

Warszawa 29 września 2017

Prof. dr hab. Marek Godlewski  
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk  
02-668 Warszawa  
Al. Lotników 32/46

**Recenzja rozprawy doktorskiej magistra Michała Duszy**  
**„Stability issues of third generation solar cells**  
**fabrication, characterization and light-soaking effect”**

Praca doktorska magistra inżyniera Michała Duszy napisana jest w języku angielskim. Recenzentem rozprawy jest profesor dr hab. Wiesław Stręk z Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk im. Włodzimierza Trzebiatowskiego we Wrocławiu, a recenzentem pomocniczym dr. inż. Filip Granek, wysokiej klasy specjalista w tematyce doktoratu.

Praca dotyczy określenia mechanizmów odpowiedzialnych za degenerację organicznych ogniw fotowoltaicznych (o klasycznym układzie warstw organicznych P3HT/PCBM) jak i zbadania efektu modyfikacji parametrów takiego ogniwa w wyniku oświetlenia światłem (światłem UV). Ten ostatni proces nazwałem w swojej recenzji procesem dojrzewania ogniwa. Jest to oczywiście mój subiektywny wybór nazwy efektu.

Zanim przystąpię do opisu pracy nawiążę do jej tytułu. W literaturze fachowej występuje pewna rozbieżność co do przyjętej terminologii. W części prac w fachowej literaturze za trzecią generację uważa się wyłącznie ogniwa wielo-złączowe. W takim przypadku ogniwa badane przez autora rozprawy należą do czwartej generacji ogniw. I takie przypisanie nie jest jednak jednoznaczne, bo inni autorzy za czwartą generację uważają ogniwa z nanocząstkami. Na przykład ogniwa barwnikowe.

W obecnej pracy autor zaliczył do trzeciej generacji wszystkie inne niż ogniwa pierwszej (mono i polikrystaliczne ogniwa krzemowe) i drugiej generacji (ogniwa cienkowarstwowe – takie jak wykorzystujące cienkie warstwy CdTe lub CIGS). Takie przypisanie nie jest zarzutem do autora rozprawy, ale tylko stwierdzenie, że przyjęta w rozprawie klasyfikacja (ogniwa trzeciej generacji) nie jest jednoznaczna.

Zacznę od ogólnego stwierdzenia, że praca napisana jest bardzo starannie i ilość błędów, w tym językowych, jest mała. Jej konstrukcja jest bardzo logiczna, a załączony opis stanu wiedzy na temat fotowoltaicznych ogniw organicznych jest bardzo fachowy. Cytowane są bardzo liczne prace z literatury fachowej. Liczba referencji (251 referencji) robi wyjątkowo pozytywne wrażenie. Autor rozprawy zna i cytuje kluczowe prace w badanej przez niego tematyce.

Formalnie praca składa się z dziesięciu części – ze wstępu (część pierwsza), z opisu organicznych ogniw fotowoltaicznych (rozdział drugi), opisu metodyki doświadczalnej (rozdział trzeci), z opisu procedury wykonania ogniw na szkle (rozdział czwarty), z analizy wpływu procesu wygrzewania ogniw (rozdział piąty), opisu wpływu oświetlenia UV na degradację ogniw (rozdział szósty), z analizy procesu foto-rozkładu warstw (fotolizy) w ogniwie (rozdział siódmy), z opisu procesu „dojrzwiania” warstw w wyniku podświetlenia (rozdział ósmy), z opisu warstw elastycznych wytworzonych na foliach (rozdział dziewiąty) i końcowego rozdziału, gdzie podsumowane są uzyskane wyniki. Bardzo podoba mi się taki układ doktoratu. Jest logiczny. Można śledzić tok rozumowania autora rozprawy.

Nie będę analizował rozdziału za rozdziałem. Skupiam się na wyliczeniu najważniejszych (w moim odczuciu) rezultatów rozprawy.

W szczególności, w rozdziale pierwszym autor podkreśla dużą wagę prac nad alternatywnymi źródłami energii, w tym prac dotyczących fotowoltaiki. Masowe użycie nieodnawialnych surowców w energetyce spowodowało olbrzymi wzrost emisji CO<sub>2</sub> do

atmosfery. Jeśli nie obniżymy emisji tego gazu cieplarnianego nastąpią katastrofalne zmiany klimatyczne.

Biorąc ten fakt pod uwagę, uważam, że opisane w rozdziale drugim fotowoltaiczne ogniwa organiczne są bardzo atrakcyjnym rozwiązaniem. Potencjalnie będą to najtańsze ogniwa a także, co istotne jest z punktu widzenia ich konkurencji z „klasycznymi” źródłami energii elektrycznej, najbardziej ekologiczne. Tym samym nie jest dziwne, że takie ogniwa badane są przez wiele grup na świecie.

Aby ich masowe użycie stało się możliwe, musimy wyeliminować podstawowe wady tych ogniw – przede wszystkim małą stabilność czasową. Ogniwa organiczne niestety szybko degenerują się w środowisku naturalnym (pod wpływem tlenu, wody etc...). Ponadto ogniwa takie nie są odporne na oświetlenie światłem UV, przecież dostępnym w świetle słonecznym docierającym do powierzchni Ziemi. Choć efekty te mogą być minimalizowane przez odpowiednią obudowę ogniw i stosowanie filtrów, to wyjaśnienie odpowiednich mechanizmów degeneracji jest najważniejszym celem wielu prac badawczych.

Zbadanie efektów limitujących stabilność ogniw organicznych jest przedmiotem pracy doktorskiej magistra inżyniera Michała Duszy. W moim odczuciu praca analizuje bardzo ważne problemy, co jest głównym atutem tej rozprawy.

Jak już pisałem nie będę opisywał zawartości poszczególnych rozdziałów rozprawy. Wykonano w niej bardzo szczegółowe badania i opisano je bardzo starannie. W zamian wymienię najważniejsze osiągnięcia pracy. Oczywiście jest to dosyć subiektywny wybór. Na przykład, ponieważ osobiście zajmuję się badaniami tlenku cynku, opracowanie dwóch metod osadzania ZnO i zastosowania warstw tego związku w organicznych ogniwach fotowoltaicznych czytałem z dużym zainteresowaniem.

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy uważam:

1. Opracowanie dwóch metod wytwarzania warstw tlenku cynku – z proszków ZnO w odpowiednim rozpuszczalniku oraz z octanu cynku. Ta druga metoda umożliwiła skonstruowanie ogniw na foliach.
2. Zoptymalizowanie procesu wygrzewania warstw/ogniw, tak aby uzyskać ogniwa o najlepszej stabilności. Uzyskana stabilność - ponad 2000 godzin jest istotnym osiągnięciem.
3. Dogłębne zbadanie mechanizmów starzenia ogniw. Wyjaśniony został wpływ zjawiska fotolizy i efektów środowiskowych.
4. Przeanalizowanie efektów „dojrzewania” (light-soaking) ogniw przy podświetleniu.
5. Wytworzenie elastycznych ogniw fotowoltaicznych na podłożach foliowych.

Jak na pracę doktorską są to poważne osiągnięcia. Wykonane zostały bardzo staranne i sensownie zaplanowane badania. Przebadano liczne ogniwa fotowoltaiczne, dla których przeprowadzono bardzo szczegółowe analizy. Liczba wykonanych i zbadanych ogniw robi duże wrażenie.

Podsumowując, uważam, że praca doktorska magistra inżyniera Michała Duszy wypełnia wszelkie wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim określone w art.13 ustawy z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym. Złożona rozprawa zawiera bogaty materiał badawczy jak i dojrzałą interpretację uzyskanych wyników. Nie



znalazłem w pracy usterek, błędów etc... Jeśli jednak mam wskazać słabszą stronę tej pracy to zabrakło mi trochę wizji co dalej i co wynika z przeprowadzonych badań. Nie jest to jednak istotny zarzut. Wnioskuje więc o dopuszczenie rozprawy do jej publicznej obrony.

Prof. dr hab. Marek Godlewski

