



RECENZJA

w postępowaniu o nadanie stopnia doktora habilitowanego
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne
dr inż. Eunice Zielony

I. PODSTAWA FORMALNA I TRYB SPORZĄDZENIA RECENZJI

Wniosek dr inż. E. Zielony w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne, został złożony dnia 2 lutego 2026 r. Podmiotem habilitującym jest Rada Dyscypliny Naukowej Nauki Fizyczne Politechniki Wrocławskiej, która w dniu 12.05.2026 powołała komisję habilitacyjną. W oparciu o obowiązujące przepisy podstawą rozpatrzenia wniosku jest ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. Zgodnie z art. 221 ust. 8, przedmiotem oceny recenzenckiej jest to, czy osiągnięcia naukowe Habilitantki odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy.

Podstawę sporządzenia recenzji stanowiła dokumentacja przekazana przez podmiot habilitujący, obejmująca: wniosek przewodni Habilitantki, dane wnioskodawcy, kopię dyplomu doktorskiego, autoreferat w języku polskim, wykaz osiągnięć naukowych wraz z danymi bibliometrycznymi, oświadczenia współautorów publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego oraz kopie niniejszych publikacji.

II. PODSTAWOWE DANE O WYKSZTAŁCENIU I AKTYWNOŚCI ZAWODOWEJ HABILITANTKI

Pani dr inż. Eunika Zielony ukończyła studia magisterskie w 2008 roku, uzyskując dyplom magistra inżyniera na kierunku Fizyka techniczna (specjalność Fotonika) na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej za pracę dyplomową pt. „Procesy relaksacyjne w strukturach prostujących ZnTe - metal”. Stopień doktora nauk fizycznych uzyskała w tej samej Jednostce Naukowej w 2012 roku na podstawie dysertacji pt. „Właściwości elektrooptyczne struktur półprzewodnikowych na bazie ZnTe z kropkami kwantowymi CdTe”, obronionej z wyróżnieniem Rady Naukowej Instytutu Fizyki.

W roku 2012 Habilitantka została zatrudniona na Politechnice Wrocławskiej na stanowisku asystenta badawczo-dydaktycznego, a od 2016 roku pracuje na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego w Katedrze Fizyki Doświadczalnej. Warto podkreślić, że w okresie zatrudnienia kierowała projektami badawczymi Iuventus Plus (2013–2016) oraz POLONIUM (2020–2021), a obecnie pełni funkcję opiekuna naukowego w dwóch projektach Preludium oraz w projekcie Perły Nauki realizowanych przez jej doktorantów.

III. OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO STANOWIĄCEGO PODSTAWĘ WSZCZĘCIA POSTĘPOWANIA

Osiągnięciem naukowym przedłożonym przez dr inż. Eunikę Zielony jest cykl 10 powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod wspólnym tytułem „Badania wpływu defektów i odkształceń sieci na własności heterostruktur planarnych i kolumnowych na bazie półprzewodników szerokoprzerwowych ZnO i GaN”. Osiągnięcie to obejmuje prace opublikowane w latach 2014–2025. Omawiane prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach międzynarodowych o znacznym stopniu oddziaływania, takich jak Small, Applied Surface Science, Journal of Alloys and Compounds oraz Optics Letters. W 5 z 10 prac Habilitantka jest pierwszym autorem. Złożone oświadczenia współautorów nie budzą żadnych wątpliwości i potwierdzają wiodący wkład dr Zielony

w inicjowanie koncepcji badawczych, przeprowadzanie badań eksperymentalnych oraz redagowanie publikacji przedstawionych w niniejszym wniosku.

Odnosząc się bezpośrednio do oceny osiągnięcia naukowego, nie sposób nie wspomnieć, że wykazane prace zostały opublikowane w renomowanych czasopismach, czyli zostały poddane rzetelnej recenzji przez gremium międzynarodowe. Taka procedura weryfikacji pojedynczych prac przedstawionych we wniosku pozwala stwierdzić, że dobry poziom naukowy poszczególnych prac został już potwierdzony. Jednakże zadaniem recenzenta jest weryfikacja osiągnięcia naukowego, całego cyklu powiązanych tematycznie prac. W tym miejscu chciałabym podkreślić, że autoreferat Habilitantki jest bardzo dobrze przygotowany i zawiera syntetyczne ujęcie problematyki naukowej dotyczącej wpływu defektów i naprężeń sieciowych na własności heterostruktur półprzewodnikowych. Podjęta tematyka badawcza dobrze wpisuje się w rozwijający się nurt badań nad materiałami szerokoprzerwowymi, który może dostarczać informacji istotnych dla projektowania przyrządów optoelektronicznych nowej generacji.

