

Zachodniopomorski  
Uniwersytet  
Technologiczny  
w Szczecinie

INSTYTUT POLIMERÓW



---

Zakład Biomateriałów i Technologii  
Mikrobiologicznych  
Al. Piastów 45, 71-310 Szczecin

**prof. dr hab. inż. Mirosława El Fray**

tel: (+48) 91 499 48 28

fax: (+48) 91 499 40 98

Email : mirfray@zut.edu.pl

### **Recenzja**

dorobku naukowego dr inż. **Ireneusza Głowackiego**  
ze szczególnym uwzględnieniem osiągnięcia  
pt. **”Procesy pułapkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunku  
w polimerowych materiałach elektroluminescencyjnych”**  
i istotnej aktywności naukowej w związku z postępowaniem o nadanie stopnia  
doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie **elektronika**.

Recenzję opracowano zgodnie z decyzją Centralnej Komisji do Spraw Stopni i  
Tytułów z dnia 7 października 2016 r., na zlecenie Wydziału Elektrotechniki,  
Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej

Zagadnienia rozwoju półprzewodników organicznych oraz nanomateriałów do zastosowań w konstruowaniu urządzeń elektronicznych stanowią ważny nurt badawczy w elektronice, zwłaszcza w obszarze elektroniki organicznej. Szczególnie interesujące są cienkie i elastyczne warstwy wytwarzane na dużych powierzchniach metodami drukarskimi co pozwala na wytwarzanie elementów pamięci, ogniw fotowoltaicznych czy diod elektroluminescencyjnych. Te ostatnie wręcz zrewolucjonizowały przemysł urządzeń optoelektronicznych czy wyświetlaczy w urządzeniach mobilnych osiągając parametry praktycznie nieosiągalne dla urządzeń zbudowanych z półprzewodników nieorganicznych.

Przedstawiony do recenzji dorobek habilitacyjny dr inż. Ireneusza Głowackiego zawiera się w wyżej zarysowanym nurcie badawczym i poświęcony jest zagadnieniom badania procesów pułapkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunku w materiałach polimerowych o właściwościach elektroluminescencyjnych. W szczególności, Autor zajął się badaniami polimerów skoniugowanych (polifluorenów) i nieskoniugowanych (na podstawie poli(N-winylokarbazolu)(PVK)) zawierających domieszki fosforescencyjne i fluorescencyjne przy wykorzystaniu metody elektroluminescencji (EL), fotoluminescencji (PL), a zwłaszcza spektralnie rozdzielczej termoluminescencji (SRTL).

Wybór tematyki badawczej dokonany przez Habilitanta, łączący aspekty poznawcze w obszarze mechanizmów pułapkowania i rekombinacji promienistej w polimerach i kompozytach polimerowych oraz aspekty praktycznego wykorzystania badanych układów w diodach elektroluminescencyjnych uważam za ważny z punktu widzenia potrzeb przemysłu elektronicznego.

***Ocena jednotematycznego cyklu publikacji stanowiącego podstawę wystąpienia z wnioskiem habilitacyjnym***

Jednotematyczny cykl publikacji dr inż. Ireneusza Głowackiego pt. „Procesy pułapkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunku w polimerowych materiałach elektroluminescencyjnych” stanowi syntetyczne ujęcie tematyki badawczej z zakresu elektroniki, zwłaszcza elektroniki związanej z warstwami emisyjnymi w polimerowych LED-ach. Tę tematykę badawczą Habilitant przedstawił w postaci cyklu 9 publikacji, z czego jedna stanowi rozdział w książce.

Głównym nurtem zainteresowań badawczych Habilitanta było poznanie mechanizmów pułapkowania/depułpkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunków i określenie możliwości wykorzystania polimerów skoniugowanych i domieszkowanych kompleksami irydu (fosforescencyjnymi i fluorescencyjnymi) do zastosowań w diodach elektroluminescencyjnych. W swoich badaniach Autor zaprojektował i wykorzystał unikatową na skalę światową aparaturę do badań spektralnie rozdzielczej termoluminescencji, umożliwiającą badania w szerokim zakresie temperatur od 15 do 325 K. W pracy stanowiącej artykuł w książce „*Space Charge in Solid Dielectrics*” po raz pierwszy wykazał, dzięki zastosowaniu tej metody, istnienie w PVK dwóch rodzajów pułapek.

