarczek kadmu, selenek kadmu, selenek galu indowomiedziowy, arsenek galu, fosforek indu germanu, jeden lub wiele polimerów półprzewodnikowych i ich kombinacje. W niektórych przykładach wykonania, materiał fotoaktywny może zamiast lub dodatkowo zawierać barwnik (np. N719, N3, inne barwniki na bazie rutenu). W niektórych przykładach wykonania, barwnik (o dowolnym składzie) może być powlekany na inną warstwę (np. warstwę mezoporowatą i/lub warstwę międzyfazową). W niektórych przykładach wykonania, materiał fotoaktywny może zawierać jeden lub wiele materiałów perowskitowych. Substancja fotoaktywna zawierająca materiał perowskitowy może mieć postać stałą lub w niektórych przykładach wykonania może

mieć postać barwnika, który zawiera zawieszinę lub roztwór zawierający materiał perowskitowy. Taki roztwór lub zawieszina może być nakładana na inne elementy urządzenia w sposób podobny do innych barwników. W niektórych przykładach wykonania, stały materiał zawierający perowskit może być osadzany za pomocą dowolnych odpowiednich środków (np. osadzanie z fazy gazowej, osadzanie z roztworu, bezpośrednie umieszczanie stałego materiału itp.) Urządzenia zgodne z różnymi przykładami wykonania mogą zawierać jeden, dwa, trzy lub wiele związków fotoaktywnych (np. jeden, dwa, trzy lub więcej materiałów perowskitowych, barwników lub ich kombinacji). W niektórych przykładach wykonania zawierających wiele barwników lub innych materiałów fotoaktywnych, każdy z dwóch lub wielu barwników lub innych materiałów fotoaktywnych może być oddzielony jedną lub wieloma warstwami międzyfazowymi. W niektórych przykładach wykonania, wiele barwników i/lub związków fotoaktywnych może być co najmniej częściowo wymieszanych.

[0074] Materiał transportujący ładunek (np. materiał transportujący ładunek warstwy **3910** transportującej ładunek na FIG. 7) może zawierać półprzewodnikowy materiał transportujący ładunek (tj. potocznie nazywany elektrolitem półprzewodnikowym) lub może zawierać ciekły elektrolit i/lub ciecz jonową. Każdy z ciekłych elektrolitów, cieczy jonowych i półprzewodnikowych materiałów transportujących ładunek może być określany jako materiał transportujący ładunek. W niniejszym dokumencie „materiał transportujący ładunek” odnosi się do dowolnego materiału, stałego, ciekłego lub innego, zdolnego do gromadzenia nośników ładunku i/lub transportowania nośników ładunku. Na przykład, w urządzeniach fotowoltaicznych zgodnych z niektórymi przykładami wykonania, materiał transportujący ładunek może być zdolny do transportowania nośników ładunku do elektrody. Nośniki ładunku mogą obejmować dziury (których transport mógłby sprawić, że materiał transportujący ładunek byłby równie dobrze oznaczony jako „materiał transportujący dziury”) i elektrony. Dziury mogą być transportowane w kierunku anody, a elektrony w kierunku katody, w zależności od umieszczenia materiału transportującego ładunek w stosunku do katody lub anody w urządzeniu fotowoltaicznym lub innym. Odpowiednie przykłady materiałów transportujących ładunek zgodnych z niektórymi przykładami wykonania mogą obejmować jeden lub wiele z: materiałów perowskitowych; I/I_3^- ; kompleksów Co; politiofenów (np. poli(3-heksylofien) i jego pochodne lub P3HT); kopolimerów na bazie karbazolu, takich jak poliheptadekanokarbazol-ditienylobenzotiadiazol i jego pochodne (np. PCDTBT); innych kopolimerów, takich jak policyklopentaditiofen-benzotiadiazol i jego pochodne (np. PCPDTBT), polibenzoditiofenylo-tienotiofenodiył i jego pochodne (np. PTB6, PTB7, PTB7-th, PCE-10); związków poli(triaryloaminowych) i ich pochodnych (np. PTAA); Spiro-OMeTAD; polifenylenowinylenów i ich pochodnych (np. MDMO-PPV, MEH-PPV); fulerenów i/lub pochodnych fulerenów (np. C60, PCBM); oraz ich kombinacji. W niektórych przykładach wykonania, materiał transportujący ładunek może obejmować dowolny materiał, stały lub ciekły, zdolny do gromadzenia nośników ładunku (elektronów lub dziur) i/lub zdolny do transportowania nośników ładunku. Materiał transportujący ładunek w niektórych przykładach wykonania może być zatem aktywnym i/lub półprzewodzącym materiałem typu *n*- lub *p*-. Materiał transportujący ładunek może być usytuowany w pobliżu jednej z elektrod urządzenia. W niektórych przykładach wykonania może on być umieszczony w sąsiedztwie elektrody, chociaż w innych przykładach wykonania warstwa międzyfazowa może być umieszczona między materiałem transportującym ładunek a elektrodą (jak przedstawiono np. na FIG. 7 z piątą warstwą międzyfazową **3911**). W niektórych przykładach wykonania, rodzaj materiału transportującego ładunek może być wybrany na podstawie elektrody, do której jest zbliżony. Na przykład, jeśli materiał transportujący ładunek zbiera i/lub transportuje dziury, może znajdować się w pobliżu anody, aby transportować dziury do anody. Materiał transportujący ładunek może być jednak usytuowany w pobliżu katody i wybrany lub skonstruowany tak, aby transportować elektrony do katody.

[0075] Jak wcześniej zauważono, urządzenia według różnych przykładów wykonania mogą opcjonalnie zawierać warstwę międzyfazową pomiędzy dwiema innymi warstwami i/lub

materiałami. Na przykład, urządzenie z materiału perowskitowego może zawierać jedną, dwie, trzy, cztery, pięć lub więcej warstw międzyfazowych (takich jak przykładowe urządzenie z FIG. 7, które zawiera pięć warstw międzyfazowych 3903, 3905, **3907**, **3909** i **3911**). Warstwa międzyfazowa zawiera ciekłą warstwę międzyfazową $M'TiO_3$ zgodnie z zastrzeżeniami. Warstwa międzyfazowa, zgodnie z niektórymi przykładami wykonania, może zawierać dowolny odpowiedni materiał zwiększający transport ładunku i/lub gromadzenie ładunku między dwiema warstwami lub materiałami; może również pomóc w zapobieganiu lub zmniejszaniu prawdopodobieństwa rekombinacji ładunku po przetransportowaniu ładunku z jednego z materiałów sąsiadujących z warstwą międzyfazową. Odpowiednie materiały międzyfazowe mogą obejmować jeden lub wiele z: dowolnego materiału mezoporowatego i/lub materiału międzyfazowego omówionego w innym miejscu niniejszego dokumentu; Al; Bi; Co; Cu; Fe; In; Mn; Mo; Ni; platyny (Pt); Si; Sn; Ta; Ti; V; W; Nb; Zn; Zr; tlenków dowolnego z powyższych metali (np. tlenek glinu, krzemionka, titania); siarczku dowolnego z powyższych metali; azotku dowolnego z powyższych metali; funkcjonalizowanych lub niefunkcjonalizowanych grup alkilosililowych; grafitu; grafenu; fulerenów; nanorurek węglowych; i ich kombinacji (w tym, w niektórych przykładach wykonania, dwuwarstw połączonych materiałów). W niektórych przykładach wykonania warstwa międzyfazowa może zawierać materiał perowskitowy.

[0076] Urządzenie według stylizowanego przedstawienia z FIG. 7 może w niektórych przykładach wykonania być ogniwnem fotowoltaicznym, takim jak DSSC, BHJ lub hybrydowe ogniwo słoneczne. W niektórych przykładach wykonania, urządzenia według FIG. 7 mogą stanowić równoległe lub szeregowo wieloogniwe ogniwa fotowoltaiczne, akumulatory, hybrydowe akumulatory fotowoltaiczne, tranzystory FET, diody LED i/lub inne urządzenia omówione w niniejszym dokumencie. Na przykład, BHJ w niektórych przykładach wykonania może zawierać dwie elektrody odpowiadające elektrodom **3902** i **3912** oraz warstwę aktywną zawierającą co najmniej dwa materiały w interfejsie heterozłącza (np. dowolne dwa materiały i/lub warstwy tej warstwy aktywnej **3950**). Urządzenia według niniejszego wynalazku (takie jak hybrydowe akumulatory PV, równoległe lub szeregowo wieloogniwe PV itp.) zawierają warstwę aktywną zawierającą materiał perowskitowy zgodnie z zastrzeżeniami, odpowiadający warstwie aktywnej **3950** na FIG. 7. Krótko mówiąc, stylizowany charakter przedstawienia przykładowego urządzenia z FIG. 7 nie powinien w żaden sposób ograniczać dopuszczalnej konstrukcji lub architektury urządzeń w różnych przykładach wykonania zgodnie z FIG. 7.

[0077] Dodatkowe, korzystne przykłady urządzeń perowskitowych niebędące częścią niniejszego wynalazku, zostaną omówione w kategoriach dalszych stylizowanych przedstawień przykładowych urządzeń. Stylizowany charakter tych przedstawień, FIG. 8-18, podobnie nie ma na celu ograniczenia typu urządzenia, które może być skonstruowane zgodnie z jedna lub wieloma FIG. 8-18. Oznacza to, że architektury przedstawione na FIG. 8-18 można dostosować w taki sposób, aby zapewnić BHJ, akumulatory, FET, hybrydowe akumulatory PV, szeregowo wieloogniwe PV, równoległe wieloogniwe PV i inne podobne urządzenia niebędące częścią niniejszego wynalazku.

