Prof. dr hab. inż. Janusz Smulko
Katedra Metrologii i Optoelektroniki
Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki
Politechnika Gdańska
80-233 Gdańsk, ul. G. Narutowicza 11/12
e-mail: janusz.smulko@pg.edu.pl
tel. 58/348 6095, 665026144

Gdańsk, 5 listopada 2021 r.

RECENZJA
osiągnięć naukowych
dr. inż. Adama Szyszki
ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego

Podstawa formalna oraz dokumentacja

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały nr 204/09/RDND02/2021-2024 Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej z dnia 27 września 2021, przesłanej przez prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziedzica, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej, w sprawie powołania komisji habilitacyjnej dr. inż. Adama Szyszki.

Ocena została przeprowadzona na podstawie dokumentacji dotyczącej wniosku i zawierającej:

- dokumentację przewodu habilitacyjnego,
- autoreferat,
- cykl dziesięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. "*Zastosowanie mikroskopii ze skanującą sondą do charakteryzacji i diagnostyki struktur przyrządowych półprzewodników złożonych*", stanowiących wskazane do oceny osiągnięcie naukowe,
- kopie publikacji wchodzących w skład wskazanego osiągnięcia naukowego.

Sylwetka naukowa habilitanta, aktywność organizacyjna i dydaktyczna

Dr inż. Adam Szyszka ukończył jednolite studia magisterskie na Wydziale Elektroniki Politechniki Wrocławskiej w 2003 r. przygotowując pracę dyplomową z zakresu elektroniki pt.: „*Zastosowanie warstw GaN:Mg i AlGaN do konstrukcji filtrów z powierzchniową falą akustyczną*". W 2008 r., na Wydziale Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki, Politechniki Wrocławskiej obronił rozprawę doktorską „*Badanie wpływu blokowej struktury heteroepitaksjalnych warstw azotków na działanie detektorów MSM*". Habilitant jest zatrudniony w Politechnice Wrocławskiej od 2008 r. na stanowisku asystenta naukowo-dydaktycznego, a następnie od 2010 r. na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego. W

trakcie wymienionego zatrudnienia odbył dwukrotnie staż naukowy (17 miesięcy i 5 miesięcy) w Leibniz-Institut fur Innovative Mikroelektronik IHP GmbH, Frankfurt nad Odrą, Niemcy (finansowany ze stypendium indywidualnego w ramach akcji Maria Skłodowska Curie, 7 Program) oraz staż naukowy w Institut des Nanotechnologies de Lyon (finansowany ze stypendium Rządu Francuskiego Stage de Recherche).

W trakcie pracy udzielał się aktywnie przy organizacji projektów realizowanych w Politechnice Wrocławskiej (POIŚ, Działanie 13.1, Infrastruktura szkolnictwa wyższego pt.: Międzyuczelniane Centrum Dydaktyczno-technologiczne „Technopolis" we Wrocławiu, nr 13.1-3). Pełni rolę opiekuna merytorycznego dla „Laboratorium diagnostyki przyrządów oraz układów półprzewodnikowych, mikroelektronicznych i optoelektronicznych" oraz opiekuna technicznego „Laboratorium spektralnie czystej wody". Udzielał się także w Zespole Promocji Wydziału Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki. W kolejnych latach zatrudnienia prowadził szereg różnych aktywności w zakresie popularyzacji nauki (wycieczki po laboratoriach, koordynator Pikniku Mikroelektronicznego, dodatkowe przedmioty w ramach „Współpraca Politechniki Wrocławskiej ze szkołami średnimi", warsztaty dla uczniów). Jego działalność organizacyjna na rzecz dydaktyki jest bardzo bogata. W szczególności dotyczy to opracowania licznych wykładów oraz laboratoriów dydaktycznych. Był opiekunem szeregu prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich. Te prace dotyczyły studentów trzech różnych wydziałów Politechniki Wrocławskiej, co świadczy o Jego popularności wśród studentów jako cenionego nauczyciela akademickiego.

Osiągnięcie naukowe

Dr inż. Adam Szyszka przedstawił do oceny osiągnięcie naukowe pt.: "*Zastosowanie mikroskopii ze skanującą sondą do charakteryzacji i diagnostyki struktur przyrządowych półprzewodników złożonych*", do którego zaliczył cykl dziesięciu publikacji. Wybrane do oceny prace zostały opublikowane w latach 2011-2021. Habilitant w dziewięciu pracach jest pierwszym autorem, a jego udział procentowy jest szacowany na co najmniej 65%. Tylko w jednej pozycji Jego udział wynosi 40%. Cztery prace zostały opublikowane w czasopismach o *Impact Factor* powyżej dwóch. Sumaryczny *Impact Factor* dla Jego prac wynosi 63,6. Dr inż. Adam Szyszka podkreśla w autoreferacie swój wiodący udział w dziewięciu pracach, gdzie był twórcą prezentowanej koncepcji oraz odpowiedzialnym za całościową analizę wyników i ich redakcję. Dla każdej pracy definiuje w autoreferacie bardzo szczegółowo swój udział, który jest powiązany tematycznie z przedstawionym tytułem osiągnięcia naukowego. Udział dotyczył w części obliczeń teoretycznych, prac związanych z wytwarzaniem badanych struktur oraz koncepcji eksperymentu i zastosowania wybranych metod pomiarowych, charakteryzujących te struktury. Podany udział został potwierdzony odnośnymi oświadczeniami współautorów.

Przygotowany autoreferat jest bardzo szczegółowy. Liczy łącznie 65 stron. Wstępna część stanowi szczegółowe przedstawienie problematyki poruszanej w wybranym do oceny osiągnięciu naukowym. Habilitant przedstawia właściwości popularnych mikroskopowych metod skaningowych powierzchni przyrządów półprzewodnikowych. Określa uzyskiwaną tymi metodami rozdzielczość dla pomiarów badanych struktur w atmosferze powietrza laboratoryjnego. Następnie przedstawia wyniki uzyskane dla opisywanych metod oraz badanych struktur. W autoreferacie (punkt 4.3) opisuje szczegółowo kolejne prace, stanowiące przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe, wskazując na najważniejsze rezultaty swoich badań. W początkowej części tego opisu podał znaczenie efektów skalowania kontaktu oraz szerokości występującej bariery potencjału na styku między ostrzem igły skanującej a skanowaną powierzchnią. W przypadku zastosowania metody skaningowej mikroskopii potencjału powierzchniowego wyniki były ograniczone

obserwowanymi intensywnymi szumami, które w referacie zdefiniował bardzo ogólnikowo jako wartość „5 mV", bez podania szczegółów odnośnie sposobu pomiarów.

Opisane metody skanowania zostały wykorzystane do diagnostyki przyrządów półprzewodnikowych, wykonanych z GaAs. Szczegółowe badania prowadzone przez Habilitanta pozwoliły na identyfikację defektów i korektę procesu technologicznego w zakresie termicznego kształtowania kontaktów. Interesujące wyniki uzyskał dla skaningowej mikroskopii pojemnościowej (ang. *Scanning Capacitance Microscopy* – SCM), zastosowanej do struktur ogniw słonecznych, określając dla wybranych przypadków obszar przejścia między rodzajami przewodnictwa oraz wyjaśnił szczegółowo trudności przy określeniu tego obszaru, jakie zaobserwował w przeprowadzonych eksperymentach.

W swoich badaniach Habilitant zajmował się także heterostrukturami AlGaN/GaN, wykonując pomiary topografii ich powierzchni. Właściwości struktur były następnie korelowane z ruchliwością dwuwymiarowego gazu elektronowego jaki w nich występował. Dr Adam Szyszka podał interpretacje właściwości fizycznych obserwowanego gazu elektronowego i powiązał je ze zidentyfikowanymi cechami wytworzonych próbek – chropowatością ich powierzchni określoną za pomocą obrazów z mikroskopu sił atomowych, pracującego w trybie kontaktu przerywanego. Jego pomiary oraz analiza pozwoliły na wybór optymalnych parametrów technologicznych wytwarzania badanych warstw. Ten wynik został osiągniety w serii eksperymentów i wymagał takiego doboru parametrów podczas wzrostu warstwy epitaksjalnej, aby uniknąć powstawania przewodzącego kanału pasożytniczego. Habilitant kontynuował doskonalenie konstrukcji heterostruktur AlGaN/GaN. Potwierdził poprawę jakości struktury przy zastosowaniu nanomaski SiN (zmniejszenie naprężeń w strukturze, zmniejszenie koncentracji dyslokacji). Analizie podlegały także defekty powierzchniowe, które zmieniały swój charakter, stając się bardziej równomiernymi na skanowanych powierzchniach. Dla próbek AlGaN/GaN/Si z warstwą SiN zastosował kolejny sposób analizy. Wyznaczał dla wybranych miejsc badanej powierzchni pochodną zmian pojemności w funkcji zmian napięcia dC/dV przy wybranych napięciach między igłą skanującą a badanym podłożem. Te badanie pozwoliło na stwierdzenie, że ładunek gromadzony na defektach w takiej strukturze nie wpływa znacząco na tworzący się elektronowy gaz dwuwymiarowy w obszarze między warstwami AlGaN/GaN.

Dr inż. Adam Szyszka badał struktury czujników optycznych (fotorezystor wykonany na warstwie GaN domieszkowanej Si) za pomocą techniki pomiarów prądów indukowanych wiązką optyczną – promieniowaniem lasera (ang. *Optical Beam Induced Current* – OBIC). Przedstawione wyniki eksperymentalne potwierdzają możliwość identyfikowania tą metodą defektów występujących w badanych czujnikach. Prowadził również badania warstw metali katalitycznych, stosując obrazowanie potencjału powierzchniowego (ang. *Scanning Potential Microscopy* – SPM). Obserwowane różnice na skanowanej podaną metodą powierzchni metalu wyjaśnił szybkością zachodzenia zjawiska chemisorpcji, ze względu na występowanie obszarów uprzywilejowanych energetycznie.

W części autoreferatu Habilitant przedstawił szczegółowe uwagi dotyczące ograniczonych możliwości wykorzystania parametru chropowatości średniokwadratowej R_q, które zaproponował uzupełnić o metodę powierzchniowej zmiany chropowatości. Swoją propozycję poparł wynikami badań eksperymentalnych dla warstw azotkowych (GaN, heterostruktury AlGaN/GaN/Si). Uzyskane wyniki potwierdzają, że proponowana analiza różnicuje badane próbki i może być stosowana jako ogólna metoda oceny badanej powierzchni. W autoreferacie wskazana byłaby głębsza refleksja dotycząca dokładności proponowanej metody, ze względu na zmienność jaka występuje na badanych powierzchniach (np. jednostkowe defekty o względnie dużych wymiarach).

Dr inż. Adam Szyszka zaproponował wykorzystanie kilku technik skanowania powierzchni równolegle (mikroskopii pojemnościowej, potencjału powierzchniowego oraz

rezystancyjnej przy pobudzeniu próbki promieniowaniem laserowym o wybranych długościach fal). W tym celu zostało zaprojektowane i wykonane odpowiednie stanowisko laboratoryjne, wraz z oprogramowaniem sterującym. Taka połączona technika charakteryzowania powierzchni pozwala na wnioskowanie o występujących defektach oraz ich głębokości. Zastosowanie promieniowania pobudzającego o różnej energii – długości fal umożliwia obserwowanie map występujących defektów oraz wpływu naprężeń mechanicznych na badaną próbkę. Zmiany długości fali promieniowania oświetlającego pozwalają wnioskować o występowaniu głębokich stanów energetycznych w obszarach badanej powierzchni i identyfikować ich występowanie z defektami lub naprężeniami mechanicznymi. Habilitant przedstawił w autoreferacie szczegółowe porównanie możliwości wykrywania defektów występujących w badanych strukturach za pomocą stosowanych metod skaningowych dla wyróżnionych energii przejścia.

W autoreferacie, w podsumowaniu wymienił szczegółowo najistotniejsze wyniki swoich badań, stanowiących istotny wkład w rozwój uprawianej dyscypliny naukowej. Podał osiem najważniejszych osiągnięć, przypisując każdemu z nich publikację, w której osiągnięcie zostało przedstawione. Do tych osiągnięć zaliczył:

- uwzględnienie występowania efektu skalowania kontaktu w metodzie skaningowej mikroskopii rezystancji rozproszonej,
- wskazanie przyczyn wad czujników pola magnetycznego typu MagFET, wytworzonych na bazie GaAs oraz heterostruktur AlGaN/GaN z podwójną epitaksją bufora GaN,
- wykrycie związku między chropowatością powierzchni a zmianami rozkładu ruchliwości nośników w dwuwymiarowym gazie elektronowym, występującym w heterostrukturach AlGaN/GaN,
- udowodnienie, na podstawie obserwacji mikroskopowej, wpływu różnego rodzaju defektów powierzchniowych w heterostrukturach AlGaN/GaN na proces formowania i przewodnictwa dwuwymiarowego gazu elektronowego,
- interpretacja wpływu nieliniowości kontaktów omowych fotorezystorów na powierzchniowy rozkład fotoprądu w badanych fotorezystorach,
- wyjaśnienie zmian potencjału powierzchniowego warstwy metali pod wpływem występowania wodoru, celem optymalizacji jej grubości,
- propozycja sposobu analizy powierzchni za pomocą powierzchniowej analizy chropowatości,
- opracowanie sposobu wykrywania lokalnych właściwości elektrycznych powierzchni półprzewodnikowych, z wykorzystaniem kilku technik mikroskopowych i pobudzeniem optycznym próbki.

Zgodnie z bazą Scopus (31.10.2021) dr inż. Adam Szyszka jest autorem lub współautorem 56 prac naukowych (indeks Hirscha h = 7 bez uwzględnienia autocytowań; powyżej 150 niezależnych cytowań). Należy podkreślić, że uprawiana tematyka badawcza jest dosyć specjalistyczna. Obejmuje wybrane metody analizy materiałów, stosowane przy charakteryzowaniu ich powierzchni lub obszarów przypowierzchniowych. Habilitant wykazał się wysoką znajomością tych metod oraz obsługą odpowiedniej aparatury pomiarowej, z możliwością wprowadzenia jej znaczących modyfikacji. Takie modyfikacje dają nowe możliwości jej wykorzystania, co potwierdził wynikami prowadzonych eksperymentów. W swoich pracach udowodnił kilkukrotnie umiejętność interpretacji uzyskiwanych wyników badań eksperymentalnych i następnie ich wykorzystanie do optymalizacji parametrów technologicznych analizowanych materiałów, uzyskując po zmianie ich lepsze właściwości.

Dr inż. Adam Szyszka uczestniczył w realizacji 16 projektów badawczych, pozyskanych na drodze konkursów. W jednym projekcie był kierownikiem. Obecnie realizuje dwa kolejne projekty jako wykonawca.

Wnioski końcowe

W podsumowaniu recenzji przedstawionego do oceny osiągnięcia naukowego dr. inż. Adama Szyszki – cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych pt. " *Zastosowanie mikroskopii ze skanującą sondą do charakteryzacji i diagnostyki struktur przyrządowych półprzewodników złożonych*" – **stwierdzam, że oceniane osiągnięcie naukowe jest oryginalne i stanowi istotny wkład w rozwój technik charakteryzowania powierzchni metodami skanowania mikroskopowego**. Drobne uwagi krytycznie nie wpływają na moją końcową i jednoznacznie pozytywną ocenę. **Osiągnięcie naukowe spełnia wymagania określone w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2021 poz. 478, 619), stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. Habilitant wykazał się także istotną aktywnością naukową, realizowaną w więcej niż jednej instytucja naukowej, w szczególności zagranicznej (art. 219 ust. 1 pkt. 3 ww. ustawy).** Wnioskuję o głosowanie przez Radę Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr. inż. Adamowi Szyszce.