

Kraków, 27.11.2023.



UNIWERSYTET
JAGIELLOŃSKI
W KRAKOWIE

Instytut Fizyki

im.

Mariana Smoluchowskiego

Prof. dr hab. Kazimierz Łątka
Telefon służbowy: 12 664 4668
e-mail: uflatka@cyf-kr.edu.pl

Recenzja dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
oraz osiągnięcia habilitacyjnego **dr Renaty Ratajczak**, adiunkta w Narodowym
Centrum Badań Jądrowych, zatytułowanego:

**„Opracowanie warunków optymalnego domieszkowania i wygrzewania oraz metod
kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na
poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych”**

Charakterystyka ogólna Habilitantki

Pani Renata Ratajczak uzyskała w 1997 roku dyplom licencjata w Nauczycielskim Kolegium Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego a następnie w 1999 roku tytuł magistra fizyki na Wydziale Fizyki w tym samym Uniwersytecie w oparciu o pracę p.t. ”Badania strukturalne warstw defektowych azotku galu metodami mikroanalizy jądrowej”. Od 2000 roku zatrudniona została w Instytucie Badań Jądrowych im. A. Sołtana (obecna nazwa: Narodowe Centrum Badań Jądrowych, NCBJ) gdzie pracowała najpierw jako fizyk na etacie technicznym do 2006 roku, zaś w latach 2006-2011 jako specjalista badawczo-techniczny. W 2011 roku obroniła w swoim miejscu zatrudnienia pracę doktorską uzyskując dyplom doktora nauk fizycznych na podstawie rozprawy p.t. „Analiza struktur defektowych w heterostrukturach wybranych związków półprzewodnikowych III-V”, której promotorem był Pan prof. dr hab. Andrzej Turos i od tego roku do chwili obecnej kontynuuje swoją karierę naukową na etacie adiunkta. Przez jeden rok (2015-2016), Pani dr Ratajczak pracowała na stanowisku fizyka w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie w Zakładzie Fizyki i Technologii

ul. St. Łojasiewicza 11

PL 30-348 Kraków

tel. +48(12) 664-47-03

fax +48(12) 664-49-06

e-mail: fizyka@uj.edu.pl

Półprzewodników Szerokoprzerwowych, gdzie zapoznała się z techniką spektroskopii ramanowskiej wykonując prace eksperymentalne z tego zakresu oraz analizując otrzymane wyniki pomiarowe.

Działalność i dorobek naukowy

Główne zainteresowania naukowe Pani dr Renaty Ratajczak koncentrują się od początku jej działalności badawczej wokół zagadnień dotyczących badań podstawowych w zakresie fizyki materiałowej w układach poddanych modyfikacji powierzchni poprzez implantację i wygrzewanie. W tym aspekcie do najważniejszych osiągnięć Habilitantki należą wyniki badań struktur defektowych powstałych w wyniku wspomnianych modyfikacji powierzchni. W tych badaniach stosowała liczne techniki eksperymentalne jak RBS/c, PIXE/c, NRA, XRD oraz optyczne fotoluminescencji PL. Badania RBS/c, PIXE/c, oraz PL prowadziła osobiście. Uzupełnieniem powyższych technik eksperymentalnych były badania prowadzone w IF PAN elektrycznego efektu Halla, która jest niezwykle czułą metodą monitorującą wszelkie zachodzące zmiany strukturalne materiałów na skutek ich różnorodnej modyfikacji.

