

Łódź, 30 stycznia 2015 r.

Prof. dr hab. inż. Bogusław Więcek
Politechnika Łódzka
Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki
Instytut Elektroniki
ul. Wólczańska 211/215
90-924 Łódź

**Recenzja osiągnięcia naukowego i aktywności naukowej
dra inż. Macieja Sibińskiego,
Kandydata do stopnia naukowego doktora habilitowanego**

1. Sylwetka Kandydata

Dr inż. Maciej Sibiński ukończył studia magisterskie na Politechnice Łódzkiej w 1999 r., a stopień doktora nauk technicznych uzyskał w 2008 r. Tematyka jego doktoratu dotyczyła polikrystalicznych ogniw słonecznych CdTe. Kandydat od czasu ukończenia studiów pracuje na Politechnice Łódzkiej, początkowo w Instytucie Elektroniki, a następnie w Katedrze Przyrządów Półprzewodnikowych i Optoelektronicznych. Obecnie obszarem jego zainteresowań badawczych jest technologia wytwarzania i charakteryzacja elementów elektronicznych, głównie ogniw fotowoltaicznych i sensorów temperatury.

2. Ocena osiągnięcia naukowego

Prace naukowe dra inż. Macieja Sibińskiego po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych dotyczyły procesów technologicznych stosowanych przy wytwarzaniu przezroczystych warstw na kontakty ogniw słonecznych. Dr Sibiński zajmował się pomiarami i charakteryzacją tych warstw pod kątem właściwości mechanicznych, optycznych oraz elektrycznych.

Kandydat przedstawił do oceny 10 publikacji, które wg niego stanowią cykl prac poświęconych cienkim warstwom transparentnym do zastosowań w elastycznych ogniwach słonecznych. Osiem z nich dotyczy bezpośrednio przezroczystych warstw przewodzących, które można wykorzystać jako kontakty w elastycznych ogniwach fotowoltaicznych. Jedna z prac, dotycząca przezroczystych warstw przewodzących jest rozdziałem w książce, a siedem pozostałych prac znajduje się na liście JCR. Dwie prace poświęcone są ogniom CdTe na podłożu elastycznym oraz sensorom tekstronicznym na podłożu włóknistym i odbiegają tematyką od zagadnień warstw transparentnych. Prace [1-7] dotyczą przezroczystych warstw przewodzących, zgodnie z zadeklarowanym przez habilitanta osiągnięciem naukowym.

- [1] Maciej Sibiński, Małgorzata Jakubowska, Katarzyna Znajdek, Marcin Słoma, Bartłomiej Guzowski, *Carbon nanotube transparent conductive layers for solar cell applications*, *Optica Applicata*, vol. 41, 2011.
- [2] Maciej Sibiński, Katarzyna Znajdek, Sylwia Walczak, Marcin Słoma, Michał Gorski, Adam Cenian, *Comparison of ZnO:Al, ITO and carbon nanotube transparent conductive layers in flexible solar cells applications*, *Materials Science and Engineering B* 177 (2012) 1292–1298.

- [3] Andrzej Łukasik, Maciej Sibiński, Sylwia Walczak, *Relaxation of stresses in polystyrene-carbon microcomposite resistive layers*, *Materials Science and Engineering B* 177 (2012) 1331–1335.
- [4] Agnieszka Iwan, Ewa Schab-Balcerzak, Mariola Siwy, Andrzej Sikora, Marcin Palewicz, Henryk Janeczek, Maciej Sibinski, *New aliphatic-aromatic tetraphenylphthalic-based diimides: Thermal, optical and electrical study*, *Optical Materials* 33 (2011) 958–967.
- [5] Agnieszka Iwan, Igor Tazbir, Maciej Sibiński, Bartosz Boharewicz, Grzegorz Pasciak, Ewa Schab-Balcerzak, *Optical, electrical and mechanical properties of indium tin oxide on polyethylene terephthalate substrates: Application in bulk-heterojunction polymer solar cells*, *Materials Science in Semiconductor Processing* 24(2014) 110–116.
- [6] Maciej Sibiński, Katarzyna Znajdek, Mirosław Sawczak, Michał Górski, *AZO layers deposited by PLD method as flexible transparent emitter electrodes for solar cells*, *Microelectronic Engineering* 127 (2014) 57–60.
- [7] Aleksandra Apostoluk, Yao Zhu, Bruno Masenelli, Jean-Jacques Delaunay, Maciej Sibiński, Katarzyna Znajdek, Alexandru Focsa, Iga Kaliszewska, *Improvement of the solar cell efficiency by the ZnO nanoparticle layer via the down-shifting effect*, *Microelectronic Engineering* 127 (2014) 51–56.

