

Kraków, 28.07.2014r.

Prof. dr hab. Tomasz Stapiński
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica
w Krakowie
Katedra Elektroniki
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Recenzja rozprawy doktorskiej

pt.: Elastyczne ogniwa fotowoltaiczne

Autorka: mgr inż. Katarzyna Znajdek

promotor
prof. dr hab. inż. Zbigniew Lisik

promotor pomocniczy
dr inż. Maciej Sibiński

Problematyka rozprawy

Obserwowany dynamiczny rozwój fotowoltaiki skłania wielu autorów do podejmowania wysiłku opracowania nowych struktur, modyfikacji istniejących rozwiązań w celu czy to zwiększenia wydajności urządzeń czy to poszukiwania nowych funkcjonalności. Prace dotyczą otrzymania tanich ogniw i modułów fotowoltaicznych, obniżenia masy jak i zapewnienia elastyczności konstrukcji.

Zapewnienie elastyczności ogniw słonecznych wiąże się z koniecznością rozwiązania licznych problemów dotyczących struktur warstwowych, zachowania się złącza w warunkach występujących naprężeń, elektrod oraz samego podłoża.

Autorka podjęła się w swojej pracy przeprowadzenia bardzo szerokich badań i działań technologicznych obejmujących całościowe zbadanie wszystkich elementów ogniwa oraz co najważniejsze wytworzenia konstrukcji prototypowej cienkowarstwowego ogniwa drugiej generacji i jego charakteryzacji. Godne podkreślenia jest potencjalna możliwość integracji ogniw i modułów fotowoltaicznych tego typu z urządzeniami elektronicznymi oraz zastosowania jako elementów elewacyjnych itp. Pani mgr inż. Katarzyna Znajdek

2

skoncentrowała się na cienkich warstwach półprzewodnikowych CdTe i CdS o utrwalonej wadze aplikacyjnej w fotowoltaice.

Charakterystyka rozprawy

Rozprawa składa się ze 172 stron i ma prawidłowy układ edytorski, a jej struktura jest przejrzysta. Przytoczona bibliografia jest obszerna, zawiera aż 280 pozycji w większości z kilku ostatnich lat wydanych w liczących się czasopismach naukowych. Świadczy to o dogłębnym rozeznaniu literaturowym Pani mgr inż. Katarzyny Znajdek w uprawianej dyscyplinie naukowej. Rozprawa zawiera spis stosowanych w tekście symboli i 2 aneksy.

Po wstępie w rozdziałach 2 i 3 przedstawiono genezę i rozwój konstrukcji ogniw fotowoltaicznych oraz przegląd podstawowych konstrukcji ogniw cienkowarstwowych. Rozdział 4 dotyczy technologii wytwarzania cienkowarstwowych ogniw CdTe/CdS z uwzględnieniem wyników prac prowadzonych w Katedrze Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych Politechnik Łódzkiej. Autorka podjęła działania zmierzające do obniżenia temperatury procesów technologicznych z 600 do 420°C zapewniających wymaganą jakość warstw polikrystalicznych, co jest niewątpliwym osiągnięciem Autorki. Zamieszczone wyniki badań strukturalnych (SEM) potwierdzają wpływ katalizatora CdCl₂ na jakość CdS jak i CdTe.

W rozdziale 5 Autorka przeprowadziła kompleksową analizę właściwości materiałów podłożowych dedykowanych konstrukcji ogniw elastycznych. Badane aspekty to elastyczność, wytrzymałość mechaniczna, wysoka odporność temperaturowa oraz wysoka transmisja optyczna w zakresie obszaru fotoczułości. Rozważano też możliwości aplikacyjne folii metalowych oraz wysokotemperaturowych materiałów tekstylnych i papieru. Rozdział ten stanowi również ciekawy materiał badawczy dla innego rodzaju zastosowań podłoży niż fotowoltaika.

Rozdział 6 poświęcony jest doborowi materiałów elektrodowych dla fotowoltaicznych struktur elastycznych. Ogniwa typu CdS/CdTe stawiają specyficzne wymagania dla elektrod. Autorka przeprowadziła badania elektryczne i mechaniczne dostępnych materiałów takich jak folia miedziana, napyłone warstwy miedzi, warstwy miedzi z nadrukowaną warstwą grafenu, folia molibdenowa, warstwa molibdenowa na folii polimerowej, siatkę z pasty srebrowej pod kątem zastosowania w cienkowarstwowych ogniwach typu CdS/CdTe. Wytworzone struktury PV z wymienionymi materiałami elektrodowymi przebadano uzyskując potwierdzenie możliwości zastosowania znanych procesów technologicznych ogniw fotowoltaicznych CdS/CdTe w fotowoltaice elastycznej.