[0078] FIG. 8 przedstawia przykładowe urządzenie **4100**, które nie stanowi części niniejszego wynalazku. Urządzenie **4100** przedstawia pierwsze i drugie szklane podłoże **4101** i **4109**. Każde szklane podłoże ma elektrodę FTO umieszczoną na jego wewnętrznej powierzchni (odpowiednio pierwsza elektroda **4102** i druga elektroda **4108**), a każda elektroda ma warstwę międzyfazową osadzoną na jej wewnętrznej powierzchni: Pierwsza warstwa międzyfazowa TiO_2 **4103** jest osadzana na pierwszej elektrodzie **4102**, a druga warstwa międzyfazowa Pt **4107** jest osadzana na drugiej elektrodzie **4108**. Pomiędzy dwiema warstwami międzyfazowymi znajdują się: warstwa mezoporowata **4104** (zawierająca TiO_2); materiał fotoaktywny **4105** (zawierający materiał perowskitowy $MAPbI_3$); oraz warstwa **4106** transportująca ładunek (tutaj zawierająca $CsSnI_3$).

[0079] FIG. 9 przedstawia przykładowe urządzenie **4300** niebędące częścią niniejszego wynalazku, które pomija warstwę mezoporowatą. Urządzenie **4300** zawiera perowskitowy

materiał fotoaktywny **4304** (zawierający MAPbI_3) umieszczony pomiędzy pierwszą i drugą warstwą pośrednią **4303** i **4305** (zawierającą odpowiednio tytan i tlenek glinu). Tytanowa warstwa międzyfazowa **4303** jest pokryta pierwszą elektrodą FTO **4302**, która z kolei jest umieszczona na wewnętrznej powierzchni szklanego podłoża **4301**. Warstwa **4306** transportująca ładunek spiro-OMeTAD jest pokryta warstwą międzyfazową **4305** z tlenku glinu i umieszczona na wewnętrznej powierzchni złotej drugiej elektrody **4307**.

[0080] Jak będzie oczywiste dla specjalisty w tej dziedzinie z korzyścią dla niniejszego ujawnienia, możliwe są różne inne przykłady wykonania, takie jak urządzenie z wieloma warstwami fotoaktywnymi (czego przykładem są warstwy fotoaktywne **3906** i **3908** przykładowego urządzenia z FIG. 7). W niektórych przykładach wykonania, jak omówiono powyżej, każda warstwa fotoaktywna może być oddzielona warstwą międzyfazową (jak przedstawiono na trzeciej warstwie międzyfazowej **3907** na FIG. 7). Co więcej, warstwa mezoporowata może być umieszczona na elektrodzie, jak przedstawiono na FIG. 7 przez warstwę mezoporowatą **3904** umieszczoną na pierwszej elektrodzie **3902**. Chociaż FIG. 7 przedstawia pośrednią warstwę międzyfazową **3903** umieszczoną między nimi, w niektórych przykładach wykonania warstwa mezoporowata może być umieszczona bezpośrednio na elektrodzie.

Dodatkowe Przykłady Urządzeń z Materiałami Perowskitowymi

[0081] Inne przykładowe architektury urządzeń z materiału perowskitowego będą oczywiste dla specjalistów w dziedzinie zgodnie z zastrzeżeniami. Przykłady obejmują, ale nie ograniczają się do urządzeń zawierających warstwy aktywne o dowolnej z poniższych architektur: (1) ciekły elektrolit - materiał perowskitowy - warstwa mezoporowata; (2) materiał perowskitowy - barwnik - warstwa mezoporowata; (3) pierwszy materiał perowskitowy - drugi materiał perowskitowy - warstwa mezoporowata; (4) pierwszy materiał perowskitowy - drugi materiał perowskitowy; (5) pierwszy materiał perowskitowy - barwnik - drugi materiał perowskitowy; (6) stały materiał transportujący ładunek - materiał perowskitowy; (7) stały materiał transportujący ładunek - barwnik - materiał perowskitowy - warstwa mezoporowata; (8) stały materiał transportujący ładunek - materiał perowskitowy - barwnik - warstwa mezoporowata; (9) stały materiał transportujący ładunek - barwnik - materiał perowskitowy - warstwa mezoporowata; oraz (10) stały materiał transportujący ładunek - materiał perowskitowy - barwnik - warstwa mezoporowata. Poszczególne komponenty każdej przykładowej architektury (np. warstwa mezoporowata, materiał transportujący ładunek itp.) mogą być zgodne z powyższym omówieniem dla każdego komponentu. Ponadto każda przykładowa architektura została omówiona bardziej szczegółowo poniżej.

[0082] Jako szczególny przykład niektórych z wyżej wymienionych warstw aktywnych, w niektórych przykładach wykonania, warstwa aktywna może zawierać ciekły elektrolit, materiał perowskitowy i warstwę mezoporowatą. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: ciekły elektrolit-materiał perowskitowy-warstwa mezoporowata. Odpowiedni może być dowolny ciekły elektrolit i dowolna warstwa mezoporowata (np. TiO_2). W niektórych przykładach wykonania, materiał perowskitowy może zostać osadzony na warstwie mezoporowatej, a następnie pokryty ciekłym elektrolitem. Materiał perowskitowy w niektórych takich przykładach wykonania może działać co najmniej częściowo jako barwnik (a zatem może być fotoaktywny).

[0083] W innych przykładach wykonania warstwa aktywna może zawierać materiał perowskitowy, barwnik i warstwę mezoporowatą. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: materiał perowskitowy - barwnik-warstwa mezoporowata. Barwnik może być pokryty warstwą mezoporowatą, a materiał perowskitowy może być umieszczony na pokrytej barwnikiem warstwie mezoporowatej. Materiał perowskitowy może działać jako materiał transportujący dziury w niektórych z tych przykładów wykonania.

[0084] W jeszcze innych przykładach wykonania warstwa aktywna może zawierać pierwszy materiał perowskitowy, drugi materiał perowskitowy i warstwę mezoporowatą. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: pierwszy materiał perowskitowy-drugi materiał perowskitowy-warstwa mezoporowata. Pierwszy i drugi materiał perowskitowy mogą zawierać ten sam materiał perowskitowy lub różne materiały perowskitowe. Pierwszy i drugi materiał perowskitowy może być fotoaktywny (np. pierwszy i/lub drugi materiał perowskitowy w takich przykładach wykonania może funkcjonować co najmniej częściowo jako barwnik).

[0085] W niektórych przykładach wykonania warstwa aktywna może zawierać pierwszy materiał perowskitowy i drugi materiał perowskitowy. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: pierwszy materiał perowskitowy-drugi materiał perowskitowy. Pierwszy i drugi materiał perowskitowy mogą zawierać ten sam materiał perowskitowy lub różne materiały perowskitowe. Pierwszy i drugi materiał perowskitowy może być fotoaktywny (np. pierwszy i/lub drugi materiał perowskitowy w takich przykładach wykonania może funkcjonować co najmniej częściowo jako barwnik). Ponadto każdy z pierwszych i drugich materiałów perowskitowych może funkcjonować jako materiał transportujący dziury. W niektórych przykładach wykonania, jeden z pierwszych i drugich materiałów perowskitowych działa jako materiał transportujący elektrony, a drugi z pierwszych i drugich materiałów perowskitowych działa jako barwnik. W niektórych przykładach wykonania, pierwszy i drugi materiał perowskitowy mogą być rozmieszczone w warstwie aktywnej w sposób zapewniający wysoką powierzchnię międzyfazową między pierwszym materiałem perowskitowym a drugim materiałem perowskitowym, jak w układzie przedstawionym dla pierwszego i drugiego materiału aktywnego **2810** i **2815**, odpowiednio, na FIG. 5 (lub podobnie jak materiał typu p i n, odpowiednio **2618** i **2620**, na FIG. 4).

[0086] W niektórych przykładach wykonania, ponadto warstwa aktywna może zawierać pierwszy materiał perowskitowy i drugi materiał perowskitowy. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: pierwszy materiał perowskitowy - barwnik - drugi materiał perowskitowy. Jeden z pierwszych i drugich materiałów perowskitowych może działać jako materiał transportujący ładunek, a drugi z pierwszych i drugich materiałów perowskitowych może działać jako barwnik. W niektórych przykładach wykonania, zarówno pierwszy, jak i drugi materiał perowskitowy mogą co najmniej częściowo pełnić pokrywające się, podobne i/lub identyczne funkcje (np. oba mogą służyć jako barwnik i/lub oba mogą służyć jako materiał transportujący dziury).

[0087] W niektórych innych przykładach wykonania, warstwa aktywna może zawierać stały materiał transportujący ładunek i materiał perowskitowy. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: stały materiał transportujący ładunek - materiał perowskitowy. Na przykład, materiał perowskitowy i stały materiał transportujący ładunek mogą być rozmieszczone w warstwie aktywnej w sposób zapewniający wysoką powierzchnię międzyfazową, tak jak w układzie przedstawionym dla pierwszego i drugiego materiału aktywnego **2810** i **2815**, odpowiednio, na FIG. 5 (lub podobnie jak materiał typu p i n, odpowiednio **2618** i **2620**, na FIG. 4).

[0088] W innych przykładach wykonania, warstwa aktywna może zawierać stały materiał transportujący ładunek, barwnik, materiał perowskitowy i warstwę mezoporowatą. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: stały materiał transportujący ładunek - barwnik - materiał perowskitowy - warstwa mezoporowata. Warstwa aktywna w niektórych innych przykładach wykonania może mieć zasadniczo architekturę: stały materiał transportujący ładunek - materiał perowskitowy - barwnik - warstwa mezoporowata. Materiał perowskitowy może w niektórych przykładach wykonania służyć jako drugi barwnik. Materiał perowskitowy może w takich przykładach wykonania zwiększać szerokość widma światła widzialnego pochłanianego przez PV lub inne urządzenie zawierające warstwę aktywną takich przykładów wykonania. W niektórych przykładach wykonania materiał perowskitowy może również lub zamiast tego służyć jako warstwa międzyfazowa

między barwnikiem a warstwą mezoporowatą i/lub między barwnikiem a materiałem transportującym ładunek.

[0089] W niektórych przykładach wykonania warstwa aktywna może zawierać ciekły elektrolit, barwnik, materiał perowskitowy i warstwę mezoporowatą. Warstwa aktywna w niektórych z tych przykładów wykonania może mieć zasadniczo architekturę: stały materiał transportujący ładunek - barwnik - materiał perowskitowy - warstwa mezoporowata. Warstwa aktywna w niektórych innych przykładach wykonania może mieć zasadniczo architekturę: stały materiał transportujący ładunek - materiał perowskitowy - barwnik - warstwa mezoporowata. Materiał perowskitowy może służyć jako materiał fotoaktywny, warstwa pośrednia i/lub ich kombinacja.

[0090] Niektóre przykłady wykonania zapewniają urządzenia fotowoltaiczne BHJ, które zawierają materiały perowskitowe. Na przykład, BHJ w niektórych przykładach wykonania może zawierać warstwę fotoaktywną (np. warstwę fotoaktywną **2404** na FIG. 3), która może zawierać jeden lub wiele materiałów perowskitowych. Warstwa fotoaktywna takiego BHJ może również lub zamiast tego zawierać jeden lub wiele z wyżej wymienionych przykładowych składników omówionych powyżej w odniesieniu do warstw aktywnych DSSC. Ponadto, w niektórych przykładach wykonania, warstwa fotoaktywna BHJ może mieć architekturę zgodną z jedną z przykładowych postaci wykonania warstw aktywnych DSSC omówionych powyżej.

[0091] W niektórych przykładach wykonania, dowolna z warstw aktywnych zawierająca materiały perowskitowe włączone do fotowoltaiki lub innych urządzeń omówionych w niniejszym dokumencie, może ponadto zawierać dowolny z różnych dodatkowych materiałów również omówionych w niniejszym dokumencie jako odpowiednie do włączenia do warstwy aktywnej. Na przykład, dowolna warstwa aktywna zawierająca materiał perowskitowy może dodatkowo zawierać warstwę międzyfazową zgodną z różnymi przykładami wykonania omówionymi w niniejszym dokumencie (takimi jak np. cienkowarstwowa warstwa międzyfazowa). Na przykład, warstwa aktywna zawierająca materiał perowskitowy może dodatkowo zawierać warstwę zbierającą światło, taką jak warstwa **1601** zbierająca światło, jak przedstawiono na przykładzie PV przedstawionym na FIG. 2.

Formułowanie Warstwy Aktywnej Materiału Perowskitowego

[0092] Jak omówiono wcześniej, w niektórych przykładach wykonania materiał perowskitowy w warstwie aktywnej może mieć postać $CMX_{3-y}X'_y$ ($0 \leq y \leq 3$), gdzie: C zawiera jeden lub wiele kationów zgodnie z zastrzeżeniami; M zawiera jeden lub wiele metali (np. Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti, Zn); oraz X i X' zawierają jeden lub wiele anionów. W jednym przykładzie wykonania, materiał perowskitowy może zawierać $CPbI_{3-y}Cl_y$. W niektórych przykładach wykonania, materiał perowskitowy może być osadzany jako warstwa aktywna w urządzeniu fotowoltaicznym poprzez, na przykład, odlewanie kropelkowe, odlewanie wirowe, drukowanie szczelinowe, sitodruk lub drukowanie atramentowe na warstwie podłoża przy użyciu kroków opisanych poniżej.

[0093] Najpierw tworzy się atrament prekursora halogenku ołowiu. Pewna ilość halogenku ołowiu może być umieszczona w czystej, suchej fiolce wewnątrz komory rękawicowej (tj. komory z kontrolowaną atmosferą z otworami zawierającymi rękawice, umożliwiającymi manipulowanie materiałami w środowisku wolnym od powietrza). Odpowiednie halogenki ołowiu obejmują między innymi jodek ołowiu (II), bromek ołowiu (II), chlorek ołowiu (II) i fluorek ołowiu (II). Halogenek ołowiu może zawierać pojedynczy gatunek halogenku ołowiu lub może zawierać mieszaninę halogenków ołowiu w ściśle określonym stosunku. W niektórych przykładach wykonania mieszanina halogenków ołowiu może zawierać dowolny dwuskładnikowy, trójskładnikowy lub czwartorzędowy stosunek 0,001-100% molowych jodku, bromku, chlorku lub fluorku. W jednym przykładzie wykonania, mieszanina halogenków ołowiu może zawierać chlorek ołowiu (II) i jodek ołowiu (II) w stosunku około 10:90 mol:mol. W innych przykładach wykonania, mieszanina halogenków ołowiu może

zawierać chlorek ołowiu (II) i jodek ołowiu (II) w stosunku około 5:95, około 7,5:92,5 lub około 15:85 mol:mol.

[0094] Alternatywnie, inne prekursorzy soli ołowiu mogą być stosowane w połączeniu z solami halogenków ołowiu lub zamiast nich w celu utworzenia atramentu prekursorowego. Odpowiednie sole prekursorowe mogą zawierać dowolną kombinację ołowiu (II) lub ołowiu (IV) i następujących anionów: azotan, azotyn, karboksylan, octan, mrówczan, oksylan, siarczan, siarczyn, tiosiarczan, fosforan, tetrafluoroboran, heksafluorofosforan, boran tetra(perfluorofenyłu), wodorek, tlenek, nadtlenuk, wodorotlenek, azotek, arsenian, arsenin, nadchlorań, węglan, wodorowęglan, chromian, dichromian, jodań, bromian, chlorań, chloryn, podchloryn, podchloryn, cyjanek, cyjanian, izocyjanian, piorunian, tiocyjanian, izotiocyjanian, azydek, kobaltan tetrakarbonyłu, karbamojodicyjanometanek, dicyjanonitrozometanek, dicyjanamid, tricyjanometanek, amid i nadmanganian.

[0095] Atrament prekursorowy może ponadto zawierać sól ołowiu (II) lub ołowiu (IV) w stosunku molowym od 0 do 100% do następujących jonów metali Fe, Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti i Zn jako sól wyżej wymienionych anionów.

[0096] Następnie do fiolki można dodać rozpuszczalnik w celu rozpuszczenia stałych cząstek ołowiu, aby utworzyć atrament prekursora halogenku ołowiu. Odpowiednie rozpuszczalniki obejmują między innymi suchy N-cykloheksylo-2-pirolidon, alkilo-2-pirolidon, dimetyloformamid, dialkiloformamid, dimetylosulfotlenek (DMSO), metanol, etanol, propanol, butanol, tetrahydrofuran, formamid, tert-butylopirydynę, pirydynę, alkilopirydynę, pirolidynę, chlorobenzen, dichlorobenzen, dichlorometan, chloroform i ich kombinacje. W jednym przykładzie wykonania, stałe cząstki ołowiu są rozpuszczone w suchym dimetyloformamidzie (DMF). Ciała stałe ołowiu mogą być rozpuszczane w temperaturze pomiędzy około 20°C i około 150°C. W jednym przykładzie wykonania, ciała stałe ołowiu są rozpuszczane w temperaturze około 85°C. Ciała stałe ołowiu mogą być rozpuszczane tak długo, jak to konieczne do utworzenia roztworu, co może trwać do około 72 godzin. Powstały roztwór tworzy bazę atramentu prekursora halogenku ołowiu. W niektórych przykładach wykonania, atrament prekursora halogenku ołowiu może mieć stężenie halogenku ołowiu pomiędzy około 0,001M i około 10M. W jednym przykładzie wykonania, atrament prekursora halogenku ołowiu ma stężenie halogenku ołowiu około 1 M.

[0097] Opcjonalnie, niektóre dodatki mogą być dodawane do prekursora halogenku ołowiu, aby wpłynąć na końcową krystaliczność i stabilność perowskitu. W niektórych przykładach wykonania, atrament prekursora halogenku ołowiu może dodatkowo zawierać aminokwas (np. kwas 5-aminowalerianowy, histydynę, glicynę, likynę), hydrohalogenek aminokwasu (np. chlorowodorek kwasu 5-aminowalerianowego), środek modyfikujący powierzchnię IFL (SAM) (taki jak te omówione wcześniej w opisie) lub ich kombinację. W jednym przykładzie wykonania, chlorek formamidyny może być dodany do prekursora halogenku ołowiu. W innych przykładach wykonania można zastosować halogenek dowolnego kationu omówionego wcześniej w opisie. W niektórych przykładach wykonania, do atramentu zawierającego prekursor halogenku ołowiu można dodawać kombinacje dodatków, w tym na przykład kombinację chlorku formamidyny i chlorowodoru kwasu 5-amino walerianowego.

