



dr hab. inż. Włodzimierz Strupiński
wlodek.strupinski@pw.edu.pl

Warszawa, dnia 15.11.2022 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej magistra Dariusza Augustowskiego pt.:

“New methods of preparing third generation solar cells.”

Recenzję wykonano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny NAUKI FIZYCZNE Uniwersytetu Jagiellońskiego, prof.dr hab. Jacka Golaka z dnia 23 września 2022r. Recenzja została wykonana zgodnie z obowiązującymi przepisami zawartymi w Ustawie z dn. 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dziennik Ustaw z 2020r. poz.85 z póź.zm.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej wykonanej pod kierunkiem prof. Jakuba Rysza (jako promotora) oraz dr Pawła Kwaśnickiego (jako promotora pomocniczego) z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej są zagadnienia naukowo-badawcze związane z innowacjami w technologii wytwarzania barwnikowych ogniw fotowoltaicznych.

Lektura *Wstępu* utwierdza czytelnika w przekonaniu, że podjęta w niniejszej rozprawie tematyka badań nad ogniwami fotowoltaicznymi ma duże znaczenie ze względu na narastający problem związany z tradycyjną produkcją energii elektrycznej, mianowicie z kosztami wytwarzania, dostępnością surowców, drogą infrastrukturą i szkodliwym oddziaływaniem na środowisko. We wstępie przedstawiono bardzo skrótowo globalną sytuację wykorzystywania energii słonecznej oraz stosowane na świecie rozwiązania, zapominając jednak o bardzo istotnych wielo-złączowych ogniwach ze związków półprzewodnikowych III-V (TJSC). Pozostaje pewien niedosyt informacji o stanie techniki nad wykorzystywaniem różnego typu ogniw i zastosowaniach, co nie ma związku z

**Politechnika
Warszawska**

ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa
www.nano.fizyka.pw.edu.pl
wlodek.strupinski@pw.edu.pl

wartością samej rozprawy, natomiast mogła to być dobra sposobność dla studentów i doktorantów do wprowadzenia w temat ogniw fotowoltaicznych.

Pan mgr Augustowski sformułował w sposób jasny i konkretny tezy pracy obejmujące próby optymalizacji technologii wytwarzania ogniw barwnikowych z punktu widzenia zwiększania ich wydajności, a także usprawnienia procesów przydatnych w produkcji o większej skali. Tezy te sformułował w postaci dziewięciu pytań otwartych oraz pytań sugerujących określone rozwiązanie.

Następnie, w krótkim, ale treściwym rozdziale 2 przedstawił teoretyczne podstawy działania ogniw barwnikowych dowodząc tym samym odpowiedniego przygotowania do zaplanowanych eksperymentów. Opisy teoretyczne zostały uzupełnione rozdziałem 4 z opisem zastosowanych metod charakteryzacji na stronach od 14 do 34. Na podkreślenie zasługuje fakt wykorzystania szerokiego wachlarza metod: profilometru igłowego i optycznego, mikroskopii sił atomowych, elektronowej mikroskopii skaningowej, spektroskopii rtg, UV-VIS-NIR, Fouriera, Ramana, spektrofluorometrii, SIMS, pomiarów C-V, sondy Kelvina. Przedstawione opisy są głęboko merytoryczne, a zaprezentowane podstawy teoretyczne dobrze ukierunkowane pod kątem wykorzystania w przeprowadzonych w ramach pracy badaniach. Pan mgr Augustowski wykazał tu bardzo dobrą znajomość metodologii charakteryzacji badanych materiałów i parametrów.

Prace własne, które dominują w rozprawie rozpoczynają się od rozdz. 3 będącego opisem materiałów wykorzystywanych w ogniwach oraz technologii ich zastosowania. Pierwszy badawczy problem został opisany w rozdziale 5 i dotyczy obecności związków organicznych w mezoporowatym TiO_2 pochodzących z pasty tytanowej i sposobu ich usuwania za pomocą ozonu. Po przedstawieniu stanu wiedzy Pan mgr Augustowski szczegółowo opisał przebieg eksperymentu i przedstawił uzyskane wyniki wykazując się dużą dojrzałością badawczą przy stosowaniu odpowiednich metod charakteryzacyjnych i przy

interpretacji rezultatów. Wnioskiem tej części pracy własnej jest potwierdzenie skuteczności znanej już techniki stosowania ozonu do usuwania pozostałości związków organicznych oraz opracowanie technologii ww. Poparciem dla dokonanych obserwacji są pomiary wykonanych ogniów z użyciem tej techniki. Autor rozprawy dowodzi, że pozwoliło to zwiększyć wydajność ogniów o 28% i wyjaśnia zjawiska towarzyszące. Wyniki charakterystyk gęstości prądu w funkcji napięcia (J-V) dla ozonowanych i nie ozonowanych ogniów powinny być podane w ujęciu bardziej statystycznym. Przy rozrzutach 6.5 i 10% niewiadomego pochodzenia, odpowiednio w jednym i drugim przypadku, interpretacja zwiększenia wydajności o 28% nie jest oczywista. Ze względu na to iż jest to jeden z najważniejszych efektów zwiększających wydajność ogniów jakie udało się osiągnąć w pracy doktorskiej, należałoby dokładniej opisać te wyniki. Niemniej, na trzy pierwsze tezy sformułowane w postaci pytań zostały podane odpowiedzi poparte dobrym materiałem badawczym i dyskusją wyników.

Kolejna grupa tez pracy to sugestie dotyczące sposobu wykonania i efektu działania warstwy tzw. „electron blocking layer” z tlenku tytanu. Wybrano metodę sputteringu magnetronowego ze względu na możliwość implementacji w produkcji o dużej skali. Działania technologiczne zweryfikowano dokładnie za pomocą kilku metod pomiarowych ujawniających obecność warstwy, jej grubość, topografię, strukturę oraz transmitancję. Poprawność zastosowanych metod nie budzi zastrzeżeń, jak też interpretacja uzyskanych wyników. Podobnie jak poprzednio, ostateczną weryfikację stanowią pomiary wykonanych ogniów. Ponieważ, każda z postawionych tez odnosi się do użytkowych parametrów ogniwa, ich charakterystyka powinna przebiegać w sposób bardziej ustandaryzowany dla każdego z eksperymentów. Tym razem wspomniano już o odchyleniu standardowym. Niezbyt jasne jest tłumaczenie ulepszenia ogniów o większej powierzchni za pomocą elektrod ze srebra. Jaki efekt to przyniosło jeśli chodzi o wydajność?

Kolejne zagadnienie badawcze obejmuje zastosowania nano-cząstek platyny w miejsce platynowej pasty, co mogłoby umożliwić zwiększenie skali produkcji ogniw barwnikowych. Pan mgr Augustowski wykorzystał informacje dostępne w literaturze do zbudowania urządzenia do nanoszenia nano-cząstek platyny z wykorzystaniem elektro-osadzania, a następnie opracował technologię. Proces opracowania technologii polegał na wykonaniu ciągu eksperymentów w trybie konwencjonalnym i innowacyjnym oraz pomiarów metodą absorbancji i SEM w celu zbadania skuteczności metody i morfologii wytwarzanych nano-cząstek. Przeprowadził także szczegółową analizę powierzchni elektrochemicznie aktywnej oraz skuteczności elektro-katalizy, co opisał w rozdziale 7. Na bazie pozytywnych rezultatów zdecydowano się wykonać ogniwa dla zbadania końcowego efektu. Pomimo obniżenia parametru PCE wyjaśnionego na gruncie pomiarów pracy wyjścia opracowana technika wydaje się być konkurencyjna do konwencjonalnej „screen-printing” i stwarza możliwości zwiększania skali produkcji. Dodatkowo, autor rozprawy zauważa, że metoda może być przydatna także do innych zastosowań.

W ostatnim rozdziale nr 8 Pan mgr Augustowski opisał zagadnienie wykorzystania elektrolitu na bazie polimeru w celu zweryfikowania ostatniej z tez dotyczących możliwości zastąpienia zwykle stosowanego elektrolitu ciekłego, wykazującego szereg wad użytkowych. Przedmiotem badań były parametry elektryczne ogniwa z różnymi odmianami elektrolitu żelowego oraz procesy starzeniowe. Sam elektrolit został opracowany i przygotowany w Wojskowym Instytucie Techniki Inżynierskiej. Rola mgr Augustowskiego polegała na użyciu elektrolitu w ogniwie i wyborze typu elektrolitu pod kątem najlepszej jakości ogniwa. Swoje spostrzeżenia sformułował na podstawie systematycznie wykonanych eksperymentów zwieńczonych skonstruowaniem demonstratora w postaci ładowarki zasilanej ogniwami barwnikowymi z wykorzystaniem elektrolitu żelowego.

Rozprawę kończy rozdział opisujący możliwości implementacji wyników pracy oraz podsumowanie. Zabrakło tu, moim zdaniem, wyraźniejszego opisu przydatności wszystkich uzyskanych osiągnięć z punktu widzenia zwiększenia wydajności ogniwa, trwałości oraz możliwości produkcyjnych w stosunku do stanu sprzed rozprawy.

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska zawiera wartościowe wyniki badań nad ogniwami barwnikowymi z naciskiem na użyteczne ich wykorzystanie w warunkach produkcyjnych. Autor rozprawy wykazał się bardzo dobrym warszatem badawczym w postaci zaplanowania i wykonania eksperymentów, użycia wielu metod pomiarowych i właściwej interpretacji rezultatów. Część wyników przedstawiał już wcześniej w publikacjach. Na tej podstawie stwierdzam, że rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* i zwracam się do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie z wnioskiem o dopuszczenie mgr Dariusza Augustowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto uważam, że wartość naukowa rozprawy doktorskiej zasługuje na wyróżnienie, o co niniejszym wnioskuję.



Włodzimierz Strupiński