W pracach Kandydata można wyróżnić 4 główne kierunki badawcze:

- zastosowanie i charakteryzacja nanowarstw węglowych do wytwarzania przezroczystych kontaktów,
- charakteryzacja warstw ZnO:Al do zastosowań w ogniwach słonecznych,
- wytwarzanie kontaktów przezroczystych na podłożach organicznych,
- wytwarzanie warstw przewodzących w ogniwach z efektem fotoluminescencji w celu zwiększenia sprawności fotokonwersji.

We wszystkich pracach, które podlegają ocenie, dr inż. Maciej Sibiński jest współautorem, często na 1. pozycji, z udziałem 15–80 %. Dwie prace współautorstwa dra M. Sibińskiego, w których Kandydat jest 1. pozycji, uważam za kluczowe w ocenie jego osiągnięcia naukowego [1,2].

W pracy pt. *Carbon nanotube transparent conductive layers for solar cell applications*, zaproponowano zastosowanie warstwy wzbogaconej nanorurkami do wytwarzania przezroczystych kontaktów w ogniwach słonecznych. Pomierzono rezystancję elektryczną pasty przewodzącej z różną zawartością nanorurek w mieszaninie. Wykonano pomiary, które wykazały mniejszą transmitancję dla światła widzialnego o ok. 10–15 % w porównaniu z warstwami z tlenku indu – ITO. Ponadto przeprowadzono badania porównawcze odporności na zginanie warstw CNT i ITO. Wyniki były bardzo obiecujące i potwierdziły, że warstwy CNT są znacznie bardziej odporne na odkształcenia, co predysponuje je w zastosowaniach do optoelektroniki elastycznej.

W pracy pt. *Comparison of ZnO:Al, ITO and carbon nanotube transparent conductive layers in flexible solar cells applications*, przeprowadzono kompleksowe porównanie warstw ITO, AZO i CNT. Warstwy nanorurkowe nakładano metodą PLD (*ang. Pulsed Laser Deposition*). Przeprowadzono badania transmitancji optycznej tych warstw w zakresie widzialnym i w bliskiej podczerwieni, zarówno przed, jak i po stresie termicznym, przy cyklicznych zmianach wartości temperatury w przedziale $-40 \div +125$ °C. Wykazano niewielką zmianę transmitancji optycznej warstw CNT dla długości fali powyżej 350 nm, przy zmianach wartości temperatury, ale niestety przy ograniczonej do 45 % transmitancji optycznej. Potwierdzono niewielkie zmiany rezystancji, o ok. ± 0.8 %, przy 100 cyklach zginania i ok. 9 % przy odkształceniu statycznym na walcu o średnicy 20 mm.

Obie powyższe prace potwierdzają, że dr inż. Maciej Sibiński jest jednym z pierwszych badaczy, którzy proponują stosowanie warstw CNT w elastycznych ogniwach słonecznych. Można potwierdzić, że osiągnięciem naukowym Kandydata jest oryginalny wkład do technologii wytwarzania i charakteryzacji wybranych warstw transparentnych z nanorurkami do zastosowań w elastycznych ogniwach słonecznych.

Kolejne prace dra Sibińskiego, które wiążą się z głównym nurtem badań przedstawionym wyżej, dotyczą technologii wytwarzania i charakteryzacji warstw polimerowych z wypełniaczem węglowym [3], warstw przewodzących na podłożach organicznych [4,5], domieszkowanych warstw tlenku cynku [6] oraz struktur z efektem luminescencji, który prowadzi do konwersji promieniowania w zakres fal dłuższych i poprawy sprawności energetycznej ogniw [7].

W pracy pt. *Relaxation of stresses in polystyrene-carbon microcomposite resistive layers*, przedstawiono wyniki badań warstw polimerowych z wypełniaczem węglowym. Przebadano otrzymane struktury pod kątem stałości impedancji elektrycznej dla częstotliwości do 10 MHz. Wyznaczono zależności rezystancji elektrycznej od temperatury oraz w czasie nagrzewania i relaksacji po wyłączeniu prądu. Główny udział Kandydata w tej pracy to wykonanie badań, w tym także termowizyjnych.

W pracach pt. *Optical, electrical and mechanical properties of indium tin oxide on polyethylene terephthalate substrates: Application in bulk-heterojunction polymer solar cells* oraz *New aliphatic-aromatic tetraphenylphthalic-based diimides: Thermal, optical and electrical study*, dr Maciej Sibiński pracując w interdyscyplinarnym zespole, zajmował się badaniami warstw przewodzących na podłożach organicznych. W tych pracach jego udział dotyczył badań warstw ITO oraz pomiarów elektrycznych i optycznych ogniw wykorzystujących materiały organiczne. Na podstawie tych prac można bez wątpliwości stwierdzić, że działalność naukowa Kandydata nie ogranicza się do wąskiego obszaru. Dr Sibiński, współpracując z innymi zespołami badawczymi, prowadzi badania w zakresie najnowszych, dynamicznie rozwijanych kierunków naukowych w obszarze optoelektroniki, w tym przede wszystkim fotowoltaiki.