Cykl publikacji ma przejrzystą, trójdziałną strukturę, odzwierciedlającą rozwój warsztatu badawczego Habilitantki: (i) prace [H1]–[H2] dotyczą heterostruktur planarnych ZnO/ZnMgO domieszkowanych na typ p; (ii) prace [H3]–[H7] obejmują heterostruktury kolumnowe i planarne na bazie ZnMgO/Si oraz ZnCdO/Si; (iii) prace [H8]–[H10] koncentrują się na nanodrutach rdzeń-powłoka GaN-AlGaIn oraz GaN-(Al/Hf)Ox. Przejście od prostszych struktur planarnych do coraz bardziej złożonych architektur kolumnowych i rdzeń-powłoka tworzy logiczną, dobrze umotywowaną narrację badawczą, w której doświadczenia i narzędzia wypracowane we wcześniejszych pracach są konsekwentnie rozwijane w kolejnych, bardziej zaawansowanych układach materiałowych. Autoreferat konsekwentnie prowadzi czytelnika przez tę logikę rozwoju tematyki.

Habilitantka posługuje się szerokim i adekwatnie dobranym zestawem technik eksperymentalnych, łączącym metody elektryczne (charakterystyki prądowo-napięciowe I-V i pojemnościowo-napięciowe C-V, spektroskopia termicznie stymulowanej pojemności TSCap, niestacjonarna spektroskopia głębokich poziomów pułapkowych DLTS) z metodami optycznymi i strukturalnymi (spektroskopia Ramana, fotoluminescencja PL, katodoluminescencja CL, dyfrakcja rentgenowska XRD wraz z mapowaniem przestrzeni odwrotnej, mikroskopia SEM). Konsekwentne łączenie charakterystyki elektrycznej z optyczną i strukturalną stanowi mocną stronę warsztatu badawczego Habilitantki i pozwala na wiarygodne, wieloaspektowe wnioskowanie o naturze obserwowanych defektów i odkształceń.

Jednym z kluczowych wyników przedłożonego osiągnięcia naukowego jest identyfikacja i określenie pochodzenia defektów akceptorowych w planarnych heterostrukturach ZnO domieszkowanego na typ p (H1, H2). W pracy H1 przedstawiono badania elektryczno-optyczne heterozłącza ZnO/ZnMgO domieszkowanego azotem, w którym zaobserwowano zjawisko trwałej fotopojemności w zakresie temperatur 40–280 K. Rozszerzeniem prac nad defektami akceptorowymi w ZnO jest praca H2, w której metodą DLTS zidentyfikowano trzy pułapki dziurowe w heterozłączu ZnO:As/n-GaN i przypisano je defektom związanym z arsenem. Wyniki te wnoszą konkretny wkład w wieloletnie, wciąż nierozwiązane w pełni zagadnienie uzyskania trwałego przewodnictwa dziurowego w ZnO. Rozszerzeniem tematyki badań defektów na struktury kolumnowe są prace H3–H7, dotyczące nanodrutowych heterostruktur ZnMgO/Si i ZnCdO/Si ze studniami kwantowymi. W pracy H3 wykazano obecność mikro-naprężeń w nanodrutach ZnO. Praca H4 rozszerza tę analizę o analizę naprężeń w nanodrutach, opartą na pomiarach ramanowskich oraz analizie odkształceń sieci krystalicznej w strukturach kolumnowych zawierających MQWs ZnO/CdO i ZnO/ZnCdO, wytworzonych na podłożu Si metodą MBE. Prace H5 i H6 koncentrują się na charakterystyce elektrycznej heterozłączy kolumnowych, odpowiednio ZnCdO/Si oraz ZnMgO/Si, potwierdzając ich sprawne działanie jako diod. Podsumowaniem tej grupy zagadnień jest praca H7, w której metodą

spektroskopii Ramana i pomiarów elektrycznych zbadano wpływ składu i naprężeń na właściwości heterozłączy n-ZnMgO/p-Si.

Ostatnim, najbardziej zaawansowanym wkładem w przedstawione osiągnięcie naukowe są badania nanodrutów rdzeń-powłoka GaN-AlGaIn oraz GaN-(Al/Hf)O_x (H8, H9, H10). W pracy H8 zbadano i szczegółowo wyjaśniono mechanizmy odpowiedzialne za przesunięcia modów fononowych, w tym: kwantowy efekt ograniczenia przestrzennego dla fononów, wpływ temperatury, mikro-naprężeń w nanodrutach rdzeń-powłoka oraz oddziaływania fonon-plazmon. Wykazano również możliwość zastosowania spektroskopii Ramana do badań mechanizmów drgań sieci krystalicznej, jakości krystalicznej, naprężeń oraz koncentracji swobodnych nośników w nanodrutach GaN-AlGaIn. W pracy H9, opublikowanej w czasopiśmie Small (IF = 12,1), Habilitantka m.in. (i) wyjaśniła przyczyny wygaszania luminescencji w czystych nanodrutach GaN w warunkach otoczenia; (ii) wykazała że częściowe pokrycie nanodrutów redukuje naprężenia w rdzeniu; (iii) udowodniła znaczącą poprawę luminescencji w nanodrutach z częściowym pokryciem (PL, CL); (iv) wyjaśnia, że spadek intensywności sygnału PL w przypadku nanodrutów z grubymi powłokami może wynikać z rosnącego gradientu naprężeń, powstawania defektów oraz rozpraszaniem światła; (v) wskazała potencjał aplikacyjny częściowo pokrytych nanodrutów jako wydajnych i trwałych nanostruktur do zastosowań w optoelektronice. Uzupełnieniem tej tematyki jest praca H10, w której wykazano, że rodzaj i grubość powłoki w nanodrutach GaN-AlO_x i GaN-HfO_x mają istotny wpływ na ich właściwości optyczne, w tym współczynnik odbicia i efekty interferencyjne. Co istotne, w publikacji tej opracowano i dostosowano teoretyczny model EMA do analizy tych struktur, łącząc wyniki eksperymentalne z obliczeniami.

Za najważniejsze osiągnięcia cyklu [H1]–[H10], wyodrębnione również przez samą Habilitantkę, uznaje:

(1) Wykazanie - wbrew powszechnemu w literaturze założeniu o pełnej relaksacji sieciowej nanodrutów - obecności mikro-naprężeń w nanodrutach ZnO i GaN wraz z identyfikacją ich prawdopodobnych źródeł (koalescencja nanodrutów, wbudowywanie obcych atomów w sieć krystaliczną, statystyczne zróżnicowanie rozmiarów i kształtów). Wyniki te mają bezpośrednie znaczenie dla projektowania przyrządów optoelektronicznych opartych na nanodrutach GaN i Zn(Cd,Mg)O i zostały opublikowane m.in. w Applied Surface Science (2021, 2022) oraz w Small (2024, IF = 12,1) - jednym z najwyżej notowanych czasopism, w których ukazała się praca wchodząca w skład ocenianego osiągnięcia.

(2) Identyfikację i określenie pochodzenia defektów akceptorowych (związanych z azotem i arsenem) w planarnych heterostrukturach ZnO domieszkowanego na typ p (Journal of Alloys and Compounds, 2014 i 2018), co wnosi konkretny wkład w wieloletnie, wciąż nierozwiązane w pełni w literaturze przedmiotu zagadnienie uzyskania trwałego przewodnictwa dziurowego w ZnO, oraz elektryczną charakterystykę heterozłączy kolumnowych ZnMgO/Si i planarnych ZnCdO/Si, potwierdzającą ich sprawne działanie jako diod i przybliżającą ich praktyczne zastosowanie.

IV. OCENA DOROBKU NAUKOWEGO HABILITANTKI

Całkowity dorobek publikacyjny Habilitantki liczy 65 prac: 15 opublikowanych przed uzyskaniem stopnia doktora oraz 50 po jego uzyskaniu. Na etapie przed doktorskim Habilitantka opublikowała prace [D1]–[D15], w tym 7 z tzw. listy filadelfijskiej, związane bezpośrednio z tematyką rozprawy doktorskiej. Po doktoracie dorobek ten wzrósł do 50 publikacji, na które składa się omówiony wyżej cykl habilitacyjny (10 prac) oraz 40 dodatkowych artykułów - 38 w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym i 2 w czasopiśmie krajowym (Przegląd Elektrotechniczny). Sumaryczny współczynnik wpływu (IF) wszystkich publikacji z okresu po doktoracie wynosi 209,058, całkowita liczba cytowań (wg Web of Science) - 725, w tym 656 bez autocytowań, a indeks Hirscha - 15 (Web

of Science, Scopus) / 17 (Google Scholar). Tak liczny i systematycznie rosnący dorobek świadczy o ugruntowanej rozpoznawalności Habilitantki w środowisku międzynarodowym.

Istotną cechą dorobku Habilitantki jest jego różnorodność tematyczna i instytucjonalna: powstał on we współpracy z co najmniej dziewięcioma ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą (m.in. Instytutem Fizyki PAN, Siecią Badawczą Łukasiewicz, Instytutem Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN, Instytutem Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, a także ośrodkami we Francji, Turcji, Rosji i na Tajwanie) i obejmuje m.in. badania ogniw fotowoltaicznych CdTe/ZnTe i ZnO/Si, materiałów perowskitowych, węgla krzemu, kesterytów oraz innych struktur tlenkowych i azotkowych. Świadczy to o kompetencjach eksperymentalnych Habilitantki wykraczających poza wąski zakres tematyczny osiągnięcia habilitacyjnego oraz o jej roli poszukiwanego partnera badawczego dla wielu zespołów.

Habilitantka uczestniczyła w realizacji 9 projektów badawczych finansowanych w drodze konkursów krajowych i międzynarodowych (Iuventus Plus, OPUS 7, projekt polsko-tajwański, akcja sieci COST „MultiscaleSolar”, POLONIUM, SONATA 17, Perły Nauki oraz dwa projekty Preludium), pełniąc funkcję kierownika w 2 z nich, wykonawcy w 4, a opiekuna naukowego młodych badaczy (doktorantów - beneficjentów własnych grantów Preludium i Perły Nauki) w kolejnych 3 - co dodatkowo potwierdza jej dojrzałość naukową, zdolność do samodzielnego pozyskiwania finansowania oraz budowania własnej grupy badawczej. W lipcu 2025 r. Habilitantka złożyła wraz ze współautorami (mgr inż. I. Perlikowski, dr hab. E. Przeździecka) zgłoszenie patentowe dotyczące ultraszybkiego fotodetektora na bazie stopu $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{O:Eu}$, w którym jej udział twórczy określono na 30%.

Dorobek Habilitantki został również dostrzeżony instytucjonalnie: oprócz sześciu Nagród Rektora Politechniki Wrocławskiej (2016, 2018, 2022–2025) otrzymała ona nagrody w ramach programu PRIMUS (trzykrotnie: 2022, 2023, 2025), a w 2022 r. - nagrodę SECUNDUS, przyznaną młodym naukowcom przed habilitacją (poniżej 40. roku życia) o najwyższej sumarycznej punktacji publikacyjnej na uczelni, co stanowi potwierdzenie wysokiej jakości jej dorobku już na etapie przedhabilitacyjnym.

Powyższe elementy dorobku naukowego wyraźnie wykraczają poza minimalne wymagania ustawowe i stanowią istotne wzmocnienie oceny całokształtu osiągnięć naukowych Habilitantki.

V. OCENA ISTOTNEJ AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ (ART. 219 UST. 1 PKT 3 USTAWY)

Analizując aktywność naukową Habilitantki realizowaną w innych ośrodkach, należy zwrócić uwagę na wyraźną różnicę w charakterze staży odbytych przed i po uzyskaniu stopnia doktora. O ile w okresie doktoranckim (2009–2012) Habilitantka odbyła dwa dłuższe pobyty badawcze - dwumiesięczny staż w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie (2011) oraz miesięczny staż na Technische Universität Dresden (2010) - o tyle wszystkie cztery staże podoktorskie (2014–2021: Instytut Fizyki PAN, Chang-Gung University na Tajwanie, CNRS/CentraleSupélec w Paryżu) miały charakter krótkoterminowy, nieprzekraczający dwóch tygodni. Szkoda, że w dorobku Habilitantki zabrakło dłuższego, np. rocznego stażu podoktorskiego w renomowanym ośrodku zagranicznym - tego rodzaju doświadczenie jest zwykle wysoko cenione w ocenie dojrzałości naukowej kandydatów do stopnia doktora habilitowanego i mogłoby dodatkowo wzmocnić jej międzynarodową pozycję badawczą. Warto jednak podkreślić, że mimo krótkiego czasu trwania, wszystkie odbyte wyjazdy miały charakter merytoryczny (udział w pomiarach, konsultacje, analiza wyników) i przełożyły się bezpośrednio na wspólne publikacje z każdym z odwiedzonych ośrodków, co świadczy o ich realnej efektywności naukowej.

Aktywność konferencyjna obejmuje udział w 17 konferencjach międzynarodowych i 3 krajowych w okresie po doktoracie, w tym 11 wystąpień ustnych (3 na zaproszenie, m.in. na Krajowej Konferencji Elektroniki w 2016 i 2022 r.) oraz 11 prezentacji plakatowych, a także funkcję przewodniczącej sesji tematycznej „Oxides” na konferencji Jaszowiec 2021 – jednym z ważniejszych cyklicznych spotkań środowiska fizyki półprzewodników w Polsce.



Habilitantka wykazuje się także aktywnością szeroką działalnością dydaktyczną i mentorską: jest promotorem 8 prac magisterskich i 13 inżynierskich, promotorem pomocniczym jednej zakończonej rozprawy doktorskiej (mgr inż. K. Gwóźdź, obrona w 2020 r.) oraz opiekunem naukowym dwóch aktualnie realizowanych doktoratów w Szkole Doktorskiej PWr (mgr inż. R. Szymon, mgr inż. I. Perlikowski). Obaj doktoranci legitymują się już samodzielnie uzyskanym finansowaniem grantowym (Preludium NCN) oraz uznanymi wyróżnieniami, w tym nagrodą im. Arkadiusza Piekary Polskiego Towarzystwa Fizycznego za najlepszą pracę magisterską z fizyki w Polsce w 2022 r. - co pośrednio, lecz wyraźnie, potwierdza wysoki poziom sprawowanej przez Habilitantkę opieki naukowej.

VI. KONKLUZJA KOŃCOWA

Podsumowując całość przedłożonej dokumentacji, stwierdzam, że:

1. Przedstawiony cykl dziesięciu powiązanych tematycznie publikacji [H1]–[H10] pt. „Badania wpływu defektów i odkształceń sieci na własności heterostruktur planarnych i kolumnowych na bazie półprzewodników szerokoprzerwowych ZnO i GaN” stanowi osiągnięcie naukowe będące znacznym wkładem w rozwój dyscypliny nauki fizyczne w rozumieniu art. 219 ust. 1 pkt 2 lit. b ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

2. Dr inż. Eunika Zielony wykazuje się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej uczelni i instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej, w rozumieniu art. 219 ust. 1 pkt 3 ustawy, udokumentowaną wieloletnią współpracą krajową i międzynarodową (Francja, Turcja, Rosja, Tajwan), udziałem w licznych projektach badawczych - w tym w roli kierownika - stażami zagranicznymi oraz aktywnością konferencyjną, recenzencką i dydaktyczno-promotorską.

3. Pozostały dorobek naukowy Habilitantki (40 publikacji spoza cyklu habilitacyjnego) w pełni potwierdza jej dojrzałość naukową i samodzielność badawczą, wykraczając wyraźnie poza minimum wymagane ustawą.

W związku z powyższym przedkładam pozytywną recenzję osiągnięcia naukowego, dorobku i aktywności naukowej dr inż. Euniki Zielony i wnioskuję o nadanie Jej stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Chorzów, dnia 13.07.2026

.....
E. Wojasowski
(podpis Recenzenta)