

Kraków, 13.07.2026 r.

Recenzja osiągnięć dr inż. Euniki Zielony
w związku z postępowaniem habilitacyjnym
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie fizyka

1. Podstawa prawna

- Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne PWr nr 312/21/DRND11/2024-2028 z dnia 12.05.2026 r.;
- Ustawa z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zm.);

2. Informacje ogólne

Recenzję opracowałem na podstawie dokumentacji dostarczonej na drodze elektronicznej w formie plików na repozytorium sieciowym znajdującym się pod adresem: https://drive.google.com/drive/folders/1744QcSq7pkpu0R3qf3EexwOGFOa1bibd?usp=drive_link

Eunika Zielony ukończyła studia magisterskie na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej w 2008 r. Tytuł zawodowy magistra inżyniera uzyskała w lipcu 2008 r. na tym samym wydziale, na podstawie obrony pracy p.t. „Procesy relaksacyjne w strukturach prostujących ZnTe - metal”. Promotorem pracy była dr hab. Ewa Popko. Stopień naukowy doktora nauk fizycznych otrzymała na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej w listopadzie 2012 r. po obronie rozprawy „„Właściwości elektrooptyczne struktur półprzewodnikowych na bazie ZnTe z kropkami kwantowymi CdTe”. Promotorem rozprawy była dr hab. Ewa Popko, prof. PWr. Od 1.10.2012 r. Kandydatka jest zatrudniona na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki PWr, do 2016 roku na stanowisku asystenta badawczo-dydaktycznego, a od 1.10.2016 r. na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego. Wniosek o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego złożyła w dniu 2.02.2026 r.

3. Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe Habilitantki oparte jest na zestawie 10 publikacji ujętych pod wspólnym tytułem „Badania wpływu defektów i odkształceń sieci na własności heterostruktur planarnych i kolumnowych na bazie półprzewodników szerokoprzerwowych ZnO i GaN” tworzących wg. oświadczenia Wnioskodawczyni jednolite osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę ubiegania się o stopień naukowy dr. hab., zgodnie z ustawą Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wszystkie prace opublikowano w czasopiśmie z listy JCR, a Habilitantka jest w nich jednym z autorów. W pięciu pracach [H2, H4, H6, H7, H8], Habilitantka jest pierwszą autorką, będąc również w 4 z nich autorką korespondencyjną. Ponadto jest autorką korespondencyjną w jeszcze jednej pracy, której pierwszym autorem jest dyplomant, którego Wnioskodawczyni była opiekunką [H5]. Warto podkreślić, że w kolejnych dwóch pracach ten sam dyplomant jest pierwszym autorem [H9, H10]. W pracy [H7] również występuje jako opiekunka dyplomanta. Sumaryczny współczynnik wpływu prac [H1-H10] wynosi 55.58, co jest bardzo wysoką wartością i pokazuje wysoką renomę czasopism wybieranych do publikacji.

Badania naukowe opisane w zestawionym cyklu publikacji obejmują trzy główne wątki deklarowane przez Habilitantkę: badania materiału ZnO domieszkowanego na typ p [H1, H2], oraz badania heterostruktur trójskładnikowych na bazie ZnMgO i ZnCdO [H3-H7] a także nanodrutów na bazie

azotku galu [H8-H10]. W mojej ocenie można ten dorobek podzielić trochę inaczej w pewne logiczne ciągi materiałowe. W pracach H1, H6 i H7 Habilitantka bada układy ZnO/ZnMgO o różnych właściwościach chemicznych i strukturalnych, w pracach [H3 - H5] Habilitantka skupia się na podobnych badaniach, ale dla układów ZnO/ZnCdO, kończąc na serii [H8 - H10] dotyczącej nanodrutów GaN. Praca [H2] jest niejako na uboczu materiałowo, gdyż dotyczy ZnO:As.

Badania przewodnictwa typu p w ZnO podejmowane jest od wielu lat i wciąż nie zakończyło się wytworzeniem stabilnego i powtarzalnego materiału o przewodnictwie dziurowym tak, jak miało to miejsce dla azotku galu. W czasie publikacji prac [H1] i [H2] tematyka ta była już w fazie zejściowej po początkowej fascynacji w latach 2000. tym niemniej ta tematyka wciąż była badana. Obserwacja luminescencji krawędziowej i defektowej z próbki wykazuje dobrą jakość krystaliczną materiału. W obrazach SEM wykonywanych przy okazji katodoluminescencji widoczny jest wzrost o morfologii pochyłonych kolumn, tak więc nie jest to wzrost monokrystaliczny. Występują defekty związane nie tylko z defektami samoistnymi ale również z granicami ziaren. Dyskusyjna staje się więc interpretacja widm PL, w szczególności słabo poparta analizą danych (np. można byłoby zrobić dopasowanie charakteru zależności położenia linii do temperatury co poprawiłoby identyfikację.). Zastanawia mnie również stosunek prądu w polaryzacji dodatniej do polaryzacji ujemnej dla diody. Wydaje mi się, że jest on trochę mały jak dla złącz p-i-n (~2.5 rzędu dla RT) i chętnie dowiedziałbym się czy takie były oczekiwania. Ciekawą obserwacją jest zidentyfikowana trwała fotopojemność. W odniesieniu do pracy [H1] praca [H2] pokazuje dużo lepszą dyskusję stanów domieszkowych i defektowych materiału celowo domieszkowanego na typ p – jest w niej więcej danych i rozważania są nimi poparte. Ciekawa jest dyskusja mechanizmów przewodnictwa (emisji) oraz identyfikacja energii stanów na podstawie DLTS. Jeśli chodzi o materiał ZnMgO, w mojej ocenie praca [H1] jest związana tematycznie i osobą autorów wykonujących wzrost MBE z pracami [H6 i H7]. W tym kontekście taka seria trzech prac pokazuje konsekwentną charakteryzację struktur warstwowych oraz kolumnowych. Jednakże moim dużym zarzutem jest tutaj kwestia nazewnictwa i niewystarczającej charakteryzacji morfologii warstw. Nanodrutami należy nazywać dobrze odseparowane struktury o wysokim współczynniku długości do szerokości, jak to pokazano w pracy H8. W przypadku pracy H6 brak jest danych dotyczących morfologii, jedynie odnośnik do wcześniejszej pracy [doi: 10.1016/j.jcrysgro.2014.09.003], w którym pokazano warstwę o kolumnowej morfologii, nie za bardzo przypominającą jednak druty w ich klasycznym rozumieniu, a sami autorzy nazywają je kolumnami. Autorzy prac w ciągu habilitacyjnym podchodzą jednak do tego tematu w sposób trochę ambiwalentny – w tytule mówiąc o drutach, a w tekście mówiąc o efektach, które mogą pochodzić od koalescencji tych drutów. Trochę to ze sobą nie pasuje. W późniejszych publikacjach nazewnictwo zmienia się na nanokolumny, co moim zdaniem jest prawidłowe, bo kolumny mogą być zarówno swobodne jak i stanowić część warstwy litej, zgodnie z modelem wzrostu Thorntona. Praca H6 identyfikuje stany defektowe za pomocą DLTS, co potwierdza wysokie umiejętności Habilitantki w użyciu tej metody badawczej, chociaż ich interpretacja jest bazowana na porównaniu z danymi literaturowymi i dużo w niej jest przypuszczeń. Mam tylko pytanie – dlaczego te wyniki są pokazywane dla jednej próbki? Jeśli w materiale są defekty związane z wakansami konkretnego rodzaju, to czemu nie wytworzyć serii próbek w warunkach od bogatych w Zn do bogatych w O₂ tak, aby móc modyfikować prawdopodobieństwo wystąpienia konkretnych wakansów i skorelować je z zaobserwowanymi dla wszystkich próbek poziomami DLTS? Wydaje się, że przy dostępności MBE i rzadkiej metody DLTS takie badania miałyby bardzo dużą wartość. W pracy [H7] badane są już trzy próbki, z czego jedna taka, jak w pracy [H6] (próbka B), a dwie inne (A i C) nowe. Nie znalazłem jednak uzasadnienia, ani sam nie byłem w stanie wymyślić dlaczego dokładnie takie struktury wyhodowano. Wydaje się, że próbki A i C nie modyfikują w konsekwentny sposób własności struktury zademonstrowanej w próbce B. Warto podkreślić zastosowanie tutaj przez Wnioskodawczynię techniki spektroskopii ramanowskiej do badania naprężeń w nanokolumnach oraz wsparcia danych DLTS dla identyfikacji defektów. Technika ta będzie również istotnie wykorzystywana w pracach dotyczących ZnCdO oraz GaN. Publikacje z tej serii są cytowane 33 razy, z czego 10 to autocytowania. W mojej opinii jest to całkiem duży odsetek autocytowań. Co ciekawe, badania te są dość unikalne – wyszukiwanie w bazach danych haseł związanych z analogicznymi pracami prowadzi w pierwszej kolejności właśnie do prac opisanych w ciągu publikacji. Może to oznaczać, przy niewielkiej liczbie cytowań, że jest to jednak tematyka dość niszowa.

O ile seria [H1, H6, H7] dotyczyła warstw z ZnMgO, które stanowi materiał o szerszej od ZnO barierze energetycznej, komplementarne badania materiału o węższej przerwie, ZnCdO oraz CdO, są zawarte w serii [H3-H5]. ZnCdO jest materiałem mniej eksplorowanym niż ZnMgO a prace, w których Habilitantka jest współautorką były jednymi z pierwszych na ten temat. Wydaje mi się, że o ile umiejętności Habilitantki w technikach charakteryzacyjnych IV, CV, DLTS i spektroskopii ramanowskiej są wysokie to dobór materiałów jest niefortunny. Oczywistym jest, że jeśli nanokolumny są swobodne, to naprężenia w nich będą inne, niż w przypadku nanokolumn, które ulegają koalescencji. Dobrze, że udało się to potwierdzić pomiarami XRD i spektroskopią ramanowską, ale nie widzę w tym wielkiego odkrycia materiałowego. Warto by było wykonywać te pomiary na próbkach o bardzo dobrze rozdzielonych kolumnach albo nanodrutach. Autorzy prac piszą o wysokiej jakości krystalicznej materiału i chwala im za to, że umieli wytworzyć takie próbki, natomiast jeśli chodzi o pracę [H4] jest tam błędna interpretacja obrazów sieci odwrótej X jako pokazującej na monokrystaliczność warstw. Znaczna szerokość refleksów (0002) w kierunku Qx pokazuje mozaikowość, a nie monokrystaliczność, co zresztą jest zrozumiałe dla wzrostu na podłożach Si. Analogicznie musi paść pytanie o bardzo niski stosunek prądów w kierunku polaryzacji dodatniej i ujemnej dla zaprezentowanych diod. Tę serię prac oceniam jako najslabszą z całego cyklu. Potwierdzają to również cytowania: aż 46% (sic!) cytowań sumarycznych tych prac stanowią autocytowania (17 z 37). Można oczywiście stwierdzić, że to dobrze, że oprócz samych autorów ktoś jeszcze cytuje te prace, jednak jest to współczynnik zdecydowanie zbyt wysoki, by mówić o istotnym wpływie na dziedzinę nauki. Nie jest to jednakże wina Habilitantki, która wg. deklaracji autorów nie uczestniczyła w określaniu koncepcji tych prac, a miała swój wkład w pomiarach ramanowskich, którymi udało się osiągnąć wyniki porównywalne z XRD, co dla Jej możliwości badawczych jest istotne.

Najwyżej oceniam serię publikacji [H8-H10], które są najnowszymi z publikacji ujętych w osiągnięciu. Prowadzone są tam badania odseparowanych nanokolumn (nanodrutów) GaN pokrytych powłokami $Al_xGa_{1-x}N$ [H8] jak również ZnO osadzanych techniką ALD [H9, H10]. W pracy [H8] autorzy przygotowali istotną liczbę próbek o różnych składach bariery $Al_xGa_{1-x}N$ na drutach GaN. W tym zastosowaniu charakteryzacja mikronaprężeń związanych z różnymi różnicami stałych sieci bardzo cienkiej powłoki $Al_xGa_{1-x}N$ i GaN za pomocą technik mikroramanowskich pokazuje pełnię swoich możliwości. Widać wyraźnie jak wzrost zawartości Al w powłoce zwiększa naprężenia ściskające w drutach GaN. Ciekawi mnie jak takie naprężenia wpływają na ewentualne przewodnictwo drutów i czy formuje się na interfejsie wysokoprzewodzący dwuwymiarowy gaz elektronowy. Bardzo ciekawa jest praca [H9] wskazująca w jaki sposób częściowe (wyspowe) pokrycie nanodrutów GaN tlenkami modyfikuje ich własności optyczne. Zbadano szczegółowo dwa tlenki: AlO_x i HfO_x o nominalnych grubościach 5, 10 i 20 nm każdy. Wskazano, że wskutek pokrycia zwiększa się wydajność fotoluminescencji – najbardziej dla najcieńszych nominalnie pokryć. Wyjaśniono mechanizm powstawania tego efektu. Badania ramanowskie wykazały z większą precyzją niż XRD zmianę naprężeń w drutach wraz ze wzrostem grubości pokrycia. Wreszcie praca [H10] stanowi ciekawą próbę zamodelowania własności optycznych tego typu drutów przykrytych częściowo tlenkami z zastosowaniem modelu Bruggemana. Szkoda tylko, że na podstawie opracowanego modelu nie przygotowano przewidywań dla innych tlenków. Mogłoby to stanowić dobry zaczyn dla badań eksperymentalnych. Prace z tej serii są publikowane w najwyższej punktowanych czasopiśmie i posiadają najniższy, dobry współczynnik autocytowań (17%). Myślę, że jako dość świeże prace znajdują jeszcze większe uznanie w literaturze.

Podsumowując moją ocenę osiągnięcia naukowego w zakresie badań defektów i odkształceń sieci oraz ich wpływu na struktury oparte na ZnO i GaN, należy stwierdzić, że zawartość osiągnięcia jest tożsama z tytułem. Habilitantka wykazała biegłość i zrozumienie technik charakteryzacyjnych, zwłaszcza DLTS oraz spektroskopii ramanowskiej, które pozwoliło jej zaproponować nowe rozwiązania. Wykazała w jaki sposób pomiary mikronaprężeń na drodze spektroskopii Ramana mogą dostarczyć istotnych wiadomości w mikroskali jak również wykorzystwała DLTS do pomiaru stanów defektowych w materiałach. Największymi wadami tych prac są: swobodne podejście do nomenklatury, braki w planowaniu eksperymentów (kilkukrotnie były to badania tylko 1 próbki!) jak również często mgliste podsumowania osiągnięć artykułów. Pamiętając jednak, że prace te są pracami wieloautorskimi, należy uznać, że ciężko jednoznacznie stwierdzić na ile to odpowiedzialność Habilitantki.

Mimo wspomnianych braków, patrząc na indywidualny wkład Wnioskodawczyni, przedłożone osiągnięcie naukowe oceniam jako spełniające ustawowe wymagania.

4. Ocena aktywności naukowej

Dr inż. Eunika Zielony wykazuje bardzo wysoką aktywność naukową. W okresie ocenianym opublikowała 40 artykułów niezwiązanych z tematem osiągnięcia habilitacyjnego. Jest to bardzo dużo i pokazuje, że jest cenioną współpracowniczką wielu zespołów. Zaprezentowała swoje prace na 20 konferencjach międzynarodowych, obejmując 3 wykłady zaproszone, 8 prezentacji ustnych oraz 11 plakatów. Była kierowniczką sesji specjalnej dotyczącej tlenków metali na konferencji 'Jaszowiec'. Była kierowniczką projektu MNiSW Iuventus plus oraz projektu dotyczącego mobilności naukowców – Polonium realizowanym razem z Republiką Francuską. Była wykonawcą w 3 projektach finansowanych ze środków NCN i NCBR. Pełniła również funkcję opiekuna w 3 projektach, w tym w 2 projektach NCN Preludium. Wykazuje działalność mentorską – opiekę nad studentami i doktorantami (R. Szymon, I. Perlikowski) oraz działalność w zakresie kształcenia kadry – była promotorem pomocniczym doktorantki K. Gwóźdź. Dodatkowo, Wnioskodawczyni była promotorką pracy magisterskiej studenta z TU Muenchen realizowanej w ramach programu Erasmus. Habilitantka wygłasza wykłady popularnonaukowe oraz koordynuje zajęcia laboratoryjne z fizyki w jednym z wrocławskich liceów. Bierze aktywny udział w działalności organizacyjnej na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki: m.in. zasiada w komisji ds. oceny pracowników oraz koordynuje kierunek studiów Inżynieria Kwantowa, jak również jest członkinią Rady Wydziału. Kilkukrotnie nagrodzona Nagrodą Rektora PWr za wyróżniający wkład w działalność uczelni. Współpracuje z jedną firmą w zakresie charakteryzacji ogniw fotowoltaicznych typu ACIGSe. Jest również współautorką 1 patentu. Aktywność naukową Habilitantki uzupełnia działalność jako recenzentka w czasopismach z listy JCR. Moje zastrzeżenia budzi jednakże brak stażu badawczego dłuższego niż 1 miesiąc. Kuriozalne jest nazywanie spotkań projektowych/analizy wyników stażami badawczymi. Brak jest zwyczajowego długiego stażu podoktorskiego, który w mojej opinii powinien być niezbędnym elementem budowania kariery naukowej.

5. Wniosek

Stwierdzam, że mimo podniesionych uwag, dorobek naukowy dr inż. Euniki Zielony spełnia wymagania ustawy z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2022, poz. 574 z późn. zm.) oraz jest odpowiedni do nadania Jej stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.