

# CZYSTA ENERGIA

WRZESIEŃ 2013

9(145)/2013 • ISSN 1643-126X • NAKŁAD 6700 egz. • Cena 16,80 zł (w tym 5% VAT) • WWW.CZYSTAENERGIA.PL



Podłącz się do wiedzy  
Forum Czystej Energii  
POLEKO 2013





# Spis treści

## 6 Informator



W 2012 r. na inwestycje w amerykańską energetykę wiatrową wydano ponad 25 mld dolarów

## 10 Z pierwszej ręki

- 10 Wpływ mikroinstalacji na sieć elektroenergetyczną
- 12 „Wiem, że nic nie wiem” – politycy myślą, że wiedzą

## 13 Prawo

- 13 O błędnym rozumieniu istoty działalności prosumenckiej
- 14 Niebezpieczna petryfikacja albo rozwój
- 18 OZE w sieci dystrybucyjnej – nowe zasady przyłączania

- 22 Przegląd prawa
- 24 Elektrownie wiatrowe – kompleksowy zarząd techniczny
- 28 Ochrona krajobrazu – aspekty prawne

## 32 Edukacja

- 32 Remedium na brak ujednoliconego systemu certyfikacji
- 36 Moduły fotowoltaiczne – parametry i kryteria wyboru

## 42 Projekty

- 42 Ogniw PV – alternatywa dla przedsiębiorcy
- 44 Wierzba – roślina wielu zastosowań
- 48 Stan wykorzystania wód geotermalnych na Podhalu

## 52 Technologie

- 52 Poligeneracja – przykład zastosowania
- 56 Ogniw DSSC – kolorowa przyszłość fotowoltaiki



Instalacja PV na budynku Wyższej Szkoły Prawa i Administracji w Rzeszowie

- 60 Mikroturbiny kogeneracyjne w instalacjach trójgeneracyjnych
- 64 Technologie zgazowania biomasy

## 66 Półka z książkami

## 68 Wydarzenia

## 71 Forum

WYDAWNICTWA KOMUNALNE:

PRZEGLĄD  
**Komunalny**

RECYKLING **CZYSTA ENERGIA**

WODOCIĄGI  
KANALIZACJA

Zielona  
miejscą

KOMUNALNY.pl

ecomanager.pl

zielonalekcja.pl  
portal edukacji ekologicznej

OKŁADKA



Depositphotos/  
Beaver1488





Instalacja PV na budynku Wyższej Szkoły Prawa i Administracji w Rzeszowie (Archiwum ML System)

# Ogniwa DSSC – kolorowa przyszłość fotowoltaiki

Odkrycie zjawiska fotoelektrycznego na początku XIX w. przez Becquerela zapoczątkowało intensywny rozwój badań nad pozyskiwaniem energii elektrycznej z promieniowania słonecznego, co zaowocowało powstaniem nowej interdyscyplinarnej dziedziny – fotowoltaiki.

Fotowoltaika to alternatywna i przyjazna dla środowiska technologia produkcji energii elektrycznej, która może w przyszłości przyczynić się do rozwiązania problemów energetycznych spowodowanych ograniczonymi zasobami paliw kopalnianych w skorupie ziemskiej. Ogniwa słoneczne, absorbując i przetwarzając promieniowanie słoneczne, wytwarzają prąd stały, który może być wykorzystany do zasilania różnorodnych urządzeń, stosowanych w telekomunikacji, transporcie, gospodar-

stwach domowych i budownictwie przemysłowym. Postęp w dziedzinie inżynierii materiałowej oraz nanotechnologii zaowocował powstaniem różnorodnych ogniw słonecznych, które dzielą się na generacje, w zależności od składu i budowy.

## Ogniwa I generacji

Do konstrukcji ogniw pierwszej generacji stosowany jest wysokiej czystości krzem, będący materiałem półprzewodnikowym,

który dzięki rozwiniętemu przemysłowi elektronicznemu ma bardzo dobrze poznane właściwości fizyczne. W skorupie ziemskiej występuje on w postaci krzemionki ( $\text{SiO}_2$ ), która jest nietoksyczna i daje się formować do postaci krystalicznej. W zależności od rodzaju i rozmiaru ziaren krzemu można wyróżnić ogniwa monokrystaliczne (cz-Si) i polikrystaliczne (pc-Si).

Ogniwa monokrystaliczne wykonane są z monolitycznego bloku krzemu o rozmiarze ziaren powyżej 10 cm, poprzez cięcie piłami strunowymi na cienkie płytki, w których wytworzono złącze p-n poprzez domieszkowanie czystego krzemu innymi pierwiastkami. Osiągają one najwyższą sprawność spośród komercyjnie dostępnych ogniw fotowoltaicznych, jednak są stosunkowo drogie, gdyż powszechnie stosowane metody ich otrzymywania z fazy ciekłej Si (metoda Czochralskiego i Bridgmana) są procesami powolnymi i energochłonnymi.

W odróżnieniu od ogniw monokrystalicznych, na powierzchni ogniw polikrystalicznych zaobserwować można kilkucentymetrowe ziarna krzemu. Sprawność ogniw pc-Si jest niższa niż ogniw monokrystalicznych, jednak małe straty materiałowe przy ich produkcji determinują niższą cenę.

## Ogniwa II generacji

Dynamiczny rozwój technologii cienkowarstwowych w fotowoltaice oraz dążenie do zmniejszenia zużycia energii w procesie produkcji zaowocowały powstaniem ogniw





II generacji. Ogniwa te, podobnie jak typowe baterie krzemowe, oparte są na złączu p-n utworzonym z domieszkowanych (niesamolistnych) półprzewodników. Osiągają sprawności niższe od standardowych ogniw krzemowych, jednak potrzebują znacznie mniej materiału półprzewodnikowego, co oprócz redukcji kosztów produkcji powoduje zwiększenie transparentności modułów.

Do przedstawicieli tej grupy ogniw komercyjnie dostępnych na rynku należą ogniwa oparte na tellurku kadmu (CdTe), selenku miedziowo-indowym (CI(G)S) oraz krzemie amorficznym ( $\alpha$ -Si). Tellurek kadmu posiada przerwę energetyczną wynoszącą 1,47 eV, optymalną dla wydajności konwersji fotowoltaicznej oraz charakteryzującą się wysokim współczynnikiem absorpcji, którego maksimum przypada dla długości fali odpowiadającej światłu widzialnemu. Ogniwa CI(G)S osiągają najwyższe sprawności spośród ogniw II generacji, sięgające nawet do 14%. Jednak znikoma dostępność indu w skorupie ziemskiej ogranicza ich produkcję w skali przemysłowej. Zaletą ogniw wykonanych z niekryształicznego (amorficznego) krzemu jest możliwość osadzania cienkich warstw  $\alpha$ -Si na elastycznych podłożach. Typowe ogniwa wykonane w tej technologii osiągają sprawność około 7%. Większą sprawność, sięgającą nawet 11%, można uzyskać poprzez zastosowanie techniki wielokrotnego połączenia  $\alpha$ -Si.

## Parametry elektryczne ogniw słonecznych

Ilość wytworzonej energii elektrycznej pracującego ogniwa słonecznego w ściśle określonych warunkach pomiarowych można określić podając jego sprawność oraz wyznaczając charakterystykę prądowo-napięciową (I-U). Charakterystyka I-U umożliwia określenie prądu zwarcia, napięcia obwodu otwartego oraz mocy maksymalnej ogniwa słonecznego.

Kluczowym parametrem, jednak bardzo rzadko podawanym przed producentów ogniw słonecznych (brak specjalistycznej

aparatury), jest zewnętrzna wydajność kwantowa. Wielkość ta dla ogniw fotowoltaicznych zdefiniowana jest jako stosunek liczby swobodnych nośników ładunku wygenerowanych w złączu p-n do fotonów padających na powierzchnię aktywną ogniwa.

W celu uzyskania bardziej użytecznych parametrów elektrycznych ogniwa są ze sobą łączone w moduły (panele). Stabilną i bezpieczną pracę przez długi okres czasu oraz zabezpieczenie przed czynnikami korozyjnymi uzyskuje się poprzez hermetyczne zamknięcie ogniw w panelu.

## Ogniwa III generacji

Przyroda od wieków stanowi dla człowieka źródło inspiracji. Jednym z najbardziej zadziwiających zjawisk jest fotosynteza, podczas której organizmy roślinne przekształcają energię promieniowania słonecznego w wysokoenergetyczne związki organiczne. Odkrycie mechanizmu tego zjawiska pobudziło wyobraźnię naukowców w kierunku wykorzystania energii słonecznej do produkcji efektywnej energii odnawialnej. Pierwsze próby wykorzystania procesu fotosyntezy do produkcji energii elektrycznej polegały na nanoszeniu warstwy chlorofilu na powierzchnię półprzewodników, np. ditlenku tytanu. Niestety, okazało się, że sprawność tego typu połączeń wynosiła ok. 0,01%.

W 1991 r. zespół prof. Michaela Grätzela z Politechniki w Lozannie opublikował w czasopiśmie „Nature” przełomową pracę, w której przedstawił budowę i zasadę działania barwnikowego ogniwa słonecznego DSSC (ang. Dye-sensitized Solar Cell). Ogniwa DSSC reprezentują III generację ogniw fotowoltaicznych, opartych na związkach organicznych, w których nie ma typowego dla I i II generacji złącza p-n. Barwnikowe ogniwa słoneczne zawierają specjalne związki chemiczne, zdolne do wychwytywania kwantów promieniowania słonecznego i konwertowania ich na energię elektryczną.

Konstrukcja ogniw DSSC oparta jest na budowie warstwowej, na którą składają się dwie transparentne płyty ze szkła TCO, umieszczone równolegle względem siebie

i oddalone o ok. 40  $\mu$ m. Na jedną z płyt naniesiona jest nanokrystaliczna warstwa tlenku tytanu  $\text{TiO}_2$ , pokrytego metaloorganicznym, światłoczułym barwnikiem (sensybilizator) układ ten pełni w ogniwie funkcję fotoanody. Na powierzchni drugiej płyty szkła TCO znajduje się zwykle nanoplatyna, stanowiąca warstwę katalityczną – układ ten stanowi w ogniwie katodę. Przestrzeń pomiędzy płytami wypełniona jest elektrolitem, zawierającym układ redoks  $\text{I}/\text{I}_3^-$ .

Gdy na taki układ pada światło widzialne (strumień fotonów) zachodzą procesy transportu elektronów w następujących etapach. Najpierw cząsteczka barwnika ulega wzbudzeniu do wyższego stanu energetycznego na skutek absorpcji fotonu:  $\text{S} + h\nu \rightarrow \text{S}^*$ . Wzbudzona molekula barwnika oddaje elektron do pasma przewodnictwa  $\text{TiO}_2$ :  $\text{S}^* \rightarrow \text{S}^+ + e^-$ . Przekazanie elektronu jest możliwe, ponieważ wzbudzony poziom elektronowy w cząsteczce barwnika znajduje się powyżej dolnej granicy pasma przewodnictwa  $\text{TiO}_2$ . Następnie elektrony wędrują między nanocząsteczkami ditlenku tytanu do szkła z przewodzącą warstwą TCO i przez obwód zewnętrzny do przeciwelektrody. Barwnik regeneruje się, przejmując elektron od jonu  $\text{I}^-$ , a jon ten pozostaje utleniony do  $\text{I}_3^-$ :  $\text{S}^+ + e^- \rightarrow \text{S}$ . Ostatnim etapem jest redukcja powstałego w poprzednim etapie anionu trójjodkowego do jodku elektronem z przeciwelektrody:  $\text{I}_3^- + 2e^- \rightarrow 3\text{I}^-$ . Układ powraca do stanu równowagi energetycznej i jest gotowy na przyjęcie kolejnego fotonu, aby proces rozpoczął się na nowo.

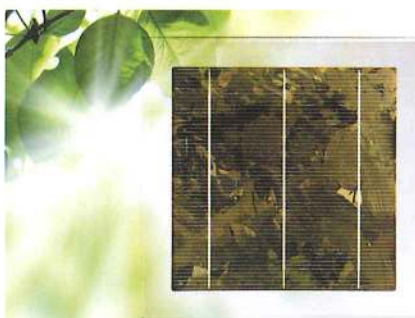
Krytycznym momentem, decydującym o wydajności ogniwa, jest etap przekazania elektronu ze stanu wzbudzonego molekuli barwnika do pasma przewodnictwa  $\text{TiO}_2$ .

W ogniwie może także zachodzić niekorzystny proces, polegający na redukcji anionu trójjodkowego elektronem z tlenku tytanu zamiast elektronem z przeciwelektrody. W wyniku rekombinacji ładunków elektrony nie przechodzą przez obwód zewnętrzny. Proces ten w istotny sposób ogranicza wydajność ogniwa.

Podstawową techniką produkcji ogniw DSSC jest metoda precyzyjnego nanoszenia



Fot. 1. Monokrystaliczne ogniwo krzemowe



Fot. 2. Ogniwo polikrystaliczne z widocznymi ziarnami



Fot. 3. Moduł na bazie cienkowarstwowego krzemu amorficznego o transparentności 20%





Fot. 4. Symulator słoneczny w Laboratorium ML System



Fot. 5. Reometr rotacyjny – Laboratorium ML System (5xArchiwum ML System)

warstw. Pasty stosowane w tej metodzie to układy koloidalne o ściśle kontrolowanych parametrach. Po umieszczeniu poszczególnych warstw na podłożu szklanym z warstwą TCO następuje proces obróbki termicznej. Następnie obydwie elektrody są łączone i uszczelnianie. Kolejnym etapem jest barwienie oraz wypełnianie wolnych przestrzeni elektrolitem. Na wszystkich etapach procesu wytwarzania ogniw DSSC istnieje potrzeba ścisłej kontroli parametrów. Laboratorium produkcyjne powinno być wyposażone w wysokiej klasy aparaturę badawczą, umożliwiającą prowadzenie badań w zakresie: morfologii proszków i zawiesin, topografii powierzchni z wizualizacją 3D, reologii, spektrofotometrii w zakresie UV-VIS-NIR i elektrochemii.

## Przyszłość technologii DSSC

Od początku lat 90. XX w., czyli od momentu ukazania się publikacji prof. Michaela

Grätzela, trwają intensywne prace badawcze nad rozwojem technologii DSSC, mające na celu zwiększenie sprawności konwersji fotowoltaicznej w warunkach zewnętrznych. Obecnie w warunkach laboratoryjnych sprawność tych ogniw wynosi ok. 15%, czyli jest porównywalna z komercyjnie dostępnymi ogniwami II generacji, ale nieznacznie niższa niż sprawność ogniw I generacji. Jednak w porównaniu do ogniw krzemowych, ogniwa DSSC cechują się m.in. dużo wyższą estetyką. Do niewątpliwych ich zalet należy również wysoka transparentność, możliwość doboru barw i mały spadek mocy ze względu na niekorzystny kąt padania promieni, co znajduje zastosowanie w technologii BIPV (ang. Building Integrated Photovoltaics), stanowiąc realizację idei budownictwa ekologicznego.

We Fraunhofer ISE został opracowany i wykonany barwnikowy moduł słoneczny, który spełnia wymagania norm dla szkła architektonicznego. Według tej koncepcji, dekoracyjne i półprzezroczyste modu-

ly zostaną w przyszłości wykorzystywane jako: fasady i szklane powierzchnie budynków, świetliki dachowe, ścianki i przegrody wewnętrzne. Będzie to możliwe, ponieważ ogniwa tego rodzaju mogą generować prąd elektryczny przy oświetleniu z obydwu stron oraz bardzo dobrze działają w świetle rozproszonym i odbitym, bowiem wpływ kąta padania światła na sprawność ogniw jest niewielki. Dodatkową zaletą ogniw DSSC jest działanie w warunkach obniżonego promieniowania (zachmurzenie, zaciemnienie), gdzie ogniwa te mają znacznie lepszą wydajność niż ogniwa krzemowe. Wydajność DSSC jest niezależna od zmiany temperatury w zakresie 25-65°C, natomiast dla ogniw krzemowych maleje o ok. 20% w tym zakresie temperatur.

Obecnie głównym problemem komercjalizacji ogniw DSSC jest przeniesienie wyników osiąganych w skali laboratoryjnej do produkcji przemysłowej. Szczegółowe badania o zasięgu światowym prowadzone są w jednostkach naukowych, m.in. w Niemczech, Szwajcarii, Austrii, Japonii, Korei oraz Stanach Zjednoczonych. Prace te związane są z modyfikacją warstwy półprzewodnikowej, testowaniem różnych barwników światłoczułych oraz poszukiwaniem nowych, bardziej stabilnych elektrolitów i sposobów uszczelniania ogniw.

Rezultatem tych działań są ogniwa, w których warstwa  $TiO_2$  zawiera różnego rodzaju domieszki, usprawniające proces transportu elektronów. Natomiast modyfikacja warstwy światłoczułej odbywa się w kierunku zastąpienia barwników metaloorganicznych znacznie tańszymi barwnikami organicznymi o szerokim spektrum absorpcji promieniowania słonecznego.

Alternatywę w stosunku do elektrolitu  $\Gamma/I_3^-$  stanowią ciecz jonowe, elektrolity żelowe i polimerowe. Głównym kryterium prowadzonych eksperymentów jest opracowanie układu redoks, który pozwoli częściowo wyeliminować niepożądane procesy rekombinacji ładunków, zaburzające transport elektronów, a dodatkowo odznaczać się będzie długotrwałą stabilnością oraz wysokim prądem dyfuzyjnym. Perspektywnie najbardziej obiecujące do zastosowań komercyjnych są ciecz jonowe, których zaletą jest stabilność, bardzo niska prężność par i obojętność dla środowiska.

Krytyczne dla komercjalizacji ogniw DSSC są prace związane z uzyskaniem szczelnego połączenia obydwu elektrod, które gwarantowałyby długotrwałą eksploatację i zapobiegały procesom degradacji ogniwa.

dr inż. Jolanta Szlachta,  
mgr inż. Sławomir Chrobak  
ML System, Rzeszów