



ISSN 2083-070X

magazyn
fotowoltaika

ENERGY
THAT
CHANGES



1

DOBRA DECYZJA
I PRZEZ 20 LAT MOŻESZ
CIESZYĆ SIĘ NIEZALEŻNOŚCIĄ
ENERGETYCZNĄ

www.SMA-Solar.com



magazyn **fotowoltaika**

magazyn fotowoltaika

Instalacje Technologie Rynek

(cztery wydania w roku)

Nr 4/2014 (14) – nakład 3000 egz.

Redakcja

Małgorzata Kosińska

redaktor naczelna

malgorzata.koszinska@magazynfotowoltaika.pl

Tomasz Charązka

redaktor prowadzący

tomasz.charazka@magazynfotowoltaika.pl

Wydawnictwo

Agnieszka Parzych

dyrektor zarządzająca

agnieszka.parzych@magazynfotowoltaika.pl

Reklama

Agnieszka Markiewicz

kierownik działu reklamy

agnieszka.markiewicz@magazynfotowoltaika.pl

Dorota Mikucka

dorota.mikucka@magazynfotowoltaika.pl

Prenumerata

Izabela Kurcusz-Malinowska

izabela.malinowska@magazynfotowoltaika.pl

Drukarnia

LOTOS

Wał Miedzeszyński 98

Warszawa

Korekta

Agnieszka Brzozowska

Opracowanie graficzne

jt-studio

Wydawca

 **Publikatech**

ul. Bogumińska 12/12, 03-619 Warszawa

tel. 22 743 00 70-71

fax 22 743 00 68

www.magazynfotowoltaika.pl

Słońce

Fotowoltaika w Europie

4

Technologie

Enkapsulacja ogniw DSSC warunkiem ich pomyślnej komercjalizacji

7

Praktyka

Ogólnoeuropejska mapa Repowermap

12

Pomiary i wykrywanie usterek

14

Lampy oświetleniowe hybrydowe

17

Elektrownia fotowoltaiczna rozświetla Dolinę Zielawą

20

Diagnostyka termowizyjna za pomocą dronów

21

Układ LBIC dla fotowoltaiki

22

Rynek

Falowniki w instalacji dachowej. SMA

24

Dotacja jako element poprawiający efekt finansowy przedsięwzięcia inwestycyjnego. SOLARA DEVELOPMENT

26

Monitoring systemów PV przez aplikacje mobilne. SUNGROW

28

Przetargi fotowoltaiczne

30

Produkty

32

Aktualności

Kraj

33

Świat

37

Enkapsulacja ogniw DSSC warunkiem ich pomyslniej komercjalizacji

Barwnikowe ogniwa słoneczne (ang. *Dye Sensitized Solar Cells* – DSSC) zaliczane są do tzw. III generacji ogniw fotowoltaicznych, w których nie ma złącza p-n, typowego dla ogniw krzemowych I i II generacji. Obecnie ogniwa DSSC stanowią obiecującą alternatywę dla dobrze poznanych, ale kosztownych technologii opartych na krzemie.

Dr inż. Jolanta Szlachta
 Mgr inż. Ludmiła Marszałek
 Mgr inż. Sławomir Chrobak
 Mgr inż. Edyta Stanek
 Mgr inż. Dawid Cycoń

Ogniwa DSSC, po pierwsze, zbudowane są z komponentów łatwo dostępnych i nie wymagają stosowania materiałów wysokiej czystości, a po drugie nie wymagają skomplikowanych i energochłonnych procesów podczas wytwarzania.

Od momentu opublikowania przełomowej publikacji prof. M. Grätzela w czasopiśmie „Nature”, dotyczącej budowy i zasady działania barwnikowego ogniwa słonecznego, stały się one przedmiotem intensywnych prac badawczych prowadzonych przez laboratoria na całym świecie.

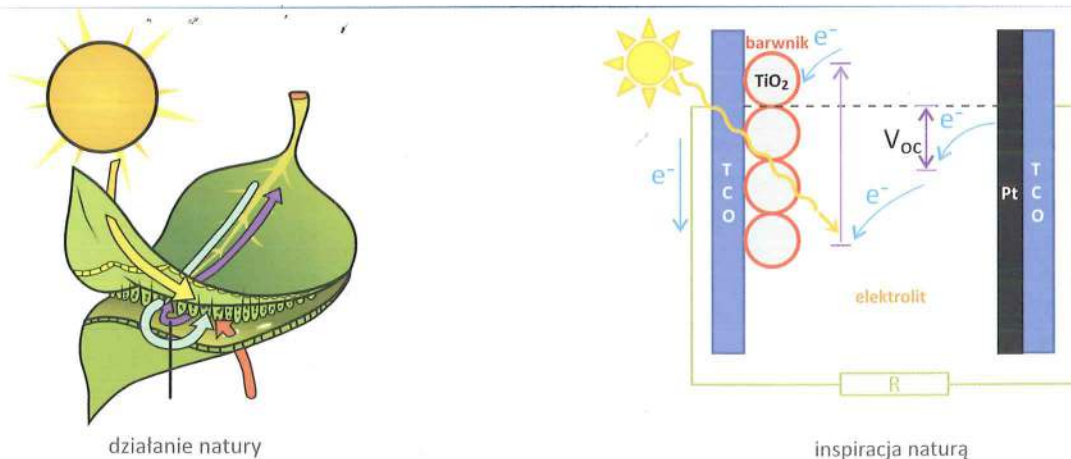
Typowe ogniwo DSSC składa się z dwóch elektrod: fotoanody oraz przeciw elektrody (rys. 1). Materiałem bazowym do wytworzenia elektrod jest szkło pokryte warstwą przewodzącą odpowiedniego tlenku metalu (tzw. TCO). Na fotoanodzie naniesiona jest cienka warstwa tlenku tytanu (IV) stanowiąca strukturę porowatą o bardzo dużym rozwinięciu powierzchni. Ze względu na pochłanianie niewielkiej ilości kwantów światła przez warstwę TiO_2 , pokrywana jest ona

metaloorganicznym barwnikiem zdolnym do wychwytywania fotonów w szerokim zakresie spektrum promieniowania. Z kolei przeciw elektrodę stanowi szkło TCO pokryte nanokatalityczną warstwą platyny. Dystans pomiędzy elektrodami determinowany jest przez zastosowany materiał enkapsulujący i przeważnie wynosi ok. 40 μm , a przestrzeń ogniwa wypełniona jest ciekłym elektrolitem opartym na parze redoks I_3^-/I^- .

W ostatnich dwóch dekadach, po przełomowym wydarzeniu w świecie fotowoltaiki, jakim było wytworzenie pierwszego działającego ogniwa DSSC przez grupę prof. M. Grätzela, wiele jednostek badawczych podjęło działania w kierunku rozwoju tej technologii. Głównym celem jest przekroczenie ograniczeń związanych z uruchomieniem przemysłowej produkcji ogniw tego typu, a także zapewnienie ich długoletniej niezawodnej eksploatacji przy utrzymaniu stabilnej, odpowiednio wysokiej sprawności. Krytycznym problemem do rozwiązania jest znalezienie sposobu szczelnego zamknięcia ciekłego elektrolitu

we wnętrzu ogniwa. Do chwili obecnej nie udało się znaleźć skuteczniejszego pod względem uzyskiwanych sprawności elektrolitu niż para redoks I_3^-/I^- w środowisku acetonitrylu. Komponenty te okazały się jednak bardzo agresywne dla wielu typowych enkapsulantów, głównie polimerowych. Związki zawarte w elektrolicie przyczyniają się do degradacji materiałów uszczelniających ogniwo, prowadząc do jego rozhermetyzowania skutkującego wyciekaniem elektrolitu na zewnątrz i dezaktywacją warstw aktywnych po przedostaniu się zawilgoconego powietrza do wnętrza ogniwa. Konsekwencją tego jest zniszczenie całego układu. Dlatego trwają prace badawcze dążące do zastąpienia tego typu ciekłych elektrolitów materiałami w stanie stałym lub półstałym, zapewniającymi skuteczny „dziurowy” transport ładunków.

Jedną z ostatnio opracowanych odmian DSSC są ogniwa SDSSC (ang. *solid-state DSSC*), w których ciekły elektrolit zastąpiono elektrolitem w stanie stałym. Niestety, ogniwa tego typu osiągają bardzo niskie sprawności. Kolejna rozwijająca się



Rys. 1. Schemat budowy ogniwa DSSC



Rys. 2. Moduł DSSC wykonany przez firmę Sony

grupa ogniw III generacji to QDSC (ang. *quantum-dot-sensitized solar cells*) – DSSC wykorzystujące kropki kwantowe jako sensybilizatory – osiągają wysokie wartości sprawności, ale krótki czas życia kropek nie warunkuje długoterminowej pracy tych ogniw. Niemniej jednak prace badawcze trwają nieprzerwanie i jednym z ostatnich osiągnięć w dziedzinie fotowoltaiki są ogniwa III generacji, których budowa opiera się na perowskitach. Technologia ta jest znana dopiero od niedawna i trudno przesądzić o jej pomyslniej komercjalizacji.

Materiały uszczelniające w ogniwach DSSC – wymagania

Enkapsulanty mające zastosowanie w DSSC to m.in. materiały amorficzne. Oprócz zapewnienia odpowiedniej odległości pomiędzy elektrodami wymaga się, aby gwarantowały długookresową szczelność ogniw, determinując ich długi i bezawaryjny czas pracy w zmiennych warunkach atmosferycznych.

Zagadnienie zapewnienia odpowiedniej szczelności układu elektrochemicznego, jakim są ogniwa DSSC, jest dużo bardziej kluczowe niż proces laminacji w konwencjonalnych ogniwach krzemowych i stanowi istotną przeszkodę na drodze do ich komercjalizacji.

Materiał uszczelniający musi być odporny na kontakt ze składnikami cieplego elektrolitu, które odznaczają się wysoką reaktywnością i mogą doprowadzić do rozhermetyzowania się ogniwa. Ponadto musi zapewnić trwałą izolację ścieżek srebrnych (odpowiedzialnych za odprowadzenie ładunków) od elektrolitu zawierającego jony jodkowe. Jeśli dojdzie do kontaktu par redoksowych I_3^-/I^- z metalicznym srebrem obecnym w ścieżkach przewodzących, następuje szybka korozja i tym samym utrata przewodnictwa.

Z drugiej strony enkapsulant musi zapewnić trwałą izolację wnętrza ogniwa

od warunków zewnętrznych. W momencie przedostania się wilgoci i tlenu do wnętrza ogniwa następuje jego zniszczenie poprzez degradację warstw aktywnych. Rozhermetyzowanie ogniwa prowadzi do stopniowego spadku koncentracji nośników ładunku i w konsekwencji do utraty zdolności konwersji fotoelektrycznej. Dodatkowo enkapsulant musi wykazywać odporność na promieniowanie UV i podwyższoną temperaturę (do ok. 85°C). Powinien także mieć zbliżoną wytrzymałość mechaniczną do wytrzymałości pojedynczej tafli szkła. W przypadku pewnych aplikacji istotne jest także, aby uszczelniającą warstwę był wysoce transparentny po procesie enkapsulacji (walory estetyczne w BIPV).

Jak wynika z powyższych rozważań, dobór optymalnego enkapsulantu gwarantującego długoterminową pracę ogniw DSSC jest problemem złożonym. Mimo stosunkowo wysokich sprawności osiąganych przez barwnikowe ogniwa słoneczne w skali laboratoryjnej na chwilę obecną brak odpowiednich materiałów uszczelniających uniemożliwia transfer tej innowacyjnej technologii na skalę przemysłową.

Podział amorficznych materiałów uszczelniających

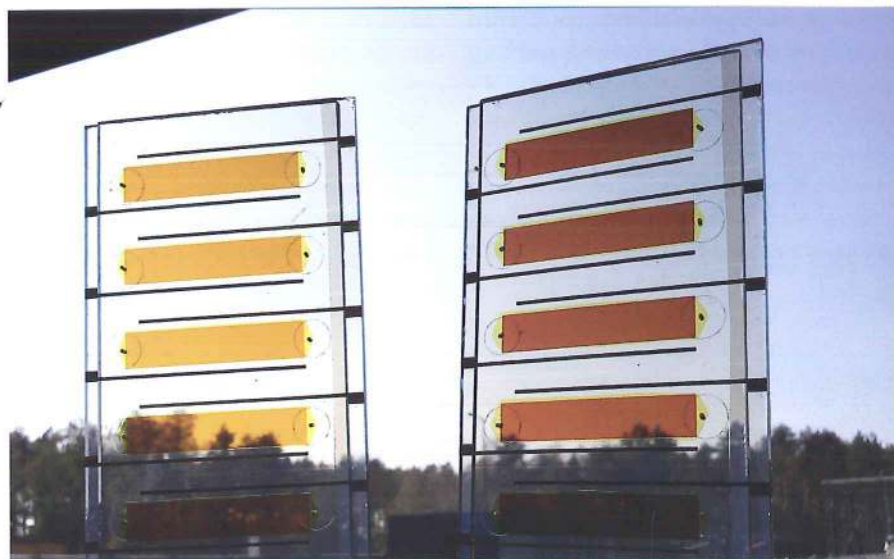
Biorąc pod uwagę plany budowy ogniw o coraz większej powierzchni aktywnej, dobór odpowiedniego materiału uszczelniającego gwarantuje powodzenie całego przedsięwzięcia. Enkapsulanty znajdujące zastosowanie w budowie ogniw DSSC można podzielić na dwie grupy: polimery jonowe oraz fryty szklane.

