

Warszawa 30 grudnia 2023

Prof. dr hab. Piotr Kossacki  
Wydział Fizyki  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Ul. Pasteura 5  
02-093 Warszawa

**Opinia o osiągnięciu naukowym p. dr Renaty Katarzyny Ratajczak zatytułowanym „Opracowanie warunków optymalnego domieszkowania i wygrzewania oraz metod kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych” oraz jej aktywności naukowej.**

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe dr Renaty Katarzyny Ratajczak zatytułowane „Opracowanie warunków optymalnego domieszkowania i wygrzewania oraz metod kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych” stanowi cykl 9 wieloautorskich artykułów naukowych opublikowanych w latach 2017-2023 w czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Tematyka publikacji jest jednorodna i tworzy dobrze określoną, koherentną całość odpowiadającą tytułowi. Jej wybór jest uzasadniony ciekawym poznawczo zagadnieniem powstawania defektów podczas implantacji metali ziem rzadkich, ewolucji defektów w miarę zwiększania dawki implantowanego metalu i podczas wygrzewania jak również wpływu defektów na własności półprzewodnikowe tlenku cynku. Choć sam temat defektów towarzyszących implantacji nie jest nowy i był badany w wielu aspektach, to wybór jonów metali ziem rzadkich w tlenku cynku jest dobrze umotywowany. Dodatkowo uzasadnia go potencjalne duże znaczenie aplikacyjne w układach optoelektronicznych. Szczególnie interesująco brzmi możliwość zastosowania tego systemu w wyświetlaczach zintegrowanych z cienkowarstwową elektroniką tlenkową. Z tego też powodu szczególnego znaczenia nabiera określenie i zbadanie mechanizmów wpływających na emisję światła w zakresie widzialnym dla implantowanego tlenku cynku.

Przedstawione badania dotyczą tlenku cynku domieszkowanego metalami ziem rzadkich takich jak Er, Dy, Yb i Pr. Kluczową metodą badawczą stosowaną przez Kandydatkę jest technika rutherfordowskiego rozpraszania wstecznego jonów z wykorzystaniem

kanalowania (RBS/c). Technika ta wsparta zaawansowanymi symulacjami pozwala uzyskać informacje o efektywnej gęstości i przestrzennym rozkładzie defektów sieci krystalicznej z podziałem na dwie ich podstawowe grupy. Sama w sobie metoda rozpraszania rutherfordowskiego ma znaczące ograniczenia i dlatego bardzo zyskuje w połączeniu z innymi technikami charakteryzacji strukturalnej. W przedstawionym cyklu prac zastosowane zostały dodatkowe techniki takie jak wysokorozdzielcza transmisyjna mikroskopia elektronowa – HRTEM (praca A5), wysokorozdzielcza dyfrakcja rentgenowska HR-XRD (szczególnie prace A2, A5, A9), mikroskopia sił atomowych AFM (praca A4) i elektronowa spektrometria z dyspersją energii EDS (praca A4). Podstawowym celem badań była nie tyle charakteryzacja zdefektowania powstającego na skutek implantacji, co jej wpływ na fotoluminescencję w zakresie światła widzialnego i bliskiej podczerwieni. W dalszej kolejności cel stanowiło opracowanie optymalnych procedur implantacji i wygrzewania. Z tego też powodu istotnym elementem prezentowanych publikacji jest opis wyników pomiarów fotoluminescencji poprzedzonych pracami technologicznymi obejmującymi zarówno wytworzenie badanych kryształów ZnO, procesy implantacji jak i wygrzewanie w różnych technologiach (standardowe, RTP i oświetleniem błyskowym).

Ze względu na różnorodność metodologii i specyfikę potrzebnych przyrządów pomiarowych, prace w dużej mierze oparte były na współpracach krajowych i zagranicznych. Pomimo wieloautorskiego charakteru prac, wiodąca rola kandydatki wydaje się bezsporna. Co więcej, w moim przekonaniu szeroki zakres metodologiczny świadczy o wymaganej dojrzałości naukowej habilitantki. Umiała ona właściwie skorzystać ze współpracy krajowej i międzynarodowej. W pięciu z dziewięciu prac, stanowiących osiągnięcie, habilitantka jest pierwszym autorem. We wszystkich publikacjach stanowiących cykl deklaruje ona autorstwo koncepcji, scenariusza badań oraz istotny udział w pisaniu publikacji. Dowodem na autorstwo koncepcji badań jest to, że prace były częściowo finansowane w ramach ministerialnych współfinansowanych projektów międzynarodowych kierowanych przez kandydatkę. Na uznanie zasługuje osobisty udział w pomiarach bardziej odległych od specjalizacji kandydatki, takich jak pomiary fotoluminescencji. Aplikacyjnego potencjału badań przekonująco dowodzi patent otrzymany na sposób domieszkiowania tlenku cynku (ZnO) jonami pierwiastków ziem rzadkich (RE).