[0098] Tytułem wyjaśnienia i bez ograniczania ujawnienia do jakiegokolwiek konkretnej teorii mechanizmu, stwierdzono, że formamidyna i kwas 5-amino walerianowy poprawiają stabilność perowskitowego urządzenia PV, gdy są stosowane jako dodatki lub przeciwkationy w jednoetapowej produkcji urządzenia perowskitowego. Stwierdzono również, że chlorek w postaci $PbCl_2$, poprawia wydajność perowskitowego urządzenia fotowoltaicznego po dodaniu do roztworu prekursora PbI_2 w sposobie dwuetapowym. Stwierdzono, że dwuetapowy proces osadzania cienkich warstw perowskitu można usprawnić poprzez dodanie chlorku formamidyny i/lub chlorowodoru kwasu 5-amino walerianowego bezpośrednio do roztworu prekursora halogenku ołowiu (np. PbI_2), aby wykorzystać obie zalety jednego materiału. Inne procesy osadzania warstw perowskitowych mogą być również ulepszone przez dodanie chlorku

formamidyny, chlorowodoru kwasu 5-amino walerianowego lub $PbCl_2$ do roztworu prekursora halogenku ołowiu.

[0099] Dodatki, w tym chlorek formamidyny i/lub chlorowodorek kwasu 5-aminowalerianowego, mogą być dodawane do atramentu prekursora halogenku ołowiu w różnych stężeniach w zależności od pożądanych właściwości otrzymanego materiału perowskitowego. W jednym przykładzie wykonania, dodatki mogą być dodawane w stężeniu od około 1 nM do około n M. W innym przykładzie wykonania, dodatki mogą być dodawane w stężeniu od około n μ M do około 1 M. W innym przykładzie wykonania, dodatki mogą być dodawane w stężeniu od około 1 μ M do około 1 mM.

[0100] Opcjonalnie, w niektórych przykładach wykonania, do atramentu prekursora halogenku ołowiu można dodać wodę. Tytułem wyjaśnienia i bez ograniczania ujawnienia do jakiegokolwiek konkretnej teorii lub mechanizmu, obecność wody wpływa na wzrost krystaliczny cienkiej warstwy perowskitu. W normalnych warunkach woda może być wchłaniana jako para z powietrza. Możliwe jest jednak kontrolowanie krystaliczności perowskitu PV poprzez bezpośrednie dodanie wody do atramentu prekursora halogenku ołowiu w określonych stężeniach. Odpowiednia woda obejmuje wodę destylowaną, dejonizowaną lub dowolne inne źródło wody, które jest zasadniczo wolne od zanieczyszczeń (w tym minerałów). Na podstawie pomiarów I-V stwierdzono, że sprawność konwersji światła na moc w perowskitowych ogniwach fotowoltaicznych może wzrosnąć niemal trzykrotnie po dodaniu wody w porównaniu z całkowicie suchym urządzeniem.

[0101] Woda może być dodawana do atramentu prekursora halogenku ołowiu w różnych stężeniach w zależności od pożądanych właściwości powstałego materiału perowskitowego. W jednym przykładzie wykonania, woda może być dodana w stężeniu wynoszącym około 1 nL/ml do około 1 mL/ml. W innym przykładzie wykonania, woda może być dodana w stężeniu wynoszącym około 1 μ L/mL do około 0,1 mL/mL. W innym przykładzie wykonania, woda może być dodana w stężeniu wynoszącym około 1 μ L/ml do około 20 μ L/ml.

[0102] FIG. 12 przedstawia obrazy z przekrojowego skaningowego mikroskopu elektronowego porównujące perowskitowe PV wytworzone z wodą (**5110**) i bez wody (**5120**). Jak widać na FIG. 12, istnieje znaczna zmiana strukturalna w warstwie materiału perowskitowego (**5111** i **5121**), gdy woda jest wykluczona (na dole) podczas produkcji, w porównaniu do sytuacji, gdy woda jest włączona (na górze). Warstwa materiału perowskitowego **5111** (wytworzona z wodą) jest znacznie bardziej przylegająca i gęsta niż warstwa materiału perowskitowego **5121** (wytworzona bez wody).

[0103] Atrament prekursora halogenku ołowiu może być następnie osadzony na pożądanym podłożu. Odpowiednie warstwy podłoża mogą obejmować dowolne warstwy podłoża określone wcześniej w niniejszym dokumencie. Jak wspomniano powyżej, atrament prekursora halogenku ołowiu może być osadzany za pomocą różnych środków, w tym między innymi odlewania kropelkowego, odlewania wirowego, drukowania w matrycy szczelinowej, sitodruku lub drukowania atramentowego. W niektórych przykładach wykonania, atrament prekursora halogenku ołowiu może być powlekany wirowo na podłożu z prędkością wynoszącą około 500 do około 10 000 obrotów na minutę przez okres około 5 do około 600 sekund. W jednym przykładzie wykonania, atrament prekursora halogenku ołowiu może być powlekany wirowo na podłożu z prędkością około 3 000 obrotów na minutę przez około 30 sekund. Atrament prekursora halogenku ołowiu może być osadzany na podłożu w atmosferze otoczenia w zakresie wilgotności wynoszącej około 0% wilgotności względnej do około 50% wilgotności względnej. Atrament prekursora halogenku ołowiu można następnie pozostawić do wyschnięcia w atmosferze zasadniczo wolnej od wody, tj. o wilgotności względnej poniżej 20%, w celu utworzenia cienkiej warstwy.

[0104] Cienka warstwa może być następnie wyżarzana termicznie przez okres do około 24 godzin w temperaturze od około 20°C do około 300°C. W jednym przykładzie wykonania cienka warstwa może być wyżarzana termicznie przez około dziesięć minut w temperaturze około 50°C. Warstwa aktywna materiału perowskitowego może być następnie uzupełniona

procesem konwersji, w którym folia prekursorowa jest zanurzana lub płukana roztworem zawierającym rozpuszczalnik lub mieszaninę rozpuszczalników (np. DMF, izopropanol, metanol, etanol, butanol, chloroform, chlorobenzen, dimetylosulfotlenek, woda) i sól (np. jodek metyloamoniowy, jodek formamidyniowy, jodek guanidyniowy, jodek 1,2,2-triaminowinyloamoniowy, hydrojodek kwasu 5-aminowalerianowego) w stężeniu od 0,001M do 10M. W niektórych przykładach wykonania, cienkie warstwy mogą być również poddane wyżarzaniu termicznemu w taki sam sposób, jak w pierwszym wierszu tego akapitu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie fotowoltaiczne zawierające:

pierwszą elektrodę (2622, 3912, 6707);
 drugą elektrodę (2624, 3902, 6702); oraz
 warstwę aktywną (2627, 2616, 2626, 3904, 6750) umieszczoną co najmniej częściowo
 pomiędzy pierwszą i drugą elektrodą, przy czym warstwa aktywna zawiera materiał
 perowskitowy (2616, 3906, 3908, 6704) i cienką warstwę $M'TiO_3$;
 przy czym M' zawiera jeden lub wiele kationów wybranych z grupy składającej się z
 Be, Mg, Ca, Sr, Fe, Ni, Zn, Cd, Hg, Cu, Pd, Pt, Sn i Pb, oraz
 przy czym materiał perowskitowy ma wzór CMX_3 i jest umieszczony w sąsiedztwie
 $M'TiO_3$;
 przy czym C zawiera jeden lub wiele kationów wybranych z grupy składającej się z
 metali Grupy 1, metali Grupy 2, kationów formamidynowych, kationów
 guanidynowych, kationów etenotetraminowych, kationów imidazoliowych i ich
 kombinacji;
 przy czym M zawiera jeden lub wiele metali wybranych z grupy składającej się z Fe,
 Co, Ni, Cu, Sn, Pb, Bi, Ge, Ti, Zn i ich kombinacji; oraz
 przy czym X zawiera jeden lub wiele anionów wybranych z grupy składającej się z
 halogenków, pseudohalogenków, tlenków, siarczków, selenków, tellurków i ich
 kombinacji.

2. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym C oznacza guanidynę, M
 oznacza Pb, i przy czym X zawiera jeden lub wiele halogenków, lub
 przy czym C oznacza guanidynę, M oznacza Sn, i przy czym X zawiera jeden lub wiele
 halogenków.

3. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym C oznacza formamidynę, M
 oznacza Pb, i przy czym X zawiera jeden lub wiele halogenków, lub
 przy czym C oznacza formamidynę, M oznacza Sn, i przy czym X zawiera jeden lub wiele
 halogenków.

4. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym warstwa aktywna dodatkowo
 zawiera materiał mezoporowaty, lub przy czym warstwa aktywna dodatkowo zawiera
 jeden lub wiele związków, z których każdy jest wybrany z grupy składającej się z NiO,
 TiO₂, Al₂O₃, ZrO₂, WO₃, V₂O₅, MoO₃, ZnO, grafitu, grafenu, fulerenów, nanorurek
 węglowych, sadzy i ich kombinacji.

5. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym $M'TiO_3$ tworzy co najmniej
 część warstwy międzyfazowej.

6. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym

pierwsza elektroda zawiera ponadto anodę;
 druga elektroda zawiera ponadto katodę; oraz
 $M'TiO_3$ jest umieszczony pomiędzy materiałem fotoaktywnym a pierwszą elektrodą,
 lub przy czym

pierwsza elektroda zawiera ponadto anodę;
 druga elektroda zawiera ponadto katodę; oraz
 $M'TiO_3$ jest umieszczony pomiędzy materiałem fotoaktywnym a drugą elektrodą.

7. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym:

warstwa aktywna zawiera ponadto NiO;
NiO znajduje się w pobliżu pierwszej elektrody, a $M'TiO_3$ znajduje się w pobliżu drugiej elektrody; oraz
pierwsza elektroda jest anodą, a druga elektroda jest katodą,
lub
przy czym:

warstwa aktywna zawiera ponadto NiO;
NiO znajduje się w pobliżu pierwszej elektrody, a $M'TiO_3$ znajduje się w pobliżu drugiej elektrody; oraz
pierwsza elektroda jest katodą, a druga elektroda jest anodą.

8. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym:

warstwa aktywna zawiera ponadto nanorurki węglowe;
nanorurki węglowe znajdują się w pobliżu pierwszej elektrody, a $M'TiO_3$ znajduje się w pobliżu drugiej elektrody; oraz
pierwsza elektroda jest anodą, a druga elektroda jest katodą,
lub
przy czym:

warstwa aktywna zawiera ponadto nanorurki węglowe;
nanorurki węglowe znajdują się w pobliżu pierwszej elektrody, a $M'TiO_3$ znajduje się w pobliżu drugiej elektrody; oraz
pierwsza elektroda jest katodą, a druga elektroda jest anodą.

9. Urządzenie fotowoltaiczne według zastrzeżenia 1, przy czym warstwa aktywna zawiera ponadto co najmniej jeden związek wybrany z grupy składającej się z Al, Bi, Co, Cu, Fe, In, Mn, Mo, Ni, Pt, Si, Sn, Ta, Ti, V, W, Nb, Zn, Zr, tlenku któregośkolwiek z powyższych metali, siarczku któregośkolwiek z powyższych metali, azotku któregośkolwiek z powyższych metali, grup alkilosililowych, grafitu, grafenu, fulerenów, nanorurek węglowych, materiału mezoporowatego oraz ich kombinacji.

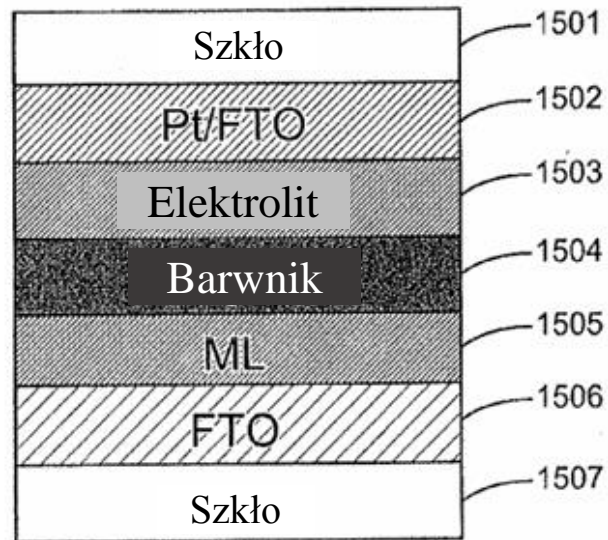


Fig. 1

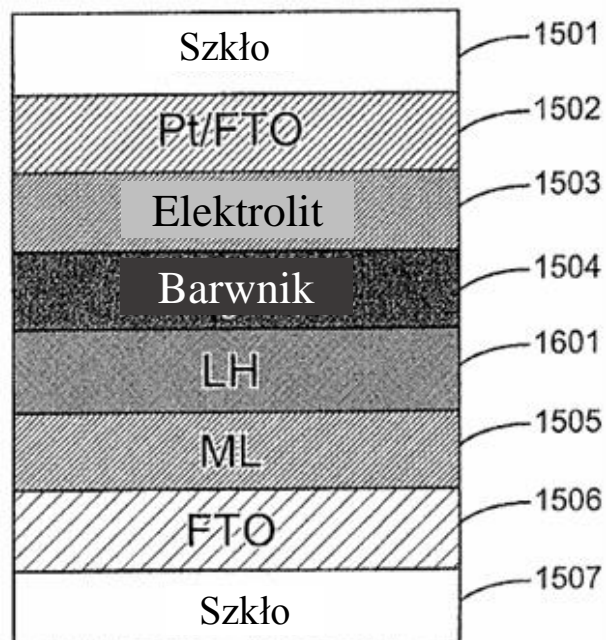


Fig. 2

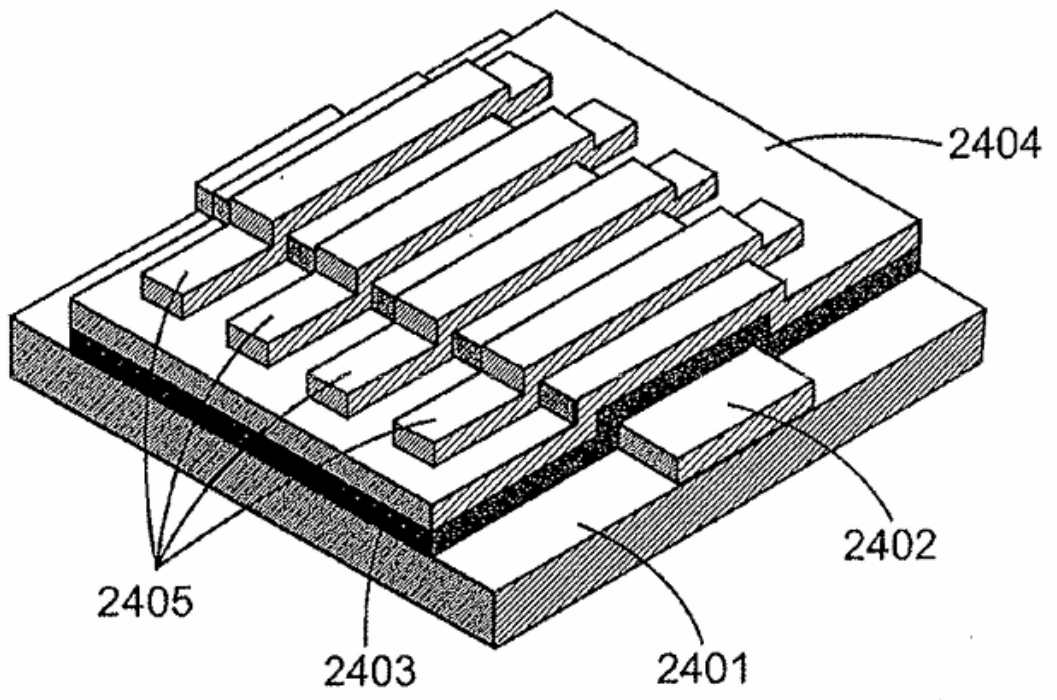


Fig. 3

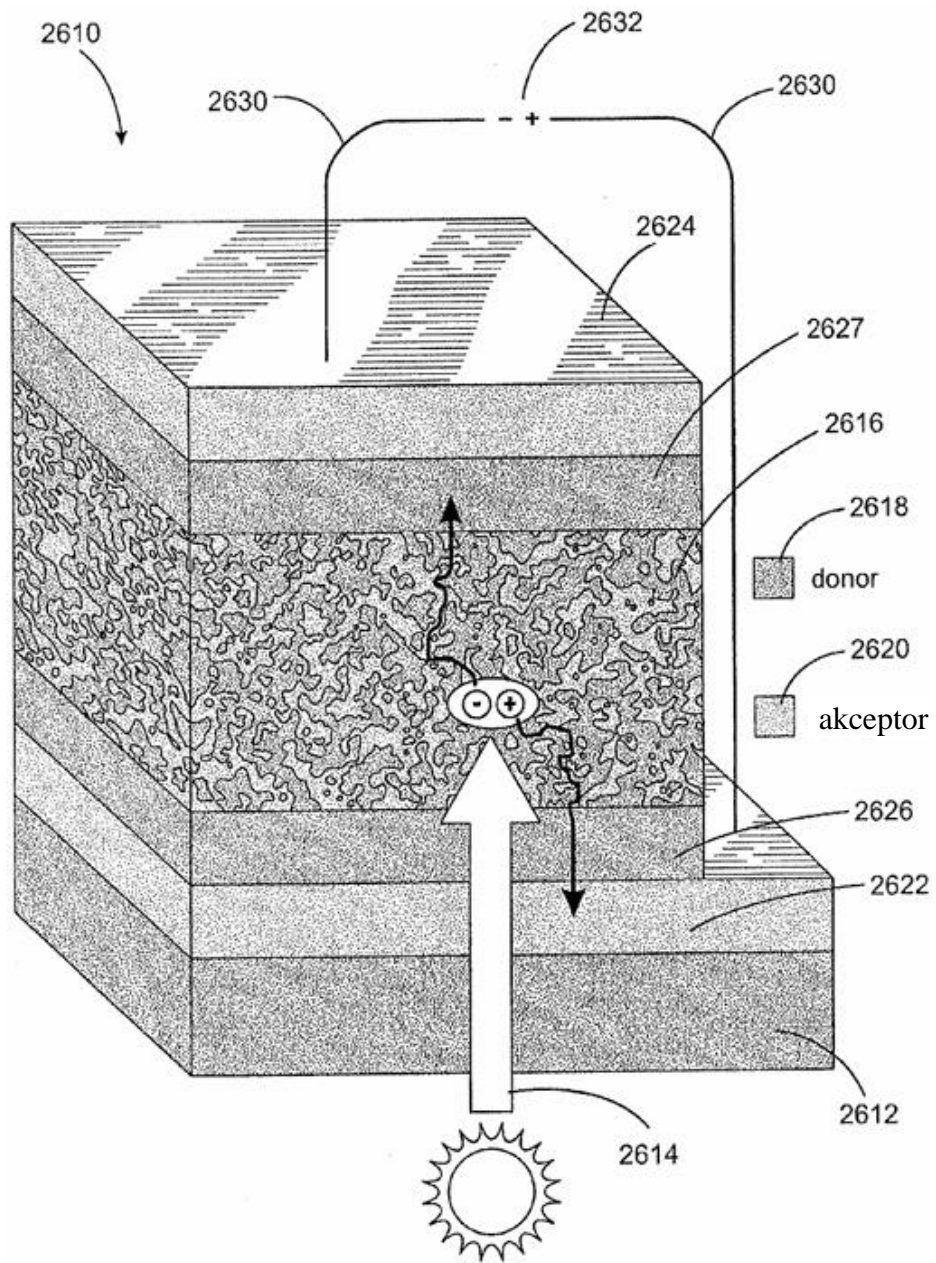


Fig. 4

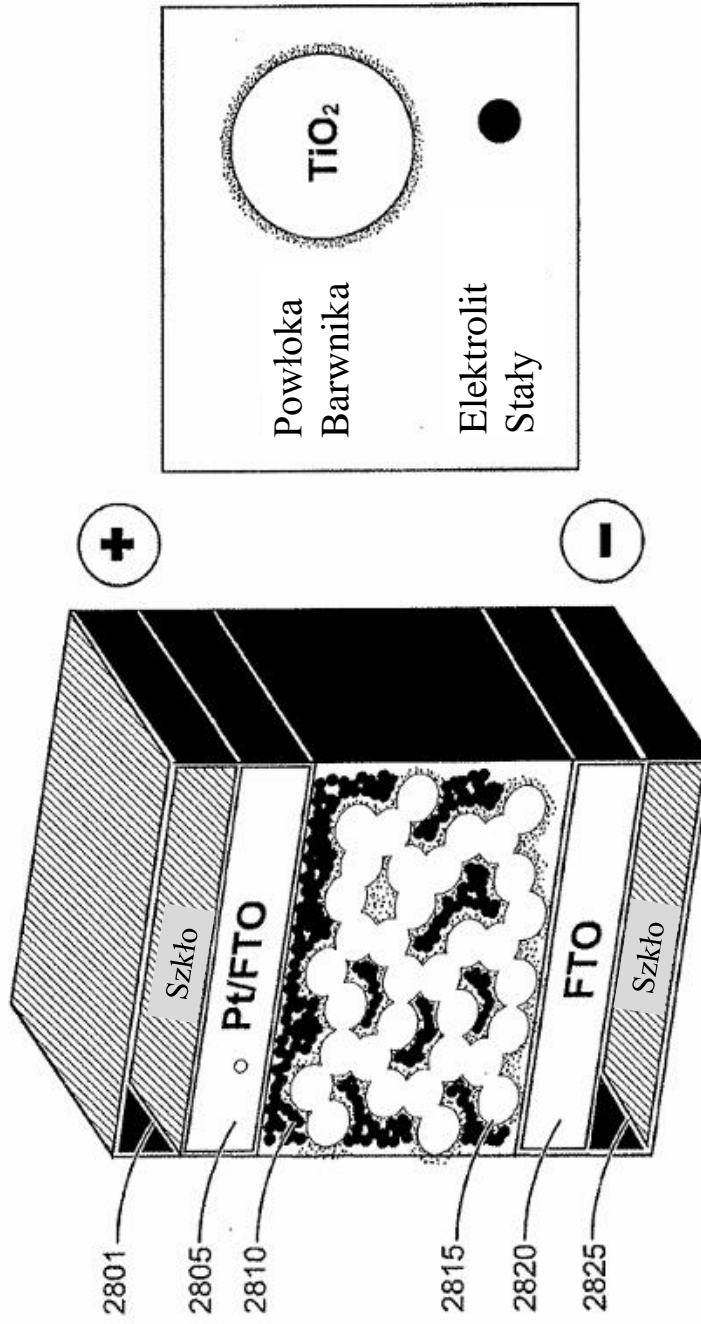


Fig. 5

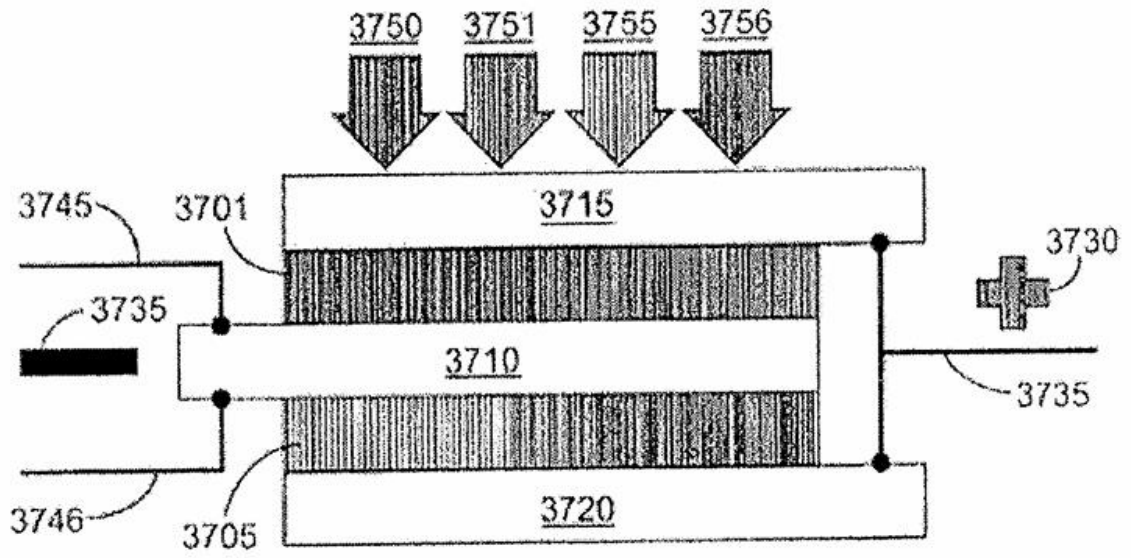


Fig. 6

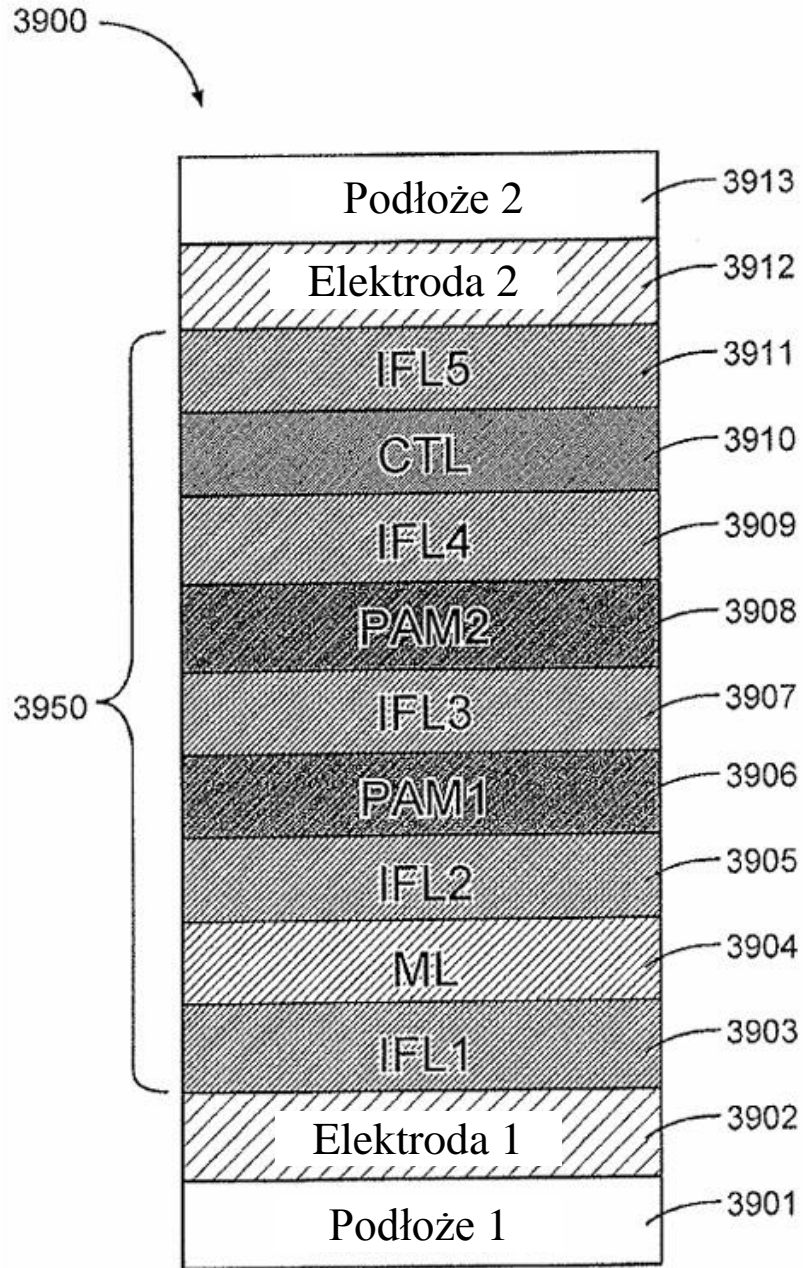


Fig. 7

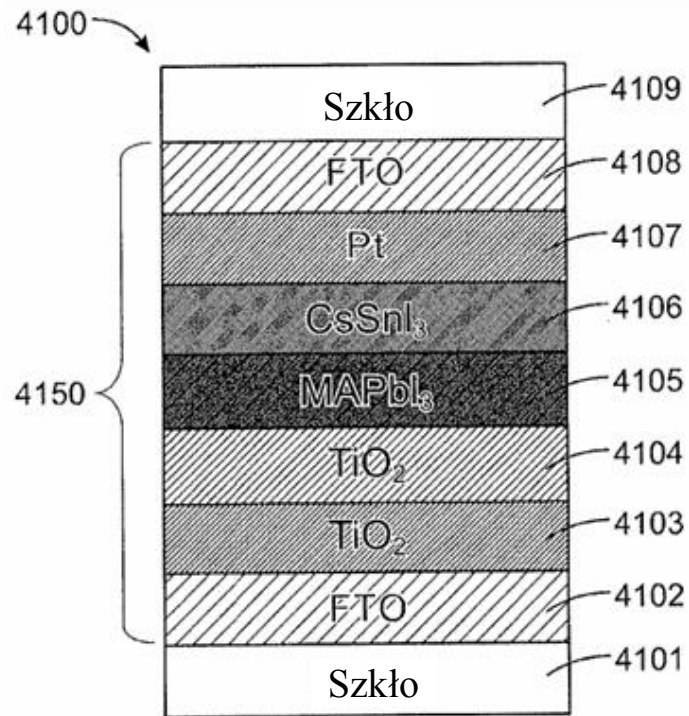


Fig. 8

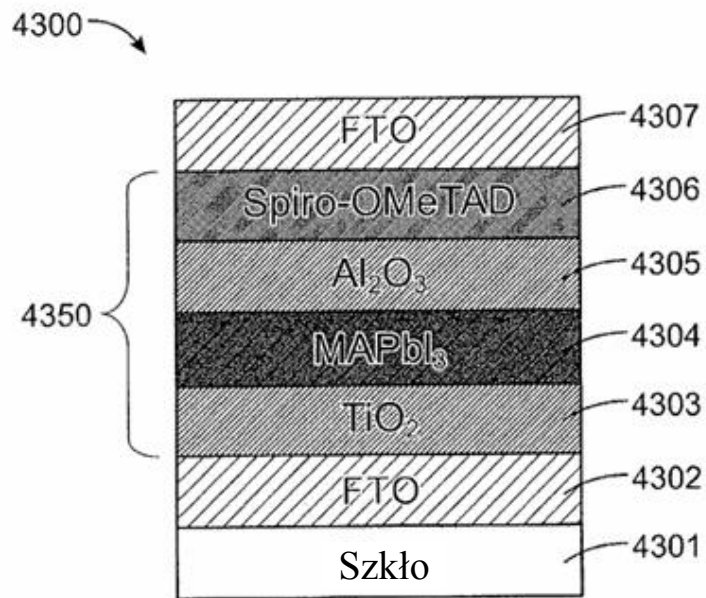


Fig. 9

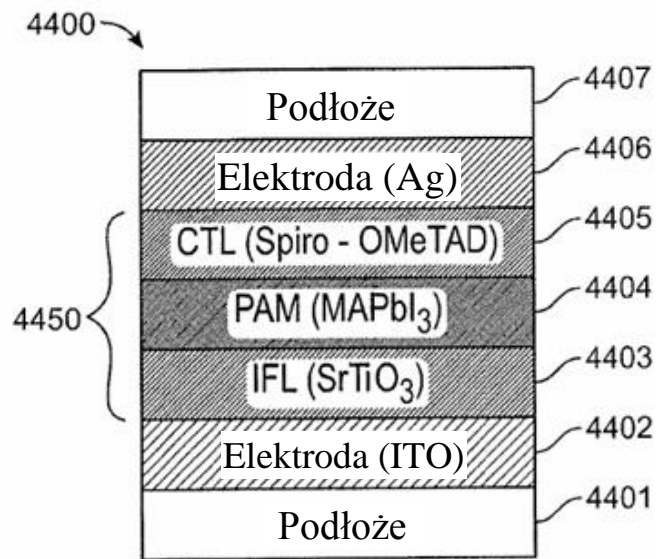


Fig. 10

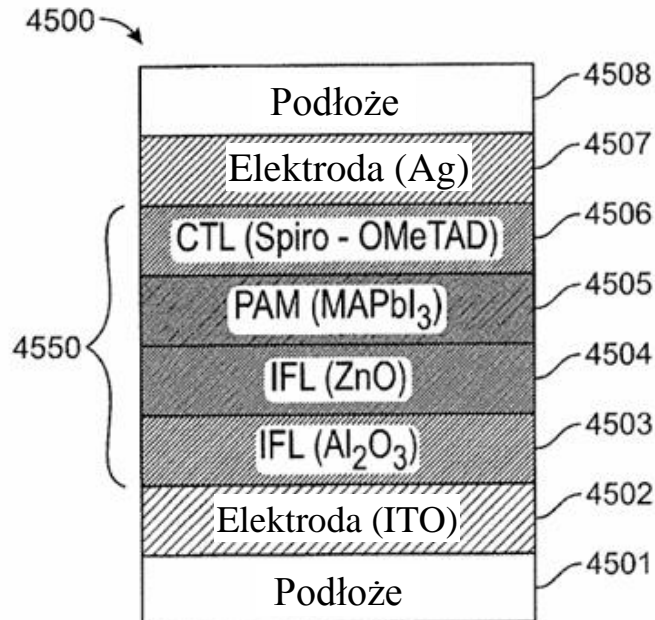


Fig. 11

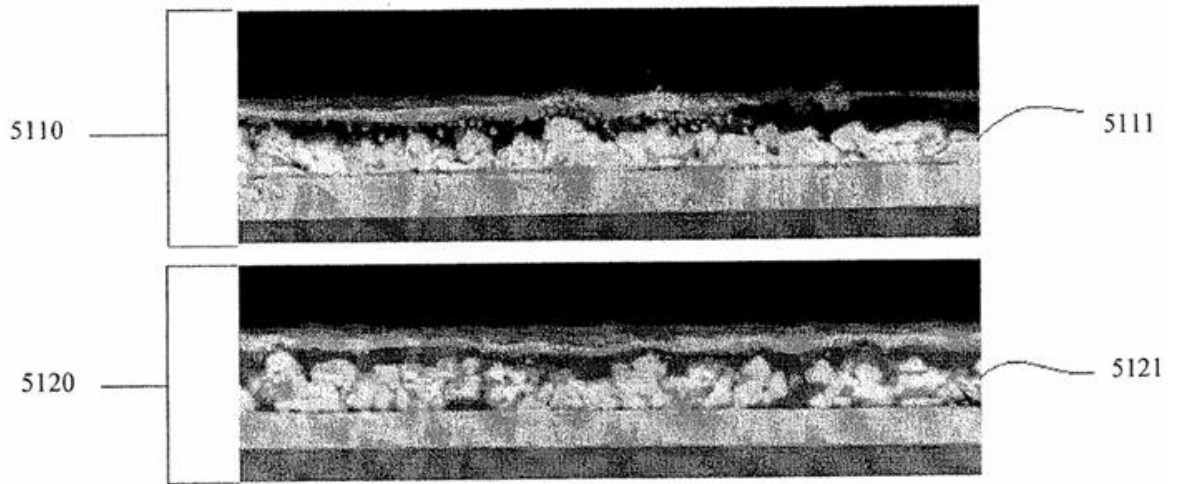


Fig. 12

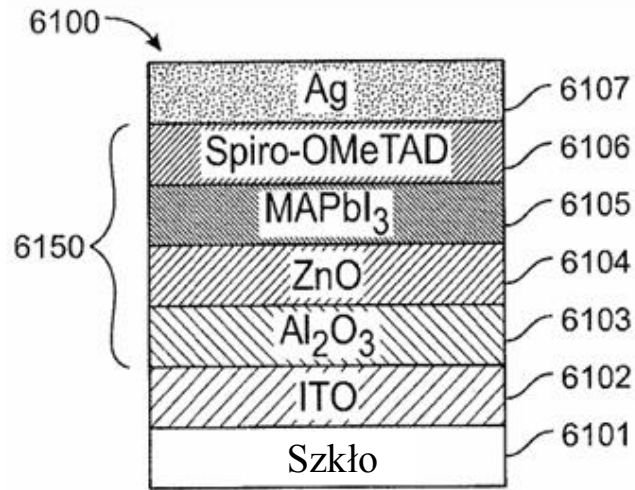


Fig. 13

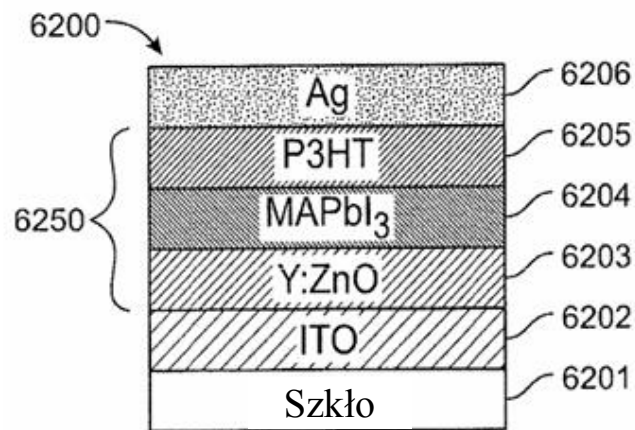


Fig. 14

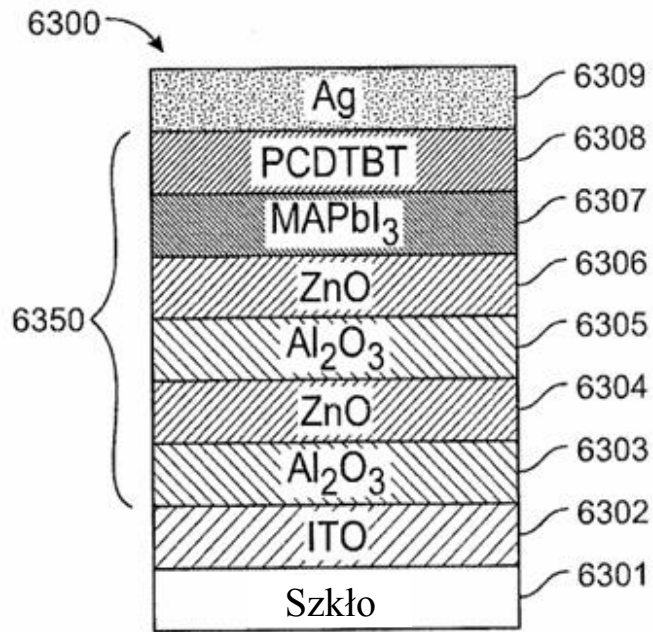


Fig. 15

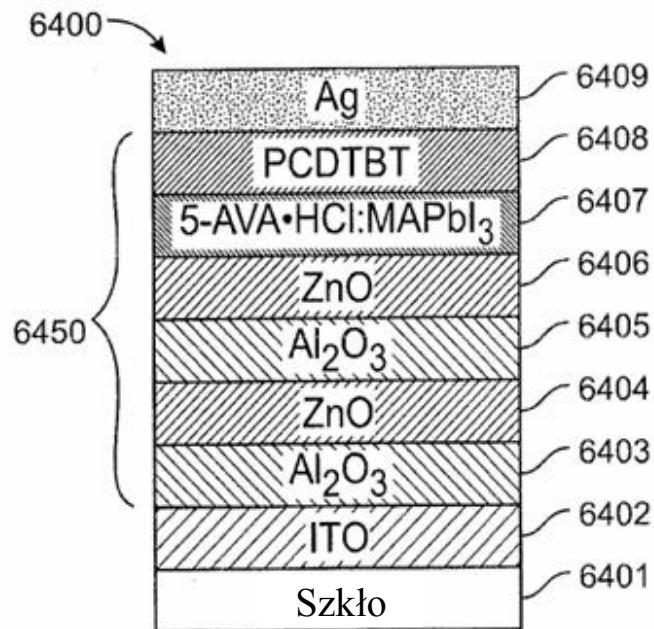


Fig. 16

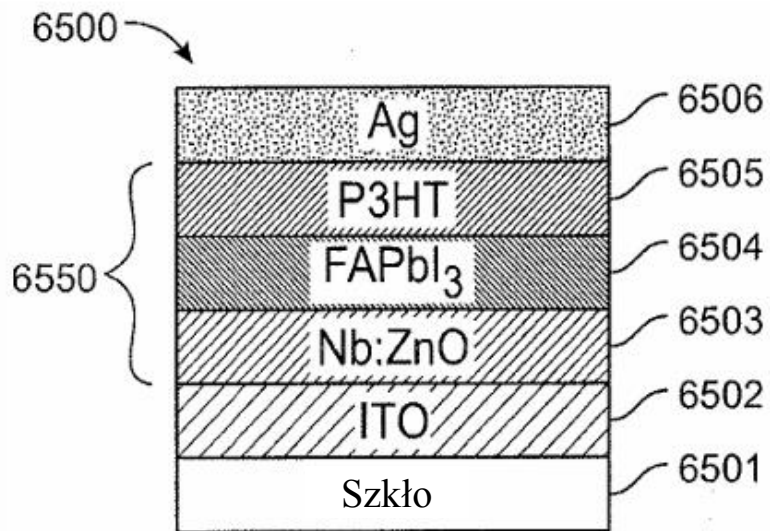


Fig. 17

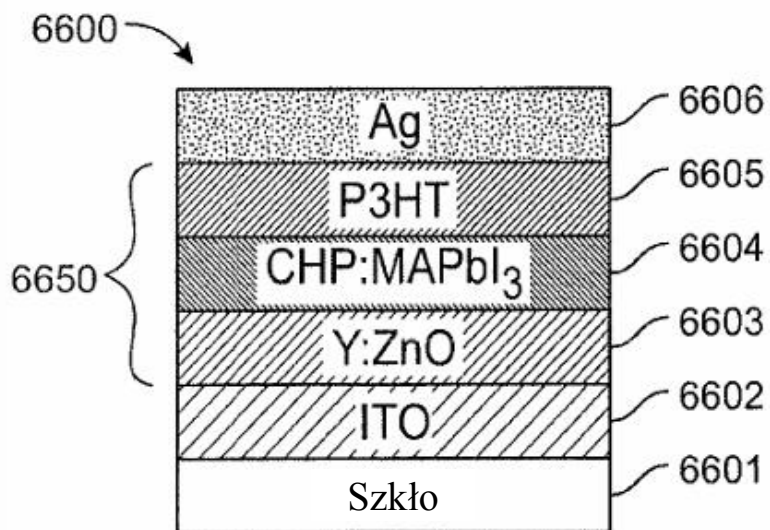


Fig. 18

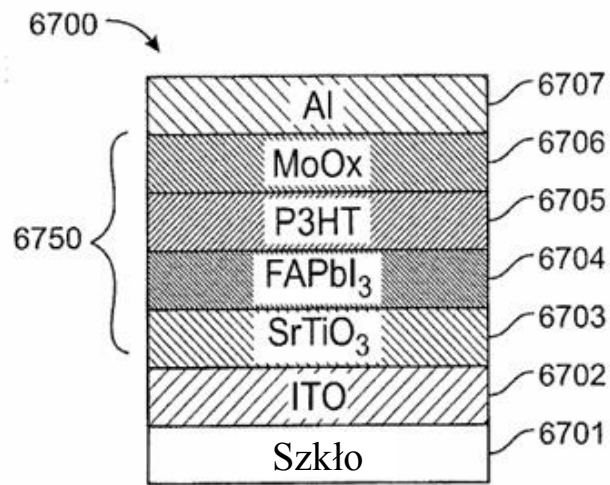


Fig. 19

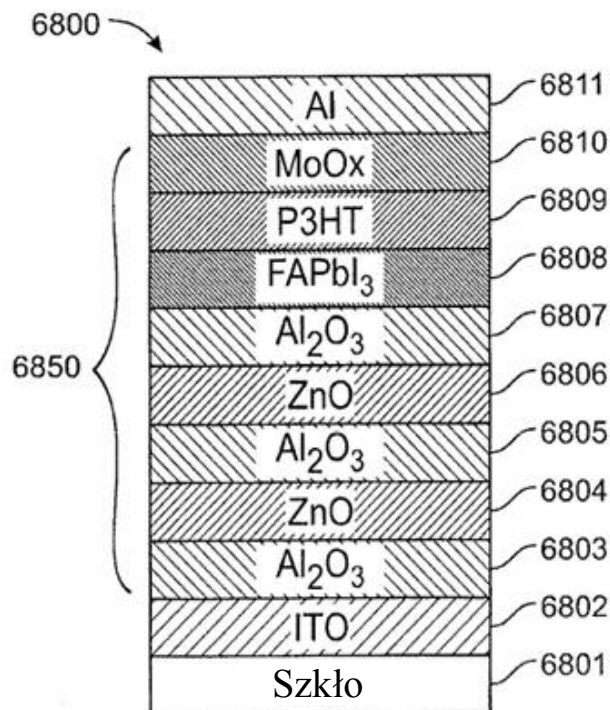


Fig. 20