

Kraków, 10.02.2020 r.

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

OCENA

**Dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia naukowego
pn. „Badanie wpływu defektów metastabilnych na wybrane charakterystyki elektryczne
cienkowarstwowych ogniw słonecznych opartych na Cu(In, Ga)Se₂”**

**oraz istotnej aktywności naukowej Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego w związku
wszczętym przez
Centralną Komisję do Spraw Stopni i Tytułów
postępowaniem habilitacyjnym**

Informacje ogólne:

Pan dr inż. Paweł Zabierowski jest związany z Politechniką Warszawską z Wydziałem Fizyki od 2002 do chwili obecnej. Początkowo był zatrudniony w Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej RAWAR (1995-1996) jako programista, w latach 2001-2009 jako asystent a później jako adiunkt w Polsko-Japońskiej Wyższej Szkole Technik Komputerowych (PJWSTK) w Warszawie. W roku 2002 roku obronił pracę doktorską pt.: „Badanie zjawisk elektronowych w obszarze międzypowierzchni w strukturach fotowoltaicznych ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ z wykorzystaniem metody DLTS”. Promotorem rozprawy był Pan prof. Rajmund Bacewicz.

Tematyka naukowa Habilitanta

Zainteresowania naukowe Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego począwszy od pracy magisterskiej związane były z tematyką półprzewodników potrójnych CuInSe₂, analizą poziomów pułapkowych i zjawisk elektronowych w obszarze międzypowierzchni w strukturach ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se₂ z wykorzystaniem metody DLTS. Nieprzypadkowe jest zainteresowanie Habilitanta wybraną grupą półprzewodników i struktur półprzewodnikowych z uwagi na bardzo ważny aspekt aplikacyjny badań i związek z fotowoltaiką. O wadze wybranego kierunku badań świadczy rekordowa sprawność ogniw słonecznych z absorberem Cu(In,Ga)Se₂ (CIGSe), możliwość wytworzenia struktur

fotowoltaicznych na elastycznych podłożach i ich zastosowania w budownictwie tzw. „Building integrated photovoltaics - BIPV”.

Tematyka badawcza Habilitanta realizowana była na Politechnice Warszawskiej i w ośrodkach zagranicznych np. na ETH w Zurichu w grupie prof. Tiwariego, gdzie prowadził prace nad ogniwami słonecznymi CdTe, a następnie w Niemczech (stypendium DAAD) w Institut Für Physikalische Elektronik na Uniwersytecie w Stuttgarcie we współpracy z dr. Uwe Rau'em (badania efektów metastabilnych w ogniwach CIGSe). Wymiernymi efektami tej współpracy było wyjaśnienie wpływu pola elektrycznego na procesy wychwytu/emisji nośników przez stany pułapkowe w obszarze międzypowierzchni CdS/CIGSe oraz klasyfikację zjawisk metastabilnych. Już jako doktor nauk fizycznych Pan dr inż. Paweł Zabierowski kontynuował swoje badania związane z fotowoltaiką cienkowarstwową stosując spektroskopię admitancyjną, metody fotoprądowe MPC i PICTS, profilowanie pojemnościowe CV i DLCP, metody luminescencyjne oraz symulacje numeryczne. Godne podkreślenia jest sięgnięcie przez Habilitanta po metody sztucznej inteligencji do znalezienia korelacji między parametrami procesów technologicznych i wydajnością ogniw CIGSe. Aktywność naukowa Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego ma charakter międzynarodowy czego wyrazem jest wieloletnia współpraca Habilitanta z Uniwersytetem w Nantes, Angstrom Solar Center, z Uniwersytetem w Uppsali, Uniwersytetem w Weronie, Instytutem ZSW w Stuttgarcie, Instytutem EMPA w Zurichu oraz Uniwersytetem w Gandawie (grupa prof. M. Burgelmana).