W moim przekonaniu najciekawszym odkryciem jest stwierdzenie, że dla optycznej aktywności implanowanych warstw bardzo istotna jest aktywacja dyfuzji jonów metali ziem rzadkich (prace A5 i A6). Z tego też powodu praktycznego znaczenia nabierają różnice własności dyfuzyjnych różnych jonów, co zostało wykazane dla Dy, Yb i Pr w pracy A6. Jako

wyjaśnienie obserwowanej termicznej aktywacji fotoluminescencji została zaproponowana zmiana stopnia utlenienia jonów metali ziem rzadkich z 2+ na 3+ połączona ze zmianą ich położenia w sieci krystalicznej. Pewnego rodzaju zwieńczeniem prezentowanych prac było opracowanie wydajnego procesu sekwencyjnego wygrzewania i implantacji oraz zademonstrowanie wydajnej emisji szerokiego spektralnie światła widzialnego o przyjemnej charakterystyce barwnej (praca A7).

Prace stanowiące cykl, opublikowane zostały w przyzwoitych czasopismach o współczynniku wpływu („impact factor”) od 6,7 do 1,4. O dostrzegalności dorobku kandydatki świadczy niezła liczba cytowań (średnio prawie 3/rok dla prac z cyklu), dobre współczynniki bibliometryczne oraz rozwinięte współprace międzynarodowe, w tym prace prowadzone na dużej infrastrukturze badawczej, na której czas pomiarowy przyznawany jest w drodze konkursu. Uważam, że kandydatka spełnia wymóg posiadania dostrzegalnego dorobku oraz, że zaprezentowane osiągnięcie naukowe stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny, a dodatkowo ma zauważalną wartość aplikacyjną.

Pani dr Renata Katarzyna Ratajczak jest absolwentką Uniwersytetu Warszawskiego. Studia magisterskie ukończyła w 1999 roku na Wydziale Fizyki. Pracę doktorską pt. „*Analiza struktur defektowych w heterostrukturach wybranych związków półprzewodnikowych III-V*” obroniła w roku 2011 w Instytucie Badań Jądrowych im A.Sołtana (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych - NCBJ).

Od roku 2000 jest zatrudniona w jednej instytucji – obecnym Narodowym Centrum Badań Jądrowych. Początkowo pracowała na etacie technicznym, później badawczo-technicznym, a od 2011 roku na stanowisku adiunkta. Wymagana ustawowo aktywność naukowa realizowana w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej ogranicza się w przypadku kandydatki do krótkich wyjazdów zagranicznych związanych z pomiarami i bieżącą współpracą naukową (najdłuższy to 5 tygodni w HZDR w Niemczech w 2015 roku) oraz okresem jednoczesnego zatrudnienia w NCBJ i w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie. Niestety zatrudnienie w Instytucie Fizyki PAN było jedynie na część etatu i trudno określić bezspornie na ile wiązało się z istotną aktywnością naukową. Na korzyść kandydatki przemawia to, że w pracach A3 i A5 ma ona jako drugą afiliację Instytut Fizyki PAN. Pozwala mi to uznać, że spełniony jest wymóg ustawy. Niemniej jednak szkoda, że kandydatka nie odbyła klasycznego zagranicznego stażu podoktorskiego (post-doc). Tego typu wyjazd, choć formalnie nieobowiązkowy, zwykle bardzo wzbogaca i poszerza perspektywę kariery naukowej. Podsumowując, mimo stosunkowo silnego i stałego związania

z jedną jednostką naukową, oceniam, że wymóg istotnej aktywności naukowej realizowanej poza jednostką macierzystą został spełniony.

Na koniec chciałbym jeszcze wyrazić ogromne zadowolenie, że sam autoreferat poprzedzający cykl publikacji nie podlega mojej ocenie. W przeciwnym wypadku musiałbym zwrócić uwagę (i uwzględnić w swojej opinii) na spore nagromadzenie różnorodnych błędów, poczynając od niezręczności językowych, poprzez nieczytelne, miniaturowe rysunki, na błędnej numeracji referencji kończąc. Bardzo bym chciał, żeby samodzielny pracownik naukowy dawał w przyszłości swoim doktorantom dobry przykład większej staranności.

Konkludując swoją recenzję, uważam dr Renatę Katarzynę Ratajczak za dojrzałego fizyka, specjalistę w dziedzinie rutherfordowskiego rozpraszania wstecznego jonów, posiadającego znaczący dorobek i jednocześnie umiejętności nawiązywania i podtrzymywania współpracy naukowej. Z przekonaniem stwierdzam, że w świetle obowiązującej ustawy Pani dr Renata Katarzyna Ratajczak spełnia warunki do uzyskania awansu naukowego i wnioskuję o dopuszczenie jej do dalszych etapów procedury habilitacyjnej.

Prof. dr hab. Piotr Kossacki