Ten sam wniosek nasuwa przy analizie ostatniej pracy – *Improvement of the solar cell efficiency by the ZnO nanoparticle layer via the down-shifting effect*, której współautorem jest Kandydat. W tej pracy wykonanej w ramach współpracy międzynarodowej, dr Maciej Sibiński uczestniczył w innowacyjnym przedsięwzięciu naukowym jakim są warstwy luminescencyjne do poprawy sprawności energetycznej ogniw słonecznych. Kandydat do stopnia dra hab. przygotowywał warstwy ZnO, przeprowadził symulacje optyczne i elektryczne oraz wyznaczył wydajność kwantową ogniw z różnymi warstwami fotoluminescencji przy uwzględnieniu transparentnych kontaktów przewodzących ITO dla różnych typów ogniw: Si, CIGS i CdTe.

W pracy pt. *Flexible temperature sensors on fibers* (Maciej Sibiński, Małgorzata Jakubowska, and Marcin Słoma, *Sensors*, vol. 10, 2010, ISSN 1424-8220) autorzy zastosowali warstwy CNT do opracowania sensorów termicznych. Praca potwierdziła wysoką odporność tych warstw na odkształcenie i co ciekawe, wykazała ujemną wartość współczynnika temperaturowego warstw CNT oraz stabilizację zmian rezystancji po powtórnych wygrzewaniu. Ten ciekawy wynik eksperymentów nie był przedmiotem analiz i badań w kolejnych pracach Kandydata dotyczących kontaktów w elastycznych ogniwach słonecznych. Fakt ten zastanawia, czy ujemna wartość współczynnika TCR była wynikiem określonej procedury technologicznej, czy może jest charakterystyczna dla podłoża włóknistych.

Ogólna uwaga do prac dra Macieja Sibińskiego dotyczy braku głębszej interpretacji uzyskanych wyników. Prace i badania naukowe, w których uczestniczył Kandydat mają głównie charakter eksperymentalny i wydają się zbiorem wyników ilościowych dla

szczególnych przypadków badawczych. Brakuje w jego pracach wyraźnych uogólnień, szczególnie dyskusji na gruncie teorii i modelowania zjawisk fizycznych w strukturach nanorurkowych. Dobrym przykładem może być problem ujemnej wartości współczynnika TCR, który ma niebagatelne znaczenie praktyczne w ogniwach słonecznych. Zdaję sobie sprawę, że dzisiejszym etapie rozwoju wiedzy, dyskusja teoretyczna i modelowanie nanostruktur jest trudne i czasem niemożliwe, ale doradzam, by w przyszłości Kandydat, jeśli zostanie samodzielnym pracownikiem nauki, bardziej wniknął w fizyczną istotę problemu i dążył do formułowania uogólnień naukowych.

Reasumując można stwierdzić, że dr inż. Maciej Sibiński przedstawił cykl monotematycznych publikacji, które potwierdzają jego osiągnięcie naukowe, jakim jest **wkład do technologii wytwarzania i badań transparentnych warstw przewodzących kontaktów elektrycznych w elastycznych ogniwach fotowoltaicznych**. Uważam, że cykl tych publikacji w wystarczającym stopniu spełnia wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego dra habilitowanego przez Ustawę o Stopniach i Tytule Naukowym.

Na podstawie oceny osiągnięcia naukowego, popieram wniosek o nadanie dr. inż. Maciejowi Sibińskiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk technicznych.

3. Ocena aktywności naukowej

Dr inż. Maciej Sibiński jest specjalistą w dziedzinie technologii wytwarzania, pomiarów i eksploatacji ogniw słonecznych, w tym ogniw na podłożach elastycznych. Kandydat jest współautorem 13 publikacji z listy JCR o łącznym współczynniku *Impact Factor* 16,87. Indeks Hirsha wg bazy *Web of Science* wynosi 3, a liczba cytowań 51.

Do wspomnianych wcześniej zainteresowań naukowych dra Sibińskiego można dołączyć inne obszary optoelektroniki i technologii mikroelektronicznej, takie jak:

- ogniwa słoneczne CdS/CdTe,
- elektronika grubowarstwowa,
- energetyka fotowoltaiczna,
- tekstroniczne sensory temperatury.