W rozdziale 7 Autorka zajęła się problematyką transparentnych warstw przewodzących występujących w fotowoltaice cienkowarstwowej. Pani mgr inż. Katarzyna Znajdek wykonała i przebadła różnorodne warstwy przewodzące jako kontakty emiterowe w elastycznych strukturach fotowoltaicznych. Przedstawiono wyniki badań optycznych, elektrycznych i strukturalnych warstw ITO, ZnO:Al, TiO₂, na podłożach dedykowanych fotowoltaice elastycznej. Autorka zajęła się materiałami organicznymi takimi jak nanorurki węglowe, polimery przewodzące PEDOT. W rozdziale wykazano ograniczoną możliwość stosowania typowych warstw ITO z uwagi na niestabilność ich parametrów elektrycznych oraz kruchość. Dobrą odporność mechaniczną wykazała struktura z pastą na bazie nanorurek węglowych oraz cienkie warstwy na bazie polimerów przewodzących PEDOT wytwarzane metodą sitodruku. Niewątpliwym osiągnięciem Autorki jest potwierdzenie eksperymentalne możliwości zastosowania polimerów przewodzących typu PEDOT, nanorurek węglowych oraz domieszkowanych warstw ZnO:Al w zamian szeroko stosowanego tlenku indowo-cynowego (ITO).

Rozprawę kończy rozdział zatytułowany „Podsumowanie”, gdzie streszczono najważniejsze osiągnięcia Autorki. Dołączone 2 aneksy dotyczą ubytków masy badanych folii oraz badania transmisji optycznej podłoży.

Oryginalne osiągnięcia Autorki

Najważniejsze osiągnięcia Pani mgr inż. Katarzyny Znajdek:

- adaptacja technologii ogniw CdTe/CdS do zastosowań w strukturach elastycznych
- kompleksowa analiza właściwości materiałów podłożowych dedykowanych konstrukcji ogniw elastycznych
- wykonanie prototypowych elastycznych struktur PV typu CdTe/CdS
- zastąpienie tlenku ITO, pełniącego funkcję kontaktu emiterowego w cienkowarstwowych ogniwach fotowoltaicznych, innymi transparentnymi warstwami przewodzącymi
- oryginalna koncepcja Autorki została potwierdzona doświadczalnie z użyciem licznych metod charakterystycznych.

Uwagi szczegółowe

Pani mgr inż. Katarzyna Znajdek swoją rozprawę doktorską napisała poprawnym językiem polskim, bez błędów stylistycznych i gramatycznych. Pomimo starannej pracy edytorskiej i dogłębnie przeprowadzonej analizy uzyskanych wyników popełniła jednak kilka błędów i uchybień, które nie wpływają na wartość merytoryczną rozprawy:

- opis rysunków 2.10, 2.11, 3.5 w języku angielskim
- zła jakość rys.2.10 (treść rysunku jest nieczytelna)
- s.56 wiersz 5 od dołu użyto do określenia mililitra symbolu mL,
- s.106, rys.6.3 mało czytelny Na str. 118 w Tabeli 6.4 wskazane jest podanie wymiarów geometrycznych wytworzonych struktur PV
- str. 119 rys. 6.16 i 6.17 wskazane jest podanie wartości współczynnika FF i wydajności struktur fotowoltaicznych
- s.139, rys.7.17 wskazany byłby komentarz do obserwowanych wahań wyników
- w bibliografii na s.169 poz. 237 jest niekompletna

Wnioski końcowe

Autorka w czasie realizacji swojej pracy doktorskiej wykazała się dużą intuicją jako naukowiec. Na podkreślenie zasługuje aplikacyjny charakter pracy i możliwość wykorzystania wyników badań przy projektowaniu urządzeń fotowoltaicznych o szerokim spektrum zastosowań. Reasumując stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty a recenzowana rozprawa doktorska posiada wysoki poziom naukowy i stanowi znaczący wkład w dziedzinę optoelektroniki i inżynierii materiałowej Dojrzałość naukową Pani mgr inż. Katarzyna Znajdek potwierdza fakt, iż niektóre wyniki prac były już opublikowane w czasopismach naukowych.

Reasumując stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty, recenzowana rozprawa doktorska posiada wysoki poziom naukowy i spełnia z naddatkiem warunki stawiane rozprawom doktorskim. Na podstawie Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki z 14 marca 2003 roku wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Równocześnie, po przyjęciu publicznej obrony pracy doktorskiej, z uwagi na jej wysoki poziom naukowy, fakt opublikowania niektórych zagadnień poruszanych w rozprawie w czasopismach naukowych, interdyscyplinarność i aspekty aplikacyjne składam **wniosek o jej wyróżnienie.**