Istotnym poszerzeniem technik eksperymentalnych były też badania morfologii powierzchni wyselekcjonowanych próbek sztandarowego systemu ZnO:RE za pomocą mikroskopii sił atomowych (AFM) w IF PAN, skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) z systemem spektrometrii z dyspersją energii (EDS) w NCBJ. Aby pogłębić interpretację otrzymanych widm RBS/c obserwowanych dla tego systemu, użyto dodatkowych technik analitycznych, jak wysokorozdzielcza transmisyjna mikroskopia elektronowa (HRTEM) celem zobrazowanie defektów, oraz wysokorozdzielczą dyfrakcję rentgenowską (HRXRD) zastosowaną dla właściwego opisu ewolucji natężeń sieci wzdłuż osi c, ponieważ technika RBS/c jest wrażliwa tylko na defekty złożone utworzone w kierunku prostopadłym do powierzchni. Przeprowadzone analizy symulacyjne z wykorzystaniem unikalnego programu o nazwie McChasy, opartego na metodzie symulacji Monte Carlo, umożliwiły rozróżnienie wkładu do widm RBS/c pochodzące od defektów prostych i złożonych. Program ten powstał w NCBJ i jest ciągle ulepszany. Wykonano również badania strukturalne systemów ZnO:RE przy użyciu synchrotronowych technik pomiarowych za pomocą rentgenowskiej spektroskopii absorpcyjnej (XAS) oraz rezonansowej spektroskopii fotoemisyjnej (RPES) celem uzyskania informacji o lokalnym otoczeniu RE w matrycy ZnO i jej strukturze elektronowej (synchrotrony Elettra, Trieste, Włochy oraz SOLARIS, Kraków, Polska).

Do uzyskania doktoratu podmiotem badań była analiza struktur defektowych wywołanych bombardowaniem jonowym w heterostrukturach związków półprzewodnikowych III-V (InP,

InGaAs i InGaAsP) i azotków GaN oraz AlGaN. Po doktoracie tematyka badań została znacznie rozszerzona zawierając związki półprzewodnikowe II-VI domieszkowane jonami ziem rzadkich (RE), jonami metali przejściowych (TM oraz jonami gazów szlachetnych. Na szczególną uwagę zasługują badania implantowanego jonami RE tlenku cynku ZnO. Te ostatnie badania zostały ujęte w ramach osiągnięcia habilitacyjnego, które zostaną omówione osobno. Całkowity dorobek naukowy Pani dr Ratajczak jest znaczący obejmując 76 publikacji (w tym 37 publikacji uzyskanych po doktoracie) indeksowanych w bazie Web of Science z całkowitą liczbą cytowań 738 i Indekssem Hirsha 15. Wszystkie te prace opublikowane zostały w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Ostatnia z nich ("Combining MD-LAMMPS and MC-McChasy2 codes for dislocation simulations of Ni single crystal structure", Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms, Volume 540, page 38-44, DOI 10.1016/J.NIMB.2023.04.010) ukazała się w lipcu b.r. to jest już po rozpoczęciu procedury habilitacyjnej i została dostrzeżona legitymując się dodatkowym cytowaniem. Wśród tych prac nie ma prac mono-autorskich, ale należy wziąć pod uwagę fakt, że publikacje te powstawały dzięki wykorzystaniu dużych urządzeń badawczych jak akceleratory dostarczające wiązki ciężkich lub lekkich jonów, które służyły do implantacji czy też odpowiednio do charakteryzacji, nieniszcząca metodą RBS/c, profili głębokościowych defektów, jonów domieszkowanych jak również ich lokalizacji w sieci ZnO oraz obserwację zachodzących zmian po wygrzewaniu. Siłą rzeczy więc, prace badawcze wykonywane były z udziałem dużych zespołów badawczych, które dostarczały próbek wyjściowych, umożliwiały proces implantacji oraz procedury wygrzewania w oparciu o różne metody termiczne. Oprócz wymienionego dorobku publikacyjnego Pani dr Ratajczak może się pochwalić wybitną aktywnością w prezentacji uzyskanych z jej udziałem badań na krajowych (42) i międzynarodowych (64) konferencjach naukowych w postaci aż 106 wystąpień z których 39 odbyło się po doktoracie. W 14 konferencjach brała udział osobiście. W sumie 20 komunikatów miało charakter wystąpienia ustnego a 4 stanowiły wykłady zaproszone w tym jeden wykład zaproszony został wygłoszony przez Habilitantkę. Należy też nadmienić, że osiągnięcie wymienionych wyników nie byłoby możliwe, gdyby nie umiejętności Kandydatki do organizowania pracy zespołowej oraz zdolność pozyskiwania środków finansowych na realizację projektów naukowo badawczych i współpracy naukowej czego dowodem jest jej udział w otrzymaniu 9 projektów naukowo badawczych w ramach konkursów krajowych z puli NCBiR (1 projekt-BPS2), MNiSW (3 projekty), MEiN (4 projekty) oraz NCN (1projekt-OPUS 23). W 6 z tych projektów pełniła rolę kierownika a w pozostałych 3 była wykonawcą.

W tym miejscu trzeba dodać, że 4 z tych 9 projektów dotyczą tematyki związanej z osiągnięciem habilitacyjnym. 4 projekty z 9 jest aktualnie w toku realizacji. Warto zaznaczyć, że do roku 2014 pomiary RBS/c będące podstawową techniką strukturalną Pani dr Ratajczak wykonywane były przy użyciu akceleratora typu Van de Graaffa zlokalizowanego na Wydziale Fizyki UW w Warszawie przy ulicy Hożej 69. Po przeniesieniu Wydziału na nowy Kampus akcelerator został zamknięty i wymienione pomiary z uwagi na wysoki koszt akcelatora musiały być wykonywane za granicą. Stanowiło to dodatkowe utrudnienie do pokonania, wymagające uzyskiwanie czasu pomiarowego w ramach programów europejskich na podstawie pozytywnie zaopiniowanych wniosków przez 3 niezależnych recenzentów oceniających zarówno ich wartość naukową jak i możliwość realizacji. Tak więc omawiane badania od roku 2015 przeprowadzane były w oparciu o 17 indywidualnie przygotowywanych i zaakceptowanych wniosków. Przy osobistym zaangażowaniu Pani dr Ratajczak przygotowanych zostało 10 wniosków do Hemholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR) Drezno, Niemcy, z których 7 obejmowały tematykę umożliwiającą zrealizowania jej osiągnięcia habilitacyjnego a w przygotowaniu dalszych 7 była ona współautorką. Jak z tego ostatniego zestawienia widać Pani dr Ratajczak potrafi, z sukcesem, dzięki własnemu wysiłkowi zapewnić właściwe warunki do wykonania postawionych przed sobą ambitnych zadań badawczych. W związku z koniecznością wykonywania badań naukowych RBS/c w ośrodkach zagranicznych, o czym wspomniano wyżej, dr Ratajczak zaliczyła liczne choć krótko-terminowe staże w Ion Beam Center, HZDR, Niemcy, obejmujące 2-3 wyjazdy rocznie w latach 2015-2023 na okres 1-2 tygodni przypadający na każdy wyjazd. Wyjazdy te pozwoliły także na wykonanie stosownych implantacji, badań PIXE/c oraz badań luminescencyjnych PL prowadzonych we współpracy z Department of Semiconductor Materials, HZDR. W latach 2013-2014 współpracowała z Katholieke Universiteit Leuven, Belgia, gdzie prowadziła badania materiałowe techniką RBS/c w okresie 2-krotnych, jednotygodniowych pobytów. W 2015 roku uczestniczyła w 3-dniowym eksperymencie synchrotronowym w Elettra Sincrotrone Trieste, Włochy, który zaowocował pomiarami struktury subtelnej rentgenowskiego widma absorpcyjnego (EXAFS i XANES). Dodatkowo, w 2015 roku odbyła 5-tyg. staż w Department of Semiconductor Materials, HZDR, dzięki któremu nauczyła się jak prowadzić badania strukturalne z użyciem spektrometrii Ramana. Wspomniane na pierwszej stronie zatrudnienie w Instytucie Fizyki PAN w Warszawie można potraktować jako staż krajowy.

Z powyższej analizy widać, że aktywność naukową oraz dorobek publikacyjny Pani dr Ratajczak można ocenić sumarycznie jako działalność w pełni zadowalającą.

Osiągnięcie habilitacyjne

Należy podkreślