

# Wpływ niskotemperaturowej plazmy na właściwości cienkich folii stosowanych do zabezpieczania ogniw fotowoltaicznych

**Streszczenie.** W artykule opisano wykorzystanie plazmy niskotemperaturowej do traktowania powierzchni materiału przeznaczonego do procesu enkapsulacji ogniw fotowoltaicznych w celu zabezpieczenia ich przed degradacją podczas pracy. W pracy opisano wpływ oddziaływania plazmy na właściwości optyczne i powierzchniowe materiału polimerowego. Wyniki pomiarów optycznych wskazują, że modyfikacja plazmowa materiałów poprawia ich transmitancję, co jest efektem pozytywnym w przypadku stosowania ich w technologii ogniw słonecznych. (*Influence of non-thermal plasma on the properties of layer using for the protection of photovoltaic cells*).

**Abstract.** The plasma treatment of the material surface used in the process of encapsulation of laboratory photovoltaic cell to protect the cells from degradation during their operation. The influence of plasma on the optical and surface properties of materials is described. The results of optical measurements indicate that plasma modification of materials improves their transmittance, which is a positive effect when using materials for photovoltaic purpose.

**Słowa kluczowe:** ogniwo fotowoltaiczne, plazma niskotemperaturowa, wyładowania z barierą dielektryczną.

**Keywords:** photovoltaic cell, non-thermal plasma, dielectric barrier discharges.

## Wstęp

Obecnie głównie wykorzystywanymi źródłami energii są paliwa kopalne, do których zalicza się przede wszystkim węgiel, ropę naftową oraz gaz ziemny. Poważną wadę ich stosowania jest fakt, że są one nieodnawialnymi źródłami energii oraz negatywnie wpływają na środowisko naturalne przez emisję do atmosfery gazów cieplarnianych. Wykorzystywanie przez ludzi tych zasobów jest znacznie szybsze niż ich ponowne uzupełnianie. Rozwijająca się gospodarka, rosnąca liczba ludności i postęp techniczny powodują, że zapotrzebowanie na energię elektryczną nieustannie wzrasta. W związku z tym, tak ważne są badania mające na celu znalezienie alternatywnych, odnawialnych, tanich i czystych źródeł energii. Aktualnie duże możliwości wytwarzania energii elektrycznej daje energetyka rozproszona, bazująca na technologiach takich jak fotowoltaika, energetyka wodna, wiatrowa czy geotermalna.

Mówiąc o energetyce fotowoltaicznej należy pamiętać, iż popularne krystaliczne ogniwa krzemowe nie są jedynymi stosowanymi obecnie rozwiązaniami. Ogniwa tego typu należą do pierwszej generacji ogniw słonecznych, charakteryzują się wysoką sprawnością (ponad 20%), ale również wysokim kosztem produkcji. Innym rozwiązaniem źródeł energii są ogniwa nieorganiczne, w których wykorzystuje się przykładowo tellurek kadmu (CdTe), krzem amorficzny bądź mieszaninę miedzi, indu, galu i seleniu (CIGS). Cechą charakterystyczną tych ogniw jest bardzo mała grubość warstwy półprzewodnika, który odpowiada za absorpcję światła (rzędu milionowych części metra). Ogniwa tego typu są tańsze w produkcji, jednakże wykazują niższą sprawność (7-15%). Udział procentowy ogniw nieorganicznych na rynku jest nadal najwyższy.

Obecnie coraz większym zainteresowaniem cieszą się ogniwa organiczne. Do ich zalet można zaliczyć między innymi elastyczność i obniżoną masę. Jednakże ogniwa słoneczne oparte na komponentach organicznych cechują się niską sprawnością. W tym miejscu warto zaznaczyć, że w wyniku prowadzonych badań nad tym rodzajem ogniw, odnotowuje się ciągły wzrost tego parametru – przykładowo 5,15% w roku 2010 [1], 8,3% w roku 2011 [2], 11,2% w roku 2017 [3]. Ponadto produkcja ogniw organicznych jest dużo prostsza niż w przypadku materiałów nieorganicznych. Na dodatek szacuje się, że docelowo tego typu ogniwa będą znacznie tańsze od najpopularniejszych obecnie na rynku ogniw krzemowych. Wizja kilkukrotnie niższej ceny

wytwarzania energii elektrycznej w przeliczeniu na jednostkę powierzchni ogniwa jest głównym czynnikiem, który motywuje do dalszych badań z zakresu ogniw organicznych. Prowadzone prace badawcze dotyczą przede wszystkim doboru właściwych materiałów, wytworzenia odpowiednich elektrod oraz warstw zabezpieczających. Obecnie poszukuje się materiałów, które umożliwią efektywną enkapsulację ogniw w celu zabezpieczenia ich przed czynnikami degradacyjnymi takimi jak wilgoć i tlen. Przykładowo proponuje się zastosowanie do tego celu cienkich folii polimerowych. W prezentowanych badaniach zastosowana folia została dodatkowo poddana modyfikacji plazmowej, która jest często stosowaną metodą modyfikacji różnych powierzchni.

Przypuszcza się, że ogniwa organiczne, ze względu na swoje właściwości (np. lekkość, elastyczność), będą w niedalekiej przyszłości masowo stosowane. Planuje się je instalować na namiotach, torbach, ubraniach, ale również na ścianach budynków i dachach. Jeżeli udałoby się osiągnąć zadawalającą przezroczystość ogniwa, mogłyby również zostać umieszczone na oknach. Rozwiązanie tego typu może nie umożliwi pokrycia całego zapotrzebowania na energię elektryczną danego budynku, ale z pewnością byłoby wystarczające dla zasilenia pewnych jego elementów, np. układu klimatyzacji lub oświetlenia klatek schodowych.

## Organiczne ogniwa słoneczne

Ogniwa słoneczne służą do przetwarzania energii światła słonecznego na energię elektryczną. Początkowo zostały opracowane na potrzeby zasilania urządzeń pracujących w przestrzeni kosmicznej. Obecnie znajdują zastosowanie w zasilaniu monitorów, telefonicznych przełączników, stacji klimatologicznych, urządzeń przeciwpożarowych i wielu innych [4]. Dotychczas do produkcji ogniw słonecznych wykorzystywano materiały nieorganiczne. Ich podstawową wadą jest wysoki koszt w odniesieniu do cen konwencjonalnych źródeł energii. Z tego powodu poszukuje się nowych, tańszych rozwiązań, pozwalających na generację energii elektrycznej. Okazuje się, że ogniwa słoneczne wytwarzane z materiałów organicznych posiadają wiele zalet, jak na przykład elastyczność, małą masę i częściową transparentność. Szacuje się, że docelowo tego typu ogniwa będą znacznie tańsze od konwencjonalnych ogniw krzemowych. Ogniwa organiczne nie są jeszcze stosowane na masową skalę,

choćby ze względu na niewystarczającą sprawność i stosunkowo krótki czas życia [4].

Konstruowane obecnie organiczne ogniwa słoneczne OSCs (ang. Organic Solar Cells) zawierają dwa podstawowe elementy – warstwę materiału donorowego oraz warstwę materiału akceptorowego. Ze względu na sposób ich rozmieszczenia, wśród stosowanych OSCs, można wyróżnić dwie podstawowe struktury [5]: warstwową (ang. Bilayer) oraz objętościową (ang. Bulk Hetero Junction, BHJ).

Struktura warstwową cechuje się powstaniem złącza, o określonej powierzchni, na styku warstwy wykonanej z materiału donorowego i akceptorowego. W przypadku struktury objętościowej oba materiały przenikają się i powierzchnia uzyskanego złącza nie jest znana. Podczas badań wykonywano laboratoryjne modele ogniwa o strukturze BHJ.

W typowym OSC, warstwa fotoaktywna umieszczona zostaje pomiędzy dwoma elektrodami (katodą i anodą) z odpowiednimi warstwami pośrednimi. W ogniwie może występować jedna bądź dwie warstwy aktywne (wtedy mówi się o ogniwie tandemowym). Zgodnie z kierunkiem przepływu ładunku, OSCs można podzielić na ogniwa o standardowej bądź odwróconej architekturze [6].

Konwersja światła słonecznego na energię elektryczną dla danej architektury zachodzi w następujących etapach [7]:

1. Absorpcja fotonu w warstwie donorowej. Wzbudzenie następuje z najwyższej zajętego orbitala molekularnego HOMO (ang. Highest Occupied Molecular Orbital) na najniższej nieobsadzony orbital molekularny LUMO (ang. Lowest Unoccupied Molecular Orbital). W wyniku tego procesu tworzy się ekscyton – stan wzbudzony w polimerze.
2. Dyfundowanie ekscytonu w warstwie donorowej do chwili, w której dotrze do granicy donora/akceptor – częściowa dysocjacja ekscytonów.
3. Tworzenie się par elektron-dziura na granicy donora/akceptor w wyniku dysocjacji ekscytonu.
4. Przejście elektronów do warstwy akceptora, natomiast dziura pozostaje w warstwie donora.
5. Gromadzenie się nośników ładunku na odpowiednich elektrodach – powstanie różnicy potencjałów i przepływ prądu.

Proces konwersji światła na energię elektryczną przebiega analogicznie zarówno dla ogniwa „standardowych” jak i „odwróconych”. Role poszczególnych warstw są takie same w obu przypadkach, np. katoda zawsze odpowiada za zbieranie ładunków ujemnych (elektronów), natomiast anoda zbiera nośniki dodatnie (dziury). Różnica polega na tym, że warstwy, dla obu struktur, są inaczej usytuowane. Pierwsza warstwa (licząc od podłoża) w architekturze standardowej jest anodą, a w strukturze odwróconej – katodą. Analogicznie sytuacja przedstawia się dla pozostałych warstw. Jak wspomniano wcześniej, obie architektury różnią się od siebie kierunkiem przepływu ładunków.

Organiczne ogniwa słoneczne o architekturze odwróconej charakteryzują się wydłużonym czasem życia i stabilnością działania. Okazuje się bowiem, że tego typu rozwiązanie skutecznie zapobiega problemom korozji na stykach metali reaktywnych, które stosowane są w ogniwach o standardowej strukturze (przykładowo elektrody z aluminium). Wykorzystując architekturę odwróconą można zastosować stabilne elektrody metaliczne, a nawet wykonać ogniwo słoneczne bez użycia elektrod metalowych. Dodatkową zaletą omawianej struktury jest to, że przy zastosowaniu metali szlachetnych możliwe staje się

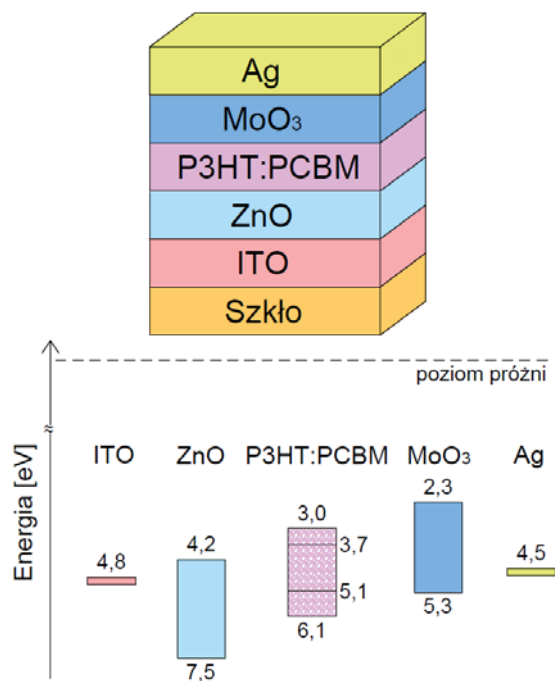
drukowanie elektrod katodowych, czyli nie jest konieczne stosowanie naparowywania termicznego. Drukowanie elektrod jest procesem prostszym, szybszym i mniej kosztownym. Nie ulega więc wątpliwości, że architektura „odwrócona” i wykorzystanie elektrod drukowanych umożliwiły przygotowanie dużej liczby OSCs w krótkim czasie [8].

### Proces enkapsulacji organicznych ogniwa słonecznych

Enkapsulację organicznego ogniwa słonecznego, czyli zabezpieczenie przed czynnikami zewnętrznymi (np. parą wodną, tlenem), wykonuje się przede wszystkim w celu spowolnienia procesów degradacyjnych. Jedną z metod enkapsulacyjnych organicznych ogniwa słonecznych polega na zabezpieczeniu ogniwa za pomocą szkła (część przednia) oraz za pomocą szkła bądź metalu (część tylna) [8]. Proces tego typu może być wykonywany w każdych warunkach. Omówiona metoda posiada jednak istotną wadę – enkapsulacja za pomocą szkła znacznie ogranicza elastyczność ogniwa. Z tego powodu poszukiwano alternatywnych rozwiązań. Obecnie dużą popularnością cieszą się warstwy zabezpieczające w postaci cienkich folii. Ważne jest, aby wybrany materiał, oprócz niskiej przepuszczalności wody i tlenu, charakteryzował się również odpowiednią przezroczystością w zakresie długości fal od 400 nm do 1000 nm [9]. Ponadto warstwa zabezpieczająca powinna być obojętna chemicznie, lekka i elastyczna.

### Wyniki pomiarów

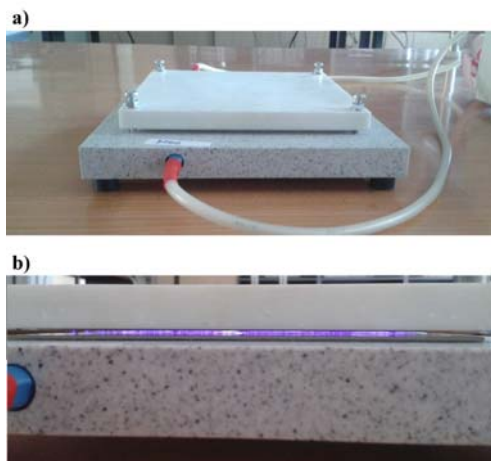
W ramach pracy wykonano organiczne ogniwa słoneczne w skali laboratoryjnej we Wrocławskim Centrum Badań EIT+. Wykonane ogniwa słoneczne są ogniwami o strukturze odwróconej, co pokazano na rysunku 1.



Rys.1. Schemat zaproponowanej odwróconej struktury oraz poziomy energetyczne poszczególnych warstw ogniwa

Podstawowym etapem pracy było przeprowadzenie procesu enkapsulacji laboratoryjnych modeli ogniwa fotowoltaicznych. W tym celu w badaniach zaproponowano wykorzystanie obróbki plazmowej folii stanowiącej zabezpieczenie ogniwa. Proces traktowania folii z wykorzystaniem niskotemperaturowej plazmy prowadzono

w układzie z tzw. wyładowaniami barierowymi (ang. dielectric barrier discharges, DBDs) w powietrzu przy ciśnieniu atmosferycznym – rysunek 2.

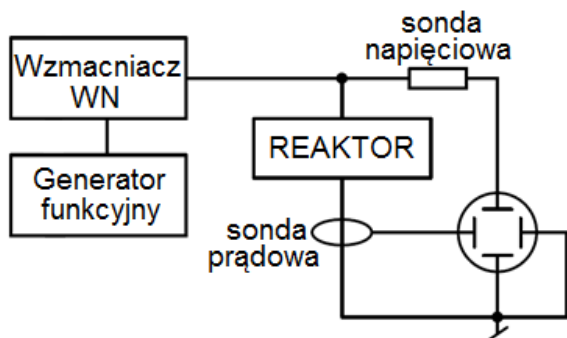


Rys.2. Wygląd konstrukcji reaktora plazmowego (a) oraz obraz wyładowań barierowych podczas obróbki folii (b)

Reaktor skonstruowano w układzie otwartym (tzn. ze swobodnym dostępem gazu do jego wnętrza) w geometrii płasko-równoległej. Bariere dielektryczną stanowiła ceramika alundowa o grubości 2 mm umieszczona na dolnej elektrodzie (uziemiaonej). Szczelina gazowa między elektrodą wysokiego napięcia a powierzchnią dielektryczną (barierą ceramiczną) wynosiła 4 mm. Powierzchnia czynna reaktora, objęta wyładowaniami elektrycznymi (obszar występowania niskotemperaturowej plazmy), miała około 120 cm<sup>2</sup>.

Do enkapsulacji organicznych ogniw słonecznych wybrano cienką przezroczystą folię Melinex firmy Teijin DuPont Films. Z wybranej folii zostały wycięte jednakowej wielkości próbki, z czego cztery zostały poddane modyfikacji plazmowej, natomiast jedna pozostała niemodyfikowana jako próbka kontrolna.

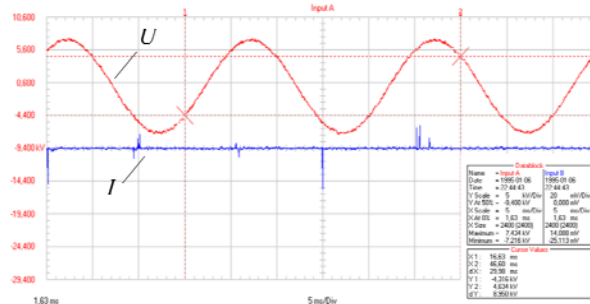
Podczas plazmowej obróbki folii polimerowej pomiaru mocy dokonywano z wykorzystaniem metody tzw. szybkiej transformaty Fouriera (ang. Fast Fourier Transform, FFT) w środowisku Matlab. Transformacja Fouriera jest jednym z podstawowych narzędzi analizy częstotliwościowej sygnałów. Zastosowana metoda umożliwia znalezienie odpowiedzi amplitudowej sygnału w dziedzinie częstotliwości poprzez wykorzystanie jego odpowiedzi w dziedzinie czasu. Pomiar mocy czynnej w reaktorze plazmowym z wykorzystaniem metody FFT przeprowadzono w układzie pomiarowym pokazanym na rysunku 3.



Rys.3. Schemat układu pomiarowego do wyznaczania mocy czynnej w reaktorze plazmowym z wykorzystaniem metody FFT

W pomiarach wykorzystano oscyloskop cyfrowy Fluke 196C, sondę wysokonapięciową Tektronix P-6015 oraz sondę prądową Tektronix P-6021.

Typowe przebiegi napięcia i prądu przy zasilaniu reaktora wysokim napięciem o częstotliwości 50 Hz pokazano na rysunku 4.



Rys.4. Typowe przebiegi napięcia i prądu w reaktorze plazmowym do wyznaczania mocy czynnej z wykorzystaniem metody FFT

W celu zwiększenia intensywności wyładowań w komorze reaktora zastosowano również do zasilania wysokie napięcie o częstotliwości 37 kHz. W celu porównania procesu modyfikacji dla obu rodzajów napięć zasilających (50 Hz lub 37 kHz), wprowadzono dodatkowy parametr – gęstość energii wykorzystanej w procesie wytwarzania plazmy  $E_j$ , określony zależnością:

$$(1) \quad E_j = \frac{P \cdot t}{S}$$

gdzie:  $P$  – moc czynna wyładowań,  $t$  – czas trwania obróbki (modyfikacji) folii,  $S$  – powierzchnia objęta wyładowaniami w reaktorze plazmowym.

Wyniki pomiarów mocy czynnej obu rodzajów zasilania i różnych czasów trwania obróbki  $t$  oraz obliczeń parametru  $E_j$  umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki pomiarów mocy czynnej oraz obliczeń gęstości energii wykorzystanej na wytworzenie niskotemperaturowej plazmy

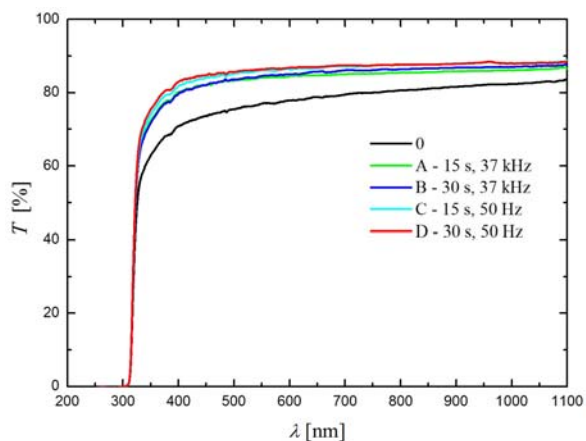
Rodzaj modyfikacji	$t$ [s]	$f$ [Hz]	$P$ [W]	$E_j$ [J/cm <sup>2</sup> ]
A	15	37·10 <sup>3</sup>	4,55	0,56
B	30	37·10 <sup>3</sup>	4,55	1,13
C	15	50	1,95	0,24
D	30	50	1,95	0,48

Na podstawie wyników pomiarów zebranych w tabeli 1 można stwierdzić, że wzrost czasu trwania obróbki oraz wzrost częstotliwości napięcia zasilającego reaktor prowadzą do ponad 2-krotnego wzrostu gęstości energii  $E_j$  dla ustalonego czasu trwania obróbki  $t$ . Ponadto przy wzroście częstotliwości napięcia zasilającego reaktor z 50 Hz do 37 kHz obserwowano znacznie intensywniejsze wyładowania (o dużej równomierności), co prowadziło do wzrostu mocy czynnej reaktora.

Podczas modyfikacji plazmowej zachodzą procesy takie jak oczyszczanie lub trawienie warstwy wierzchniej materiałów polimerowych, sieciowanie cząstek w warstwie wierzchniej bądź powstawanie w niej nowych struktur chemicznych [10]. Zjawiska te mogą odgrywać istotną rolę podczas prowadzenia procesu enkapsulacji ogniw. Efektem wpływu niskotemperaturowej plazmy mogą być zmiany właściwości optycznych i powierzchniowych materiałów poddanych obróbce. W celu sprawdzenia wpływu modyfikacji plazmowej na właściwości wybranej folii

Melinox wykonano pomiary transmitancji poszczególnych próbek oraz pomiar ich kąta zwilżania.

Zależność transmitancji badanej folii  $T$  w funkcji długości fali  $\lambda$  wyznaczono podczas badań spektrofotometrycznych. W badaniach wykorzystano urządzenie do pomiaru transmisji firmy Filmetrics. Charakterystykę  $T=f(\lambda)$  dla folii niezmodyfikowanej i poddanej obróbce plazmowej przedstawiono na rysunku 5.



Rys.5. Wyniki pomiarów transmitancji  $T$  w zależności od długości fali promieniowania  $\lambda$ .

Jak można zauważyć, modyfikacja plazmowa wpływa pozytywnie na wartość transmitancji folii w całym zakresie promieniowania widzialnego ( $\lambda=380-780$  nm). Wzrost wartości transmitancji była najbardziej widoczny dla małych wartości  $\lambda$  – około 10%. Wzrost transmitancji badanej folii był praktycznie na tym samym poziomie, niezależnie od przyjętych parametrów modyfikacji plazmowej.

Do pomiaru kąta zwilżania (ang. Water Contact Angle, WCA) wykorzystano przyrząd See System E firmy Advex Instruments. Dla wszystkich próbek, pomiar wykonywany był dla trzech niezależnych kropli wody destylowanej o objętości 4  $\mu$ l każda. Następnie z otrzymanych wyników obliczano średnią wartość WCA. Pomiar I zrealizowano bezpośrednio po przeprowadzeniu modyfikacji plazmowej. Natomiast pomiar II wykonano dla próbek modyfikowanych, które były przechowywane przez 21 dni w atmosferze powietrza w warunkach normalnych ciśnienia i temperatury. Wyniki pomiarów kąta zwilżania zebrano w tabeli 2.

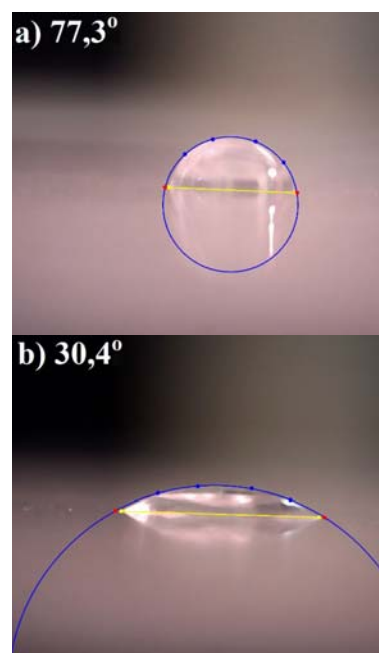
Tabela 2. Wyniki pomiarów kąta zwilżania powierzchni folii bez obróbki i poddawanej obróbce plazmowej

Rodzaj modyfikacji	WCA [°]	
	Pomiar I	Pomiar II
Brak	77,4	-
A - 15 s, 37 kHz	35,6	49,3
B - 30 s, 37 kHz	32,6	44,3
C - 15 s, 50 Hz	74,6	77,1
D - 30 s, 50 Hz	60,2	66,4

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że modyfikacja plazmowa prowadzi do poprawy zwilżalności zastosowanej folii, gdyż zmierzony kąt zwilżania maleje. Dla próbek C i D, czyli przy zasilaniu reaktora napięciem o częstotliwości 50 Hz, zjawisko to jest bardzo subtelne, szczególnie dla krótszego czasu modyfikacji (15 s). Traktowanie plazmowe, przy wykorzystaniu reaktora zasilanego napięciem o częstotliwości 37 kHz, wydaje się być znacznie skuteczniejsze. Stwierdzono, że bezpośrednio

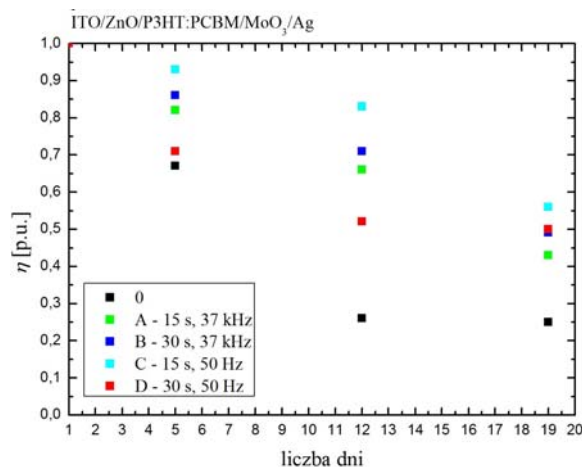
po modyfikacji, próbki A i B wykazywały WCA na poziomie 33-36°, czyli ponad 50% mniejsze od wartości tego kąta dla próbki niezmodyfikowanej (77,4°).

Zauważono również zjawisko częściowego odzyskiwania właściwości hydrofobowych przez próbki w czasie ich przechowywania w atmosferze powietrza w warunkach normalnych ciśnienia i temperatury. Najbardziej podatnymi na to zjawisko okazały się być próbki C i D. Próbka C praktycznie całkowicie odzyskała swoje pierwotne właściwości. Wartości WCA, osiągnięte przez próbki A i B po 21 dniach, były nadal zdecydowanie niższe niż w przypadku próbki niezmodyfikowanej (44-49°). Badania analizujące wpływ modyfikacji plazmowej na zwilżalność folii, w wyniku których uzyskano analogiczne wnioski, opisano w [11]. Na rysunku 6 pokazano obrazy kropli powstających na powierzchni folii bez obróbki oraz poddanej modyfikacji plazmowej.



Rys.6. Wygląd kropli dla folii niezmodyfikowanej (a) oraz folii poddanej obróbce plazmowej (b)

W ostatniej części badań sprawdzono zależność sprawności ogniwa fotowoltaicznego poddanego procesowi enkapsulacji w czasie jego użytkowania. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 7.



Rys.7. Zależność sprawności ogniwa fotowoltaicznego od czasu jego użytkowania z zastosowaniem folii w procesie enkapsulacji

Z charakterystyki pokazanej na rysunku 7 wynika, że zastosowanie folii w procesie enkapsulacji ogniwa fotowoltaicznego bez wstępnej jej modyfikacji plazmowej prowadzi do znacznie intensywniejszego obniżenia sprawności ogniwa w czasie jego użytkowania w porównaniu z przypadkami, kiedy stosowano folie modyfikowane.

### Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań prowadzą do następujących wniosków:

- zaproponowana metoda FFT pomiaru mocy czynnej wyładowań podczas powstawania niskotemperaturowej plazmy wydaje się być alternatywnym narzędziem w stosunku do metody wykorzystującej tzw. krzywe Lissajous,
- częstotliwość napięcia zasilającego reaktor z barierą dielektryczną istotnie wpływa na intensywność wyładowań w komorze reaktora,
- wzrost częstotliwości napięcia zasilającego reaktor prowadzi do wzrostu mocy czynnej traconej na wytworzenie niskotemperaturowej plazmy, a co za tym idzie – do wzrostu gęstości energii wyładowań (tabela 1),
- w badaniach utrzymywano gęstość energii  $E_j$  na poziomie poniżej  $1,2 \text{ J/cm}^2$  w celu uniknięcia niepożądanych cieplnych efektów oddziaływania plazmy z traktowaną powierzchnią materiału polimerowego,
- proces plazmowej obróbki folii wykorzystywanej w procesie enkapsulacji wpływa pozytywnie na właściwości optyczne tej warstwy – wzrost wartości transmitancji (rysunek 5),
- obróbka plazmowa folii stosowanej jako warstwa zabezpieczająca podczas enkapsulacji ogniwa może mieć pozytywny wpływ na technologię wytwarzania ogniwa – wzrost właściwości adhezyjnych warstwy,
- zastosowanie napięcia o wysokiej częstotliwości (37 kHz) umożliwia znacząco zmianę właściwości zwilżalnych folii – obniżenie kąta zwilżania,
- proces zmiany właściwości adhezyjnych folii polimerowej jest odwracalny (tabela 2),
- zastosowanie folii, poddanej wstępnej plazmowej obróbce, w procesie enkapsulacji pozwala na obniżenie spadku sprawności skonstruowanych ogniwa w czasie ich pracy w porównaniu z przypadkiem stosowania folii zabezpieczających bez modyfikacji (rysunek 7).

*Badania wykonano w ramach prac statutowych Katedry Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii Politechniki Wrocławskiej oraz badań własnych prowadzonych w WCB EIT+.*

**Autorzy:** dr inż. Tomasz Czapka, Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław, e-mail: tomasz.czapka@pwr.edu.pl; mgr inż. Angelika Woś, Politechnika Wroclawska, Katedra Podstaw Elektrotechniki i Elektrotechnologii, Plac Grunwaldzki 13, 50-377 Wrocław, e-mail: angelika.wos@pwr.edu.pl; dr inż. Marcin Palewicz, Wrocławskie Centrum Badań EIT+ Sp. z o.o., ul. Stabłowicka 147, 54-066 Wrocław, e-mail: marcin.palewicz@eitplus.pl

### LITERATURA

- [1] Green M. A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Solar cell efficiency tables (version 35), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 18 (2010), 144-150
- [2] Green M. A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E. D., Solar cell efficiency tables (version 38), *Progress in Photovoltaics: Research and Application*, 19 (2011), 565-572
- [3] Green M. A., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E. D., Levi D. H., Ho-Baillie A., Solar cell efficiency tables (version 49), *Progress in Photovoltaics: Research and Application*, 25 (2017), 3-13
- [4] Palewicz M., Iwan A., Polimerowe ogniwa słoneczne, *Polimery*, 56 (2011), n.2, 99-107
- [5] Wang H. J., Chen C. P., Jeng R. J., Polythiophenes Comprising Conjugated Pendants for Polymer Solar Cells: A Review, *Materials*, 7 (2014), n.4, 2411-2439
- [6] Yin Z., Wei J., Zheng Q., Interfacial Materials for Organic Solar Cells: Recent Advances and Perspectives, *Advances Science*, 3 (2016), n.8, 1-37
- [7] Heeger A. J., Semiconducting and Metallic Polymers: The Fourth Generation of Polymeric Materials (Nobel Lecture), *Angewandte Chemie International Edition*, 40 (2001), n.14, 2591-2611
- [8] Krebs F. C. (Editor), *Stability and Degradation of Organic and Polymer Solar Cells*, Wiley, 2012, ISBN 978-1-119-95251-0, 151-153
- [9] La Notte L., Polino G., Verzola P., Salamandra L., Brunetti F., Brown T. M., Di Carlo A., Reale A., Influence of encapsulation materials on the optical properties and conversion efficiency of heat-sealed flexible polymer solar cells, *Surface & Coatings Technology*, 255 (2014), 69-73
- [10] Żenkiewicz M., *Adhezyja i modyfikowanie warstwy wierzchniej tworzyw wielocząsteczkowych*, Warszawa: WNT, 2000, ISBN 83-204-2547-6, 142-171
- [11] Kostov K. G., dos Santos A. L. R., Nascente P. A. P., Kayama M. E., Mota R. P., Modification of polyethylene terephthalate by atmospheric pressure dielectric barrier discharge (DBD) in view of improving the polymer wetting properties, *Journal of Physics: Conference Series*, 356 (2012), 1-5