Ocena osiągnięcia naukowego pn. „Badanie wpływu defektów metastabilnych na wybrane charakterystyki elektryczne cienkowarstwowych ogniw słonecznych opartych na $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ ”

Na najważniejszą część dorobku naukowego Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego składającego się na osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust.2 „Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki” pn. **„Badanie wpływu defektów metastabilnych na wybrane charakterystyki elektryczne cienkowarstwowych ogniw słonecznych opartych na $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ ”** zalicza się cykl 9 publikacji. W skład osiągnięcia naukowego wchodzi publikacje z listy filadelfijskiej z przedziału od $\text{IF}=7,15$ do $1,09$ będące pozycjami współautorskimi oraz jedna monografia. Należy podkreślić, iż potwierdzony został przez współautorów udział habilitanta na poziomie od 80% do 50% dla pięciu pozycji a w pozostałych trzech publikacjach Jego udział nie był mniejszy niż 30%. Prace zostały opublikowane w J. Appl. Phys. 103, Nova Science Publishers Inc., Thin Solid Films, Sol. Energy, Mater. Sol. Cells, Prog. Photovolt.

W artykułach stanowiących osiągnięcie naukowe Habilitant określił wpływ warunków oświetlenia na wydajność ogniw słonecznych CIGSe (efekt LSO/LSS). Godne jest podkreślenia, że publikacja M. Maciaszek, P. Zabierowski, Quantitative analysis of the persistent photoconductivity effect in $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$, J. Appl. Phys. 123, 161404 (2018) jest pierwszą pozycją w literaturze, w której Autorzy oszacowali koncentrację metastabilnych defektów związanych z lukami selenowymi oraz efektywną koncentrację płytkich niemetastabilnych akceptorów w ogniwach CIGSe na podstawie pomiarów pojemnościowych. Rola Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego dotyczyła zaplanowania eksperymentu, wykonania wszystkich pomiarów oraz ich interpretacji, wyznaczeniu koncentracji nośników swobodnych w stanie zrelaksowanym i metastabilnym oraz wyznaczeniu koncentracji defektów, a wkład merytoryczny Habilitanta został oszacowany na 50%.



Pan dr inż. Paweł Zabierowski zaobserwował występowanie anomalnej amplitudy widm RDLTS oraz wprowadził model wiążący ten efekt ze zmianą stanu ładunkowego defektów InCu – 2VCu jak również znalazł związek niejednorodności występujących w pojemnościowych profilach ładunku przestrzennego dla napięć zaporowych ze zmianą stanu ładunkowego defektów InCu – 2VCu w pobliżu międzypowierzchni bufor/CIGSe. Analizował również efekt gaszenia luminescencji w ogniwach CIGSe światłem niebieskim.

Szczególną uwagę recenzent zwrócił na publikację M. Buffière, N. Barreau, L. Arzel, P. Zabierowski, J. Kessler, Minimizing metastabilities in Cu(In,Ga)Se₂/(CBD)Zn(S,O,OH)/i-ZnO - based solar cells, opublikowaną w Prog. Photovolt: Res. Appl. (2015). Czasopismo to posiada IF=7,15 a sam fakt przyjęcia do druku, świadczy o niewątpliwej przełomowości prezentowanych badań. Pan dr inż. Paweł Zabierowski właśnie w tej pracy zaproponował procedurę optymalizacji struktury fotowoltaicznej n+ZnO/i-ZnO/ Zn(S,O,OH)/CIGSe, uzyskując stabilne ogniwa słoneczne o wydajności większej niż ogniwa referencyjne z buforem CdS. Wytworzona struktura fotowoltaiczna była wolna od toksycznego kadmu, co może w przyszłości otworzyć nowy rozdział w wytwarzaniu ogniw słonecznych metodami bardziej przyjaznymi środowisku. Coraz ważniejszym, niestety zbyt słabo dostrzeganym problemem jest konieczność utylizacji paneli fotowoltaicznych. Obiecujące wyniki prac badawczych Habilitanta mogą się przyczynić do przedefiniowania technologii ogniw typu CIGS.

Nie ulega wątpliwości, iż cykl publikacji, stanowi wkład Habilitanta w rozwój zarówno nauk fizycznych jak i technologii i metod charakteryzacji ogniw słonecznych na bazie Cu(In, Ga)Se₂. Prace powstawały w głównym nurcie badań ogniw słonecznych drugiej generacji a wyciągnięte wnioski mogą się przyczynić do zmiany powszechnie stosowanej technologii w kierunku eliminacji szkodliwego kadmu, a co za tym idzie pozytywnie wpłynąć na środowisko naturalne. Recenzent bardzo wysoko ocenia wkład merytoryczny Habilitanta w rozwój fotowoltaiki ze szczególnym wskazaniem wpływu wykonanych badań na fotowoltaikę opartą na Cu(In, Ga)Se₂. Pan dr inż. Paweł Zabierowski jest wyróżniającym się naukowcem i uznanym specjalistą nie tylko w Polsce ale również na arenie międzynarodowej. Prace wchodzące w tzw. „dzieło habilitacyjne” zostały dostrzeżone w środowisku naukowym krajowym i zagranicznym o czym świadczą ich liczne cytowania. Zgodnie z WoS 169 razy (bez autocytowań). Podsumowując, poziom naukowy prowadzonych badań jest bardzo wysoki, a przedstawiony do oceny dorobek naukowy Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego złożony z cyklu publikacji stanowi osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 ust.2 „Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki”.

Istotna aktywność naukowa Habilitanta

Pozostały dorobek publikacyjny i wskaźniki bibliometryczne

Na pozostały dorobek naukowy Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego składa się 27 publikacji w czołowych czasopismach naukowych takich jak IEEE Journal of Photovoltaics, Solar RRL, Molecular Informatics, Thin Solid Films, Journal of Applied Physics, Solar Energy Materials and Solar Cells, Progress in Photovoltaics oraz Opto-electronics Review. Została opisana merytoryczna rola Habilitanta w powstaniu poszczególnych pozycji a udział Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego zgodnie z deklaracją jest znaczący sięgający nawet 90%. Pan dr inż. Paweł Zabierowski jest też współautorem rozdziałów w 3 książkach wydanych przez Wiley-VCH (2011, 2016), Nova Science Publishers Inc., (2011). Na podstawie dokumentacji można stwierdzić, że rola Habilitanta we wspomnianych



pracach była istotna, a Autor wniósł twórczy wkład i potwierdził umiejętność pracy w zespole naukowym.

Aktywny udział Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego w najważniejszych konferencjach tematycznych zamyka się liczbą 10 wystąpień jako prezentacje w postaci czy to referatów na sesjach plenarnych czy referatów zaproszonych. Prezentacje miały miejsce na MRS Spring Meeting, Phoenix, USA (referat zaproszony), 3rd Intl. Symp. Surfaces and Interfaces of Sustainable, Advanced Materials, Cancun, Meksyk (referat plenarny), XV Krajowa Konferencja Elektroniki, Darłówko Wschodnie, Polska (referat plenarny), 2nd New Energy Forum, NEF, Guangzhou, Chiny (referat zaproszony), Zjazd Fizyków Polskich, Poznań (referat zaproszony), German-Polish Conference on Crystal Growth (GPCCG 2011), Frankfurt n. Odrą Niemcy, referat zaproszony, MRS Spring Meeting, San Francisco, USA (referat zaproszony), Sympozjum Tureckiego Towarzystwa Fizycznego, Bodrum, Turcja (referat zaproszony), Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM), Sendai, Japonia (referat zaproszony), Nordic PV Meeting, Uppsala, Szwecja (referat zaproszony). Liczne zaproszenia na celu wygłoszenia referatów tematycznych związanych z materiałami i strukturami CIGS świadczą o silnej pozycji naukowej Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego, zauważonej w środowisku naukowym w różnych krajach. Sumaryczny Impact Factor Habilitanta według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 77.68. Jego prace były cytowane według bazy Web of Science (WoS) 509 razy a Indeks Hirscha wynosi 13.