Polimery jonowe

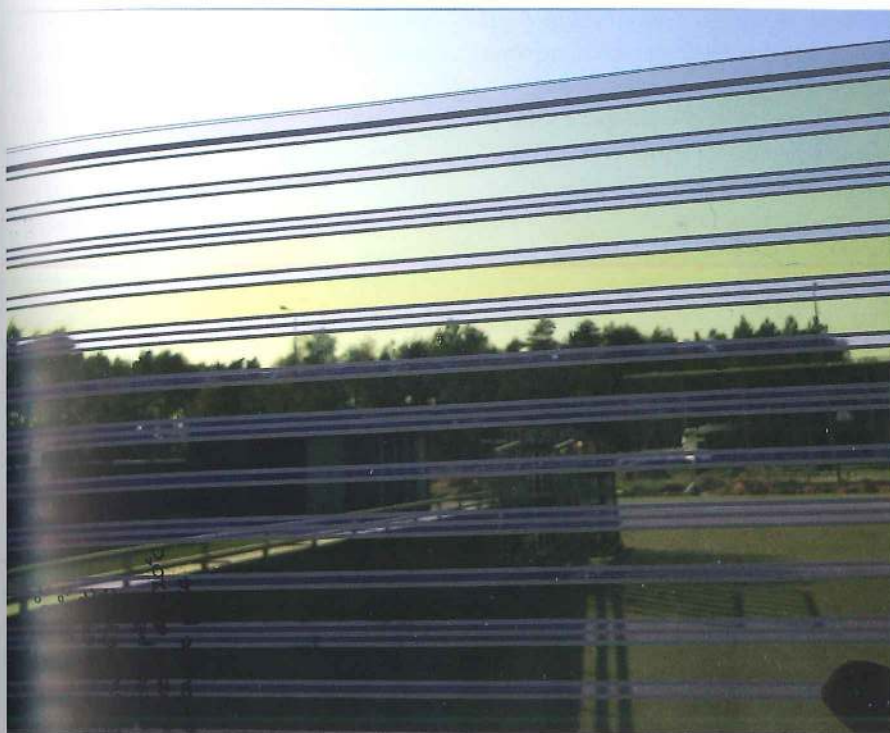
Polimery jonowe zawierają jony, które są chemicznie związane z ich strukturą, co wywiera znaczny wpływ na ich właściwości. W enkapsulacji DSSC znajdują zastosowanie jonomery w postaci folii. Jednym z najczęściej stosowanych materiałów uszczelniających są: folia Surlyn – topliwa żywica jonomerowa zawierająca w swojej strukturze kationy metali (Zn, Na), oraz folia Bynel – wytłaczalny klej żywiczny. Zarówno Surlyn, jak i Bynel odznaczają się dobrą sztywnością, odkształcalnością, odpornością na ścieranie, szerokim zakresem temperatur zgrzewania, doskonałą przezroczystością oraz odpornością na większość chemikaliów. Dodatkowo współczynnik załamania światła tych folii jest zbliżony do współczynnika załamania światła szkła TCO.

Folie tego typu laminuje się pomiędzy elektrodami poprzez zastosowanie podwyższonej temperatury i ciśnienia. Po właściwie przeprowadzonym procesie powinna zostać zachowana transparentność folii.

Obydwa wyżej wymienione enkapsulanty polimerowe znakomicie nadają się do szybkiego prototypowania ogniw DSSC, dlatego stanowią podstawowy materiał uszczelniający stosowany na skalę laboratoryjną. W przypadku aplikacji na większe powierzchnie i dla ogniw, które będą narażone na ekspozycję na zewnętrzne warunki środowiskowe, konieczne jest użycie trwalszych materiałów uszczelniających, np. fryt szklanych. Jak większość polimerów folie jonomerowe degradują



Rys. 3. Ogniwa DSSC wyprodukowane w Firmie ML System. Materiałem uszczelniającym jest transparentna folia jonomerowa Surlyn



Rys. 4. Moduł DSSC wyprodukowany w firmie ML System. Materiałem uszczelniającym jest fryta szklana

pod wpływem czynników fizycznych i chemicznych (np. stosowanego elektrolitu) i trudno jest przewidzieć ich długotrwałą eksploatację. Niemniej jednak udowodniono, że nie wszystkie rodzaje ciekłych elektrolitów w równym stopniu degradują aplikowane folie, np. ciecze jonowe wykazują słabsze działanie niszczące w porównaniu z elektrolitami opartymi na bazie acetonitrylu.

Fryty szklane

Fryty szklane to drobno zmielone szkła, potocznie nazywane mączkami szklanymi. Poszukiwanie skutecznego enkapsulanta wśród fryt szklanych znajduje uzasadnienie w dużym podobieństwie tego materiału do bazowego substratu, jakim jest szkło TCO.

Skład tlenkowy szkła, z którego wykonana jest fryta, determinuje właściwości termiczne, mechaniczne oraz chemiczne tego materiału. Skład ten należy dobrać pod kątem zapewnienia odpowiedniego zakresu temperaturowego obróbki termicznej wszystkich warstw ogniwa: TiO_2 , Pt, Ag i samej fryty szklanej. Fryta powinna charakteryzować się względnie niską temperaturą topnienia, aby nie była ona zbyt wysoka dla pozostałych warstw i nie prowadziła do ich dezaktywacji termicznej. Wyprodukowanie takiej fryty, dodatkowo wykazującej odporność na redukująco-utleniające działanie

elektrolitu, jest jednak dość kłopotliwe. Ponadto fryty szklane podczas procesu stapiania muszą wykazywać dobrą zwilżalność podłoża, co zapewni wysoką adhezję do chropowatej powierzchni warstwy TCO, dając w rezultacie trwałe i szczelne połączenie tych materiałów. Po spieczeniu fryta powinna być odporna na działanie pozostałych komponentów ogniwa.

Fryty szklane są dostępne w postaci proszku, którego wielkość ziaren powinna być rzędu nanometrów. Zapewnienie odpowiedniego uziarnienia i monodispersyjności proszku jest kluczowe dla pomyślnej realizacji procesu spiekania i fusingu. Wprowadzenie zbyt dużych ziaren utrudnia te procesy i może zaburzyć dystans pomiędzy elektrodami.

Na bazie proszku fryty szklanej i organicznego lepisczka wytwarza się pasty, które nanosi się na podłoże TCO metodą sitodruku. Metoda ta jest stosunkowo dobrze poznana i łatwa do zautomatyzowania. Jakość zadruku warstw fryty szklanej decyduje o prawidłowym, hermetycznym zamknięciu całej struktury ogniwa. Kluczowe znaczenie ma wytworzenie pasty z fryty szklanej – w tym etap homogenizacji, prowadzący do równomiernego rozprowadzenia proszku w organicznej matrycy. W lepisczku należy rozprowadzić tyle szklanego proszku, aby po usunięciu części organicznej w trakcie spiekania

nie powstały pory w warstwie prowadzącej do nieszczelności, a jednocześnie proszku nie może być zbyt dużo ze względu na wymaganą reologię pasty przy metodzie sitodruku. Pasta musi być odpowietrzona, pozbawiona wszelkich zanieczyszczeń, których obecność również może przyczynić się do wzrostu porowatości nanoszonej warstwy fryty szklanej lub powstania mikrokanalików w jej strukturze, będących potencjalnymi drogami dyfuzji, co skutkuje nieszczelnością.

Ponadto materiał uszczelniający powinien, poza właściwościami użytkowymi, odznaczać się walorami estetycznymi. Dużym atutem fryt szklanych jest możliwość osiągania różnego stopnia ich przezroczności – od całkowicie transparentnych przez półtransparentne po nietransparentne. Dodatkowo można je barwić, dodając odpowiednie tlenki metali i uzyskując różne kolory enkapsulantu. Metoda sitodruku jest na tyle elastyczna, że możliwe jest aplikowanie bardzo skomplikowanych wzorów, co ma decydujący wpływ na ostateczny wygląd ogniwa DSSC (rys. 2).

Proces enkapsulacji elektrod w barwnikowych ogniwach słonecznych

W zależności od zastosowanego materiału uszczelniającego prowadzi się odpowiedni proces zespalania elektrody pracującej z przeciwelektrodą, tj. enkapsulację – w przypadku folii jest to laminacja, zaś w odniesieniu do fryty szklanej – proces fusingu.

Laminacja jest procesem termicznym wykonywanym w warunkach obniżonego ciśnienia w celu równomiernego połączenia podłoża z nakładaną folią. Na jedną z elektrod układa się odpowiednio przygotowaną formatkę folii i od góry odpowiednio dopasowuje się drugą elektrodę – tak przygotowany zestaw (ang. *sandwich*) poddawany jest laminacji. Urządzeniami spełniającymi wymagania stawiane łączeniu elektrod ogniwa DSSC są ciśnieniowe laminatory próżniowe typu membranowego.

Dobór warunków laminacji nie jest łatwy, ponieważ folie stosowane w DSSC mają znacznie mniejszą grubość niż folie wykorzystywane do laminacji modułów krzemowych (np. folia EVA, PVB). Zwykle ich grubość wynosi zaledwie 50 μm , co znacznie utrudnia dobór ciśnienia i temperatury. Zbyt małe ciśnienie będzie

skutkowało brakiem odpowietrzenia układu, a zbyt duże spowoduje zetknięcie się elektrod ze sobą i w rezultacie doprowadzi do zwarcia ogniwa. Efekt niedolaminowania to skutek zastosowania zbyt niskiej temperatury, z kolei zbyt wysoka temperatura przyczynia się do przegrzania folii, co uwidacznia się w postaci licznych drobnych pęcherzy. Defekty wynikające z niewłaściwie przeprowadzonego procesu enkapsulacji nie zapewnią długoterminowej szczelności ogniwa DSSC.

W przypadku zastosowania fryty szklanej jako enkapsulanta kluczowym etapem w wytwarzaniu ogniwa jest właściwe przeprowadzenie procesu wypału (ang. *sintering*), a następnie procesu fusingu fryty warunkującego uszczelnienie całego układu.

Po etapie druku każdej warstwy przeprowadzany jest proces suszenia. Następnie nadrukowane na podłożu TCO warstwy poddawane są wstępnej obróbce termicznej mającej na celu usunięcie substancji organicznych z past sitodrukarskich, a także połączenie ze sobą ziaren warstw aktywnych – proces spiekania. Po procesie spiekania odpowiednio dopasowane elektrody poddaje się procesowi fusingu, w którym odbywa się stapianie proszku fryty szklanej w jednolity materiał. Fusing realizowany jest w specjalnych piecach fusingowych wykorzystywanych w przemyśle szklarskim. Wymagane jest, aby proces cieplny przebiegał w temperaturze nie wyższej niż 650°C, tak aby nie doprowadzić do degradacji właściwości nanomateriałów będących pozostałymi komponentami ogniwa DSSC. W wyniku fusingu stopione szkło powinno być pozbawione

pęcherzy powietrza i mikropęknięć oraz wykazywać pożądaną stopień transparentności i wytrzymałości mechanicznej.

Dla różnych fryt wymaga się zastosowania odmiennego profilu temperaturowego, zarówno na etapie wypalania pojedynczej warstwy (elektrody), jak i w trakcie zasadniczego procesu fusingu.

Badania prowadzone w ML System

ML System jako jedna z pierwszych firm w Polsce wyspecjalizowała się w projektowaniu i wykonywaniu systemów opartych na technologii modułów fotowoltaicznych zintegrowanych z budynkami (BIPV), służących uzyskiwaniu prądu elektrycznego z energii słonecznej.

Rodzaj działalności prowadzonej przez ML System oraz postęp technologiczny dokonujący się na rynku ogniwa fotowoltaicznych w ostatnich latach, jak również konieczność utrzymania wysokiego poziomu usług i konsekwentnego budowania przewagi konkurencyjnej zainicjowały kierunek rozwoju firmy oparty na pracach badawczo-rozwojowych oraz wdrażaniu do produkcji własnych, innowacyjnych rozwiązań w zakresie fotowoltaiki.

W 2013 roku firma uruchomiła Fotowoltaiczne Centrum Badawczo-Rozwojowe, w ramach którego działa laboratorium fotowoltaiczne, zajmujące się prototypowaniem ogniwa DSSC. Celem firmy jest uruchomienie przemysłowej produkcji tych ogniwa.

Na podstawie liczby ukazujących się publikacji można stwierdzić, że technologia DSSC zajmuje się wiele ośrodków laboratoryjnych na całym świecie. Publikując wyniki badań, ośrodki te skupiają się na

wybranych parametrach, takich jak sprawność, EQE oraz charakterystyki prądowo-napięciowe, ale dotyczą one ogniwa o niewielkich rozmiarach, zwykle 0,5–1 cm². Ogniwa o takiej powierzchni nie znajdują zastosowania komercyjnego. Niemniej jednak kilka ośrodków przemysłowych zachęconych wynikami prac laboratoryjnych podjęło próby wytworzenia ogniwa o większych gabarytach. Coraz częściej w prasie lub internecie pojawiają się doniesienia o uruchomieniu niewielkich instalacji fotowoltaicznych opartych na ogniwach DSSC.

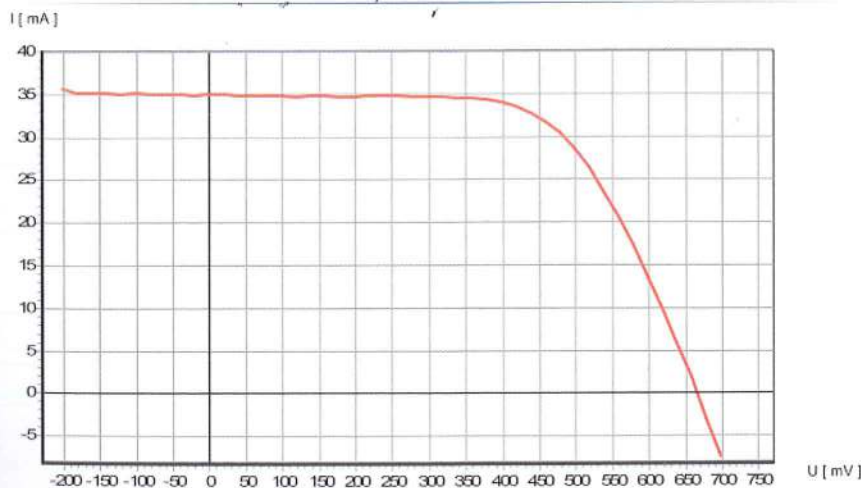
Firma ML System, wykorzystując możliwości, jakie daje technologia DSSC, testuje różnorodne materiały, zwiększając jednocześnie powierzchnię wytwarzanych ogniwa. Ogromny potencjał tej technologii wiąże się z możliwością stosowania różnobarwnych komponentów, tj. barwników, elektrolitów lub barwnych fryt szklanych, co prowadzi do uzyskania produktu w postaci ogniwa o interesujących walorach estetycznych (rys. 3 i 4).

Przeniesienie skali laboratoryjnej na przemysłową, którego podjęła się firma ML System, stanowi wyzwanie. Po pierwsze, należy dobrać odpowiednie, kompatybilne ze sobą materiały i zaprojektować architekturę ogniwa pod kątem ich sprawności, po drugie zaś, przygotować i zoptymalizować proces wytwarzania ogniwa o dużej powierzchni i odpowiednio wysokiej sprawności.

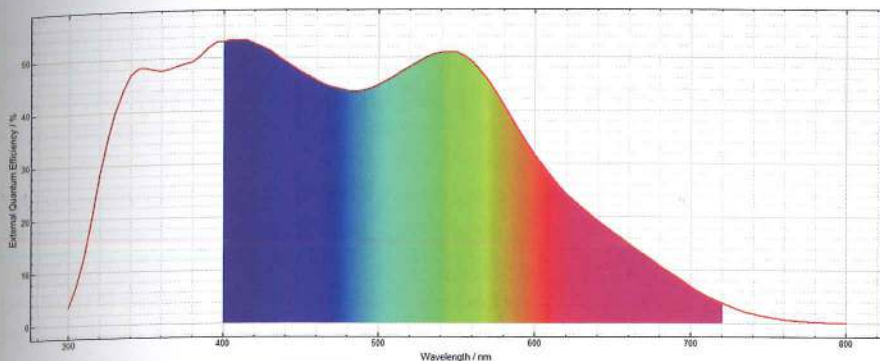
Po przeprowadzeniu szeregu badań/testów udało się uzyskać działające ogniwa o zróżnicowanej barwie i transparentności, a osiągnięte wartości sprawności są obiecujące. Na rys. 5 i 6 przedstawiono charakterystykę U-I oraz odpowiedzi spektralnej dla ogniwa DSSC wytworzonych w laboratorium ML System.

Obecnie trwają intensywne prace zmierzające do ostatecznego wyboru materiału uszczelniającego. W laboratorium ML System osiągnięto pomyślne wyniki w zakresie aplikacji folii polimerowej Surlyn, uzyskano bowiem ogniwo o pożądanym stopniu transparentności (rys. 3).

Pomimo tego, że folia Surlyn doskonale sprawdza się jako enkapsulant w ogniwie wytworzonym w warunkach laboratoryjnych – uzyskiwana jest pełna szczelność i transparentność – raczej nie nadaje się do produkcji ogniwa narażonych na działanie czynników zewnętrznych (np. temperatura, wilgoć z powietrza, promieniowanie



Rys. 5. Charakterystyka I-V przykładowego ogniwa DSSC wytworzonego w Laboratorium ML System



Rys. 6. Charakterystyka odpowiedzi spektralnej przykładowego ogniwa DSSC wytworzonego w Laboratorium ML System

UV). W związku z tym firma ML System w celu wdrożenia wysokoseryjnej produkcji DSSC podejmuje wszelkie starania zmierzające do zastąpienia folii polimerowej frytą szklaną, która ma dużo większą trwałość i odporność na czynniki zewnętrzne. Na rys. 4 zamieszczono fotografię otrzymanego w laboratorium ML System ogniwa DSSC, w którym zastosowano frytę szklaną jako enkapsulant.

Uzyskane przez ML System wyniki świadczą o dużym potencjale firmy oraz

są dużą nadzieją na komercjalizację barwnikowych ogniw słonecznych.

Artykuł powstał w ramach projektu „Rozwój ultranowoczesnych technologii i materiałów amorficznych do spajania elektrod ogniw słonecznych” współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podkarpackiego na lata 2007–2013 oraz z budżetu państwa.

Literatura

- B. O'Regan, M. Grätzel, A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films, *Nature* 353, s. 737–740 (1991).
- A. Hinsch, W. Veurman, H. Brandt, K.F. Jensen, S. Mastroianni, *Status of dye solar cell technology as a guideline for further research* (2014).
- J. Gong, J. Liang, K. Sumathy, *Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs): Fundamental concepts and novel materials* (2012).
- <http://www.immt.pwr.wroc.pl/~maciek/bk/MiBM/2-STRUKTURA.pdf>
- <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9975/full9975.pdf>
- M. Blicharski, *Wstęp do inżynierii materiałowej* (2004).
- K. Suchocka-Galaś, Cz. Ślusarczyk, *Jonomery. Struktura, właściwości i zastosowanie* (2010).
- Md. K. Nazeeruddin, E. Baranoff, M. Grätzel, *Dye-sensitized solar cells: A brief overview* (2011).
- Z. Sun, D. Pan, J. Wei, C.K. Wong, *Ceramics Bonding Using Solder Glass Frit* (2004).
- R. Kawano, H. Matsui, Ch. Matsuyama, A. Sato, Md. Abu Bin Hasan Susan, N. Tanabe, M. Watanabe, *High performance dye-sensitized solar cells using ionic liquids as their electrolytes* (2004).
- M. Grätzel, *Photovoltaic performance and long term stability of dye-sensitized mesoscopic solar cells*, *Comptes Rend. Chimie* 9, 578-583 (2006).
- A. Hinsch, W. Veurman, H. Brandt, R. Loayza Aguirre, K. Bialecka, K. Flarup Jensen, *Presented at the 26th European PV Solary Energy Conference and Exhibition, Hamburg* (2011).
- C. Li, M. Liu, N.G. Pschirer, M. Baumgarten, K. Müllen, *Polyphenylene – based materials for organic Photovoltaics*, *Chem. Rev.* 110, s. 6817–6855 (2010).
- K. Tennakone, G.R.R.A. Kumara, A.R. Kumarasinghe, K.G.U. Wijayantha, P.M. Sirimanne, *A dye-sensitized nanoporous solid-state photovoltaic cell*, *Semiconductor Sci. Technol.* 10, 1689–1693 (1995).
- S.-Q.Fan, C.Kim, B.Fang, K.-X.Liao, G.-J.Yang, C.-J.Li, J.-J.Kim, J.Ko, *Improved efficiency of over 10% in dye-sensitized solar cells with a ruthenium complex and an organic dye heterogeneously positioning on a single TiO₂ electrode*, *J. Phys. Chem. C* 115, 7747–7754 (2011).



Ryzyko porażenia wyeliminowane



Greeneye & Greenbrain

Indywidualne wyłączenie
każdego modułu PV (0V, 0A)
Centralny system sterowania
Instalacja Plug & Play

biuro.polska@mersen.com

ep.mersen.com

MERSEN
Expertise, our source of energy