Habilitant w badaniach nad mieszaninami PVK domieszkowanymi kompleksami irydu wykazał, że w zależności od składu kompozytu zmienia się barwa emitowanego światła: od białego po żółte i zielone. Habilitant przeprowadził szczegółową analizę procesów transferu

ekscytonu i ładunku w tych układach. Wykazał, że obecność cząsteczek emitera posiadającego duży moment dipolowy wpływa na energię aktywacji uwolnienia nośników ładunku zapuławkowanych w matrycy polimerowej. Wyniki tych prac zostały opublikowane w czasopismach *Inżynieria Materiałowa* i *Elektronika*. Ponadto, w pracach w *Organic Electronics* opisał i schematycznie zilustrował mechanizmy przekazywania energii ekscytonu i ładunku prowadzące do generowania ekscytonów na cząsteczkach emitera i powstawania głębokich puławpek dla dziur, zwłaszcza w przypadku kompleksu irydu emitującego światło o barwie czerwonej.

Zastosowanie metody termoluminescencji pozwoliło Habilitantowi na przeprowadzenie szerokich badań z wykorzystaniem innych domieszek wprowadzanych do PVK jak i jego mieszanin z 2-(4-tet-butylofenylo)-5-(4-bifenilo)-1,3,4-oksadiazolem (PBD). Habilitant wykazał, że wprowadzenie cząsteczek pochodnej trójfenyloaminy i chinoliny ma wpływ na procesy puławkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunku w zależności od ich stężenia.

Habilitant w swoich pracach badawczych konsekwentnie rozwijał technikę termoluminescencji wprowadzając nowy system detekcyjny składający się ze specjalnego układu optycznego zbierającego światło z próbki, światłowodu, spektrografu i kamery CCD chłodzonej ciekłym azotem. Pozwoliło to na tworzenie wykresów 3D ilustrujących zmiany intensywności emitowanego światła w funkcji temperatury i długości fali. Szczegółowa dyskusja zawarta w pracach w *J Phys D: Appl Phys* oraz *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering* pozwoliła wyjaśnić udział centrów rekombinacji promienistej w dezaktywacji długożyciowych stanów wzbudzonych. Habilitant określił rolę centrów rekombinacji promienistej skonstruowanych PLED-ów z warstwą emisyjną z PVK lub PVK/PBD w zjawisku elektroluminescencji polegającą na dezaktywacji stanów transportowych oraz dominacji centrów emisyjnych.

Podsumowując uważam, że dorobek naukowy dr inż. Ireneusza Głowackiego, w skład którego wchodzi jednotematyczny cykl publikacji na temat „Procesy puławkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunku w polimerowych materiałach elektroluminescencyjnych” ma charakter poznawczy i jest próbą szerszego spojrzenia na zagadnienia puławkowania/depuławkowania i rekombinacji promienistej nośników ładunku w wybranych polimerach i układach elektroluminescencyjnych, a wnikliwa analiza pozwoliła Autorowi na znalezienie korelacji pomiędzy wynikami SRTL a właściwościami emisyjnymi diod elektroluminescencyjnych. Tym samym, Habilitant wykazał, że metoda SRTL jest szczególnie użyteczną techniką identyfikacji stanów puławkowych i centrów rekombinacji promienistej w materiałach elektroluminescencyjnych. Udział dr Głowackiego w

przedstawionych pracach jest dobrze zdefiniowany i wiodący (powyżej 60%), i obejmował głównie planowanie (koncepcję) badań, ich prowadzenie i przygotowanie tekstu do publikacji.

### *Ocena istotnej aktywności naukowej*

Dr inż. Ireneusz Głowacki ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej, uzyskując w roku 1982 dyplom inżyniera elektryka. Już wówczas zainteresował się półprzewodnikami organicznymi realizując pracę pt. "Opracowanie i wykonanie układu sterująco-pomiarowego do regulacji temperatury w zakresie 77-523 K w komorze próżniowej do badań właściwości elektrycznych półprzewodników organicznych". Swoje zainteresowania w zakresie specjalnych materiałów do zastosowań w elektronice rozwijał podczas realizacji pracy doktorskiej pt. „Badanie mieszanin poli-N-winylokarbazolu z poliwęglanem metodą jednoczesnego pomiaru termoluminescencji i prądów termicznie stymulowanych”. Praca została napisana pod opieką Prof. Jacka Ulańskiego i obroniona na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej w roku 1995. Wyniki badań z okresu przed obroną doktoratu zostały opublikowane w 16 pracach pełnotekstowych, z czego 12 w czasopiśmie znajdujących się w bazie JCR.

Swoją karierę zawodową Habilitant od początku związał z Zakładem Fizyki Polimerów, Instytutu Polimerów (od 1999 Katedry Fizyki Molekularnej) Politechniki Łódzkiej, przechodząc wszystkie szczeble awansu zawodowego: od technika po adiunkta – na tym ostatnim stanowisku jest zatrudniony od 1997 roku.

W nurcie zainteresowań badawczych dr Głowackiego znajduje się szeroko pojęta elektronika organiczna. Interesujące są zwłaszcza aspekty badań opublikowane w *Przeglądzie Elektrotechnicznym* z roku 2013, nad polimerami zdolnymi do wytwarzania cienkich warstw wytwarzanych technikami drukarskimi, zwłaszcza technikami druku bezkontaktowego strumieniem pojedynczych kropli oraz strumieniem aerozolu. Habilitant jest niewątpliwie zdolnym konstruktorem, gdyż zaprojektował i zbudował nie tylko aparat do pomiarów SRTL, ale również unikatowy układ do jednoczesnego badania termoluminescencji (TL) i prądów termicznie stymulowanych (TSC) w cienkich warstwach polimerowych (PVK i jego mieszaninach z poliwęglanem, poli(met)akrylanów czy poli(tereftalanu etylenu)(PET)) w zakresie 83-350 K. Wyniki tych badań opublikował w *J. Appl. Phys, Polymer, Proceedings – International Symposium on Electrets*. Przedmiotem badań dr Głowackiego były również inne materiały polimerowe, w tym podstawione polisilany czy dyskotyczne ciekłe kryształy. Obszerną dyskusję wyników badań Habilitant przedstawił m.in. w *Macromol Symp* czy *Synth Met*.

Dr inż. Ireneusz Głowacki posiada w swoim dorobku naukowym 42 publikacje w czasopismach z listy filadelfijskiej, z których 30 powstało po uzyskaniu stopnia doktora. Należy tu wymienić takie czasopisma jak *Chem Phys Lett*, *J Chem Phys*, *Appl Phys Lett*, *Chem Mater* (IF=5.104), *J Mater Chem* (IF=5.066). Są to publikacje wieloautorskie, ale jak wynika z zamieszczonych oświadczeń współautorów, udział dr Głowackiego jest dobrze zdefiniowany i obejmował głównie planowanie (koncepcję) badań, ich prowadzenie i przygotowanie tekstu do publikacji i w wielu z nich jest wiodący (powyżej 60%). Łączna wartość IF 14 artykułów po doktoracie wynosi 69,540. Jest to wynik na bardzo dobrym poziomie. Co warto podkreślić, prace Habilitanta są cytowane 511 razy (bez autocytowań) według bazy *Web of Science*, a indeks h=12.

Należy podkreślić, że w dorobku Habilitanta znajdują się również 23 prace opublikowane w innych recenzowanych czasopismach (wykaz MNiSW) i w licznych materiałach pokonferencyjnych. Habilitant brał udział w 23 konferencjach zagranicznych oraz 16 krajowych, podczas których wygłosił 19 referatów i przedstawił 20 posterów. Z aktywności na arenie międzynarodowej należy odnotować staże: w Instytucie Maxa-Plancka Badań Polimerów w Moguncji (Niemcy) oraz w Instytucie Fizyki Eksperymentalnej Uniwersytetu w Lipsku (Niemcy).

Dr inż. Głowacki jest również osobą aktywną na polu organizacyjnym, aktywnie angażującą się w prace komitetów organizacyjnych trzech konferencji (brak jednak informacji o nazwach konferencji). Dr Głowacki brał udział w działalności popularyzującej naukę w ramach „Ścieżek Edukacyjnych” oraz „Otwartych drzwi” na Politechnice Łódzkiej.

Dr inż. I. Głowacki aktywnie udziela się w pracy dydaktycznej, którą realizuje dla studentów Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej. Habilitant realizuje zajęcia z takich przedmiotów jak „*Optoelektronika molekularna*”, „*Polimery skoniugowane*”, „*Technologia cienkich warstw*”, „*Fizyka*”, „*Właściwości fizykochemiczne nanomateriałów*” czy „*Materiały i nanomateriały do zastosowań w drukowanej elektronice organicznej*”. Habilitant angażuje się również w zajęcia prowadzone na Wydziale Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, z takich przedmiotów jak „*Podstawy elektroniki elastycznej*”, „*Elektronika elastyczna*” i „*Projektowanie układów elektroniki elastycznej*”. Dr Głowacki opiekował się 7 pracami dyplomowymi inżynierskimi i magisterskimi na Wydziale Chemicznym i Wydziale Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej PŁ. Habilitant pełni również rolę promotora pomocniczego w dwóch przewodach doktorskich, a opiekunem pomocniczym prac doktorskich był czterokrotnie.

Podsumowanie tej części osiągnięć Habilitanta pokazuje, że jest On dojrzałym i w pełni samodzielnym pracownikiem naukowym. Jego prace są zauważalne w kraju i za

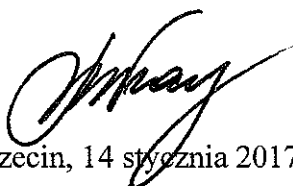
granicą, jest również aktywny na polu badań naukowych za sprawą uczestnictwa w realizacji 19 projektów badawczych jako koordynator/kierownik zadań oraz 4 międzynarodowych sieci badawczych. Jest współautorem jednego udzielonego patentu UPRP. Habilitant legitymuje się również szeroką współpracą z ośrodkami badawczymi i przemysłowymi w kraju i za granicą, m.in. Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi, Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie, University of Potsdam, Niemcy, Université Libre de Bruxells, Belgia, Towarzystwem Elektrotechnologicznym QWERTY Sp z o.o. w Łodzi.

Z swoją działalność naukową Habilitant otrzymał 2 Ministerialne Nagrody Zespołowe oraz 10 nagród JM Rektora Politechniki Łódzkiej. W 2014 r. dr Głowacki został odznaczony przez Prezydenta RP Złotym Medalem za Długoletnią Służbę oraz odznaką „Zasłużony dla Politechniki Łódzkiej” przez JM Rektora PŁ.

### *Wnioski końcowe*

Podsumowując stwierdzam, że dr inż. Ireneusz Głowacki przedstawił do oceny osiągnięcia habilitacyjne udokumentowane zbiorem 9 publikacji, które stanowią znaczny wkład Autora w rozwój elektroniki. Pozostałe osiągnięcia naukowe przedstawione w opublikowanych artykułach i materiałach pokonferencyjnych są wartościowym wkładem Habilitanta w rozwój elektroniki, zwłaszcza w zakresie badania właściwości emisyjnych polimerów i układów polimerowych stosowanych w PLED-ach metodą spektralnie rozdzielczej termoluminescencji z ciągłą rejestracją rozkładu spektralnego emitowanego światła (SRTL) w zakresie 350 – 950 nm i w szerokim zakresie temperatur, tj. od 15 do 325 K. Wart podkreślenia jest również wkład Habilitanta w badania metodami termoluminescencji (TL) i prądów termicznie stymulowanych (TSC) cienkich warstw polimerowych. Dorobek publikacyjny Habilitanta obejmuje 42 publikacje, które na dzień składania wniosku były cytowane 511 razy (na dzień sporządzania recenzji tych publikacji było 45 i zostały zacytowane 534 razy).

W związku z tym stwierdzam, że dr Ireneusz Głowacki spełnia z nawiązką wymagania stawiane przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytułach naukowych (Dz. Ustaw Nr 65, poz. 595, z późn. zm.) i tym samym wnioskuję do Rady Wydziału Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki Politechniki Łódzkiej o nadanie dr inż. Ireneuszowi Głowackiemu stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie elektronika.



Szczecin, 14 stycznia 2017 r.