Aktywność naukowa i dydaktyczna na polu krajowym i zagranicznym

Pan dr inż. Paweł Zabierowski był kierownikiem i wykonawcą łącznie 11 zagranicznych i krajowych projektów badawczych finansowanych przez NCN, PR6, PR7, ERA-NET, Marie Curie Actions, NCBR, współpracy polsko-francuskiej POLONIUM, MNiSzW oraz Politechnikę Warszawską. Zaangażowanie Pana Doktora w realizację projektów trwało do 2005 roku do chwili obecnej, a główny nurt badawczy dotyczył badań półprzewodników i struktur o potencjalnych zastosowaniach w fotowoltaice. Stwierdzić należy, że Pan dr inż. Paweł Zabierowski jest wybitnym naukowcem specjalizującym się w tematyce ogniw słonecznych z absorberem CIGS, a Jego aktywność na tym polu została wyraźnie zauważona przez zagraniczne i krajowe środowisko naukowe. Pan dr inż. Paweł Zabierowski uczestniczył też we wielu programach europejskich oraz współpracował ze znaczącymi ośrodkami zagranicznymi. Wymienić należy tutaj takie instytucje naukowe i badawczo-rozwojowe (R&D) jak ZSW Stuttgart, Uniwersytet w Nantes, 44Solar (France) Uniwersytet w Luksemburgu oraz Uniwersytet w Helsinkach, gdzie realizował projekty badawcze pełniąc również funkcje kierownicze oraz będąc głównym wykonawcą i ekspertem zewnętrznym. Pan dr inż. Paweł Zabierowski jest członkiem Komisji Programowej na Wydziale Fizyki PW oraz członkiem zarządu Platformy Fotowoltaiki PW odpowiedzialnym za sprawy naukowe.

Pan dr inż. Paweł Zabierowski ma również swój istotny wkład w rozwój kadry naukowej. Zaznaczyć należy jego opiekę naukową nad studentami i lekarzami w toku specjalizacji, promotorstwo 2 prac inżynierskich i 6 prac magisterskich na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Sprawował też opiekę naukową nad doktorantami (przewód doktorski Pana Tomasz Drobiaż, Pana Marek Maciaszek jako promotor pomocniczy).

Potwierdzeniem pozycji naukowej Habilitanta jest Jego uczestnictwo w recenzowaniu 2 prac doktorskich w Belgii i Estonii: K. Decok, Defect related phenomena in chalcopyrite based solar cells,



2012, Gent University, Belgia (ISBN 9789085784982), E. Kask, Study of Kesterite Solar Cell Absorbers by Capacitance Spectroscopy Methods, 2016, Tallin University of Technology, Estonia (ISBN 9789949239498). Pan dr inż. Paweł Zabierowski był również członkiem komisji przewodów doktorskich na Uniwersytecie w Nantes: 1. T. Lepetit, Influence of KF post deposition treatment on the polycrystalline Cu(In,Ga)Se₂/CdS heterojunction formation for photovoltaic application, 2015, Nantes University, Francja, 2. P. Reyes, Deposition and characterization of CIGS layers by multiple deposition techniques, 2016, Nantes University, Francja. Pan dr inż. Paweł Zabierowski był wielokrotnie recenzentem w czasopismach międzynarodowych: Thin Solid Films, IEEE Journal of Photovoltaics, Solar Energy Materials and Solar Cells.

Nagrody

Pan dr inż. Paweł Zabierowski został nagrodzony 3. Nagrodami Zespołowymi I stopnia JM Rektora PW za osiągnięcia naukowe w latach 2009-2010, 2013-2014, 2015- 2016 oraz w 2017 r. Nagrodą Złotej Kredy dla najlepszego wykładowcy przyznaną przez studentów Wydziału Mechatroniki za wykład Podstawy Fizyki.

Wniosek końcowy

Bardzo wysoko oceniam dorobek naukowy, dydaktyczny i organizacyjny Pana dr inż. Pawła Zabierowskiego zwłaszcza w obszarze prowadzonych prac badawczych jak i opracowanych modeli. Habilitant spełnia z naddatkiem wszystkie wymagania stawiane kandydatom do stopnia naukowego dr habilitowanego. **Jego aktywność i cała sylwetka naukowa w pełni zasługują na postawienie wniosku na podstawie „Ustawy o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w zakresie Sztuki” z 14 marca 2003 roku (Dz. U. 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) o nadanie Mu stopnia naukowego dra habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.**

Prof. dr hab. Tomasz Stapiński