Poza publikacjami z listy JCR, po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, dr inż. Maciej Sibiński opublikował 22 prace w czasopiśmie krajowych i zagranicznych oraz przedstawił 29 referatów na konferencjach. W tym okresie jego aktywność naukowa i publikacyjna wyraźnie wzrosła. Począwszy od 2009 r., liczba cytowań liniowo rosła i osiągnęła poziom 21 w 2014 r. Imponująca jest też roczna liczba publikacji w ostatnich trzech latach 2012-2014. Wynosi ona 4 publikacje na rok.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że Kandydat posiada 2 przyznane patenty oraz 4 zgłoszenia patentowe. Świadczy to o jego umiejętności wykorzystania osiągnięć naukowych w praktyce i wdrażania nowych rozwiązań do zastosowań przemysłowych. Patenty i zgłoszenia patentowe nie dotyczą bezpośrednio tematyki cienkich warstw transparentnych dla elastycznych ogniw słonecznych, co jest głównym przedmiotem oceny w procesie habilitacyjnym. Działalność wdrożeniowa dra Sibińskiego związana jest z układami pomiarowymi, technologią sensorów i systemami solarnymi.

Kandydat uczestniczył w kilku projektach wdrożeniowych w zakresie odnawialnych źródeł energii. Współpraca z innymi jednostkami badawczymi i przemysłowymi na polu wdrażania nowych technologii i osiągnięć naukowych jest bardzo ważnym elementem działalności przyszłego samodzielnego pracownika nauki.

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych, dr Maciej Sibiński współrealizował 7 projektów badawczych, w tym w jednym był kierownikiem. Projekt w programie OPUS, którym kierował Kandydat, bezpośrednio dotyczył tematyki przezroczystych warstw przewodzących dla ogniw słonecznych.

Nie bez znaczenia jest także współpraca dra Sibińskiego z ośrodkami naukowymi w kraju i zagranicą. Dr inż. Maciej Sibiński uczestniczył w 2 projektach międzynarodowych: w ramach 6 Programu Ramowego i w bilateralnym projekcie polsko-francuskim Polonium. Niektóre prace naukowe z zakresu cienkich warstw dla ogniw elastycznych powstały we współpracy z Uniwersytetem w Lionie, Instytutem Technologii Elektronowej w Krakowie, Instytutem Elektrotechniki we Wrocławiu, Polską Akademią Nauk w Zabrzu i Gdańsku i Uniwersytetem Śląskim. Współpraca z innymi ośrodkami naukowymi świadczy o uznaniu jakim w środowisku naukowym cieszą się prace dra Sibińskiego.

Dr inż. Maciej Sibiński był recenzentem wielu publikacji krajowych i międzynarodowych, w tym monografii, artykułów i projektów. Współorganizował konferencje i warsztaty naukowe oraz był zaproszony do komitetu redakcyjnego jako edytor, przez redakcję czasopisma *Material Science and Engineering* w 2009 r.

Na podkreślenie zasługuje także fakt, że dr inż. Maciej Sibiński był promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr inż. Katarzyny Znajdek pt. „*Elastyczne ogniwa fotowoltaiczne*”, zakończonym w 2014 r.

Dr Maciej Sibiński prowadzi autorskie wykłady i kursy szkoleniowe z zakresu odnawialnych źródeł energii i ogniw słonecznych, jest cenionym nauczycielem akademickim, opiekuje się dyplomantami studiów magisterskich i inżynierskich oraz odbył wiele staży w zagranicznych ośrodkach uniwersyteckich we Włoszech, w Niemczech i w Belgii.

4. Wniosek końcowy

Na podstawie szczegółowej analizy dorobku naukowego dra inż. Macieja Sibińskiego można stwierdzić, że przedłożony do oceny cykl publikacji dotyczący przezroczystych warstw do wytwarzania kontaktów ogniw słonecznych jest spójny i monotematyczny. Wyniki przedstawionych prac z zakresie zastosowań warstw z nanorurkami stanowią oryginalny wkład Kandydata do badań i technologii wytwarzania kontaktów w ogniwach słonecznych, głównie elastycznych.

Dodatkowo, uwzględniając wyniki innych prac, w tym publikacji dotyczących sensorów, ogniw słonecznych CdTe oraz na podłożach organicznych, można bez wątplenia skónstatować, że dr inż. Maciej Sibiński jest uznanym w środowisku naukowcem i osiągnął pozycję naukową, która moim zdaniem, pozwala mu rozpocząć samodzielną działalność naukową.

Popieram wniosek o nadanie dr. inż. Maciejowi Sibińskiemu stopnia naukowego dra habilitowanego.

