

Barwnikowe ogniwo słoneczne

Przedmiotem wynalazku jest barwnikowe ogniwo słoneczne, konwertujące promieniowanie elektromagnetyczne z zakresu widzialnego na energię elektryczną mające zastosowanie w fotowoltaice. Cechą odróżniającą tego typu ogniwa od konwencjonalnych ogniw krzemowych jest brak złącza p-n. Zasada działania ogniwa przypomina proces fotosyntezy w roślinach.

Historia barwnikowych ogniw słonecznych rozpoczyna się w 1972 roku wraz z uczulaną chlorofilem elektrodą z tlenku cynku (ZnO). Wtedy po raz pierwszy uzyskano efekt fotowoltaiczny poprzez transport ładunków wzbudzonych cząsteczek barwnika do półprzewodnika o szerokiej przerwie energetycznej. W kolejnych latach skoncentrowano badania nad kryształami tlenku cynku, jednak sprawność tych ogniw nie była satysfakcjonująca. Główny problem stanowiła płaska powierzchnia która może zaabsorbować do 1% padającego światła. Zastosowanie nanoporowatych elektrod bazujących na ditlenku tytanu (TiO₂) charakteryzujące się odpowiednią chropowatością zwiększając znacząco wydajność absorpcji światła. W 1991 r. barwnikowe ogniwa wytworzone przez Michaela Gratzela osiągnęły sprawność około 7% co opisano w O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films. *Nature*, 353(6346), 737-740. doi: 10.1038/353737a0. Współczesne ogniwa barwnikowe osiągają sprawność na poziomie 14%.

Elastyczne polimerowe podłoża takie jak poli(naftalan etylenu) - PEN i poli(tereftalan etylenu) – PET zastosowano w barwnikowych ogniwach słonecznych co opisano w publikacji Zardetto, V., Brown, T., Reale, A., & Di Carlo, A. (2011). Substrates for flexible electronics: A practical investigation on the electrical, film flexibility, optical, temperature, and solvent resistance properties. *Journal Of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 49(9), 638-648. doi: 10.1002/polb.22227. Znane są również próby wykorzystywania barwników całkowicie organicznych w barwnikowych ogniwach słonecznych z publikacji Mishra, A., Fischer, M., & Baeuerle, P. (2009). ChemInform Abstract: Metal-Free Organic Dyes for Dye-Sensitized Solar Cells: From Structure: Property Relationships to Design Rules. *Cheminform*, 40(24).

Zaprezentowano tam 92 całkowicie organiczne związki mogące zastąpić metaloorganiczne związki rutenu w barwnikowych ogniwach słonecznych przy czym najwyższą sprawność osiągnął barwnik D205. Spośród związków organicznych stosowanych jako przezroczyste przewodzące warstwy w barwnikowym ogniwie słonecznym w ostatnich latach szczególnie zainteresowanie budzi PEDOT:PSS opisany w publikacji Saghaei, Jaber; Fallahzadeh, Ali; Saghaei, Tayebah (September 2015). "ITO-free organic solar cells using highly conductive phenol-treated PEDOT:PSS anodes". *Organic Electronics*. 24: 188–194. Wśród licznych organicznych materiałów półprzewodzących wymienionych w publikacji Costa, J., Taveira, R., Lima, C., Mendes, A., & Santos, L. (2019). Optical band gaps of organic semiconductor materials na szczególną uwagę zasługuje antracen ($C_{14}H_{10}$), którego przerwa energetyczna wynosi około 3,2 eV i jest najbardziej zbliżona do optymalnej przerwy energetycznej, którą wykazuje powszechnie stosowany ditlenek tytanu. Ciekły elektrolit można wyeliminować w barwnikowym ogniwie słonecznym przez zastosowanie materiału transportującego dziury spiro-MeOTAD co opisano w Howie, W., Harris, J., Jennings, J., & Peter, L. (2007). Solid-state dye-sensitized solar cells based on spiro-MeOTAD. *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 91(5), 424-426. doi: 10.1016/j.solmat.2006.10.003. Obiecującym materiałem mogącym zastąpić przeciwelektrodę metaliczną w barwnikowym ogniwie słonecznym są nanocząstki materiału carbon black opisane po raz pierwszy w publikacji Kay, A., & Grätzel, M. (1996). Low cost photovoltaic modules based on dye sensitized nanocrystalline titanium dioxide and carbon powder. *Solar Energy Materials And Solar Cells*, 44(1), 99-117. doi: 10.1016/0927-0248(96)00063-3 Wykonany przegląd zagadnienia (z ang. State of the art) wskazuje, że znane są przykłady zastosowania związków organicznych w różnych warstwach składowych barwnikowego ogniwa słonecznego, jednak dotychczas nie wykazano w publikacjach próby zbudowania całkowicie organicznego ogniwa barwnikowego i przedstawionego w poniższej konfiguracji.

Celem wynalazku jest zminimalizowanie kosztu wytwarzania ogniwa i uproszczenie procesu jego wytwarzania.

Cel ten osiągnięto poprzez zastosowanie wyłącznie materiałów całkowicie organicznych, które charakteryzują się niskim kosztem zakupu oraz nieskomplikowanym procesem nakładania cienkich warstw z tych materiałów.

Barwnikowe ogniwo słoneczne zawierające fotoelektrodę, warstwę transportującą dziury i przeciwelektrodę, charakteryzuje się tym, że fotoelektrodę stanowi folia PET lub PEN

z transparentną warstwą przewodzącą w postaci PEDOT:PSS oraz półprzewodnik, który antracyt o grubości od 1 μm do 50 μm z zaadsorbowanym barwnikiem organicznym z przylegającą warstwą transportującą dziury, którą stanowi materiał spiro-MeOTAD połączona z przeciwelektrodą składającą się z nanocząstek materiału carbon black o grubości od 50 nm do 10 μm osadzonej na transparentnej warstwie przewodzącej PEDOT:PSS na folii PET lub PEN.

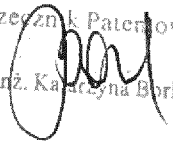
Rozwiązanie według wynalazku umożliwia zastosowanie charakterystycznego dla organicznych związków nieskomplikowanego procesu osadzania warstw z roztworów a także znacząco wpływa na obniżenie kosztu wytworzenia barwnikowego ogniwa słonecznego a także zastąpienie problematycznego ciekłego elektrolitu przez organiczną warstwę transportującą dziury. Ogniwo może znaleźć zastosowanie w fotowoltaice zintegrowanej z budownictwem (BIPV) jako element stanowiący alternatywę dla konwencjonalnych materiałów budowlanych na szyby fasadowe, okna i pokrycia dachowe.

Przykład

Barwnikowe ogniwo słoneczne składa się z trzech warstw: fotoelektrody, warstwy transportującej dziury **6** i przeciwelektrody **7**. Promieniowanie słoneczne **1** pada na fotoelektrodę, którą jest folia PEN lub PET **2** z osadzoną transparentną warstwą przewodzącą **3** w postaci PEDOT:PSS oraz półprzewodnik organiczny transportujący elektrony do zewnętrznego obwodu w fotoanodzie, który stanowi antracen **4** z zaadsorbowanym barwnikiem organicznym **5** z przylegającą warstwą transportującą dziury **6** z materiału spiro-MeOTAD. Warstwa transportująca dziury **6** jest połączona z przeciwelektrodą **7** będącą warstwą nanocząstek carbon black osadzoną na transparentnej warstwie przewodzącej **3** PEDOT:PSS osadzonej na folii PEN lub PET **2**.

Na folię PEN lub PET **2** z warstwą PEDOT:PSS **3** osadzono antracen **4** metodą osadzania z organicznej wiązki molekularnej (OMBD) pod ciśnieniem 10^{-7} Torr, otrzymana warstwa miała od 1 μm do 50 μm . Następnie na folię PET/PEDOT:PSS/Antracen lub PEN/PEDOT:PSS/Antracen naniesiono barwnik **5** D205 przez zanurzenie folii w 0.5 mM roztworze barwnika z mieszaniną acetonitrylu i tert-Butanolu w stosunku 1:1 w temperaturze pokojowej w czasie 4 godzin. W celu koadsorpcji dodano kwas chenodeoksycholowy (1.0 mM). Na folię PEN/PEDOT:PSS/antracen/barwnik D205 lub PET/PEDOT:PSS/antracen/barwnik D205 naniesiono warstwę transportującą dziury **6** z materiału spiro-MeOTAD metodą wirową z prędkością 1000 obr/min. Na folię PEN lub PET **2** z warstwą PEDOT:PSS **3** naniesiono metodą wirową z prędkością 1000 obr/min warstwę

nanocząstek carbon black o grubości od 50 nm do 10 μm stanowiącą przeciwelektrodę 7. Obie folie PEN lub PET 2 połączono od strony naniesionych warstw przez laminowanie.

Rzecznik Patentowy

mgr inż. Katarzyna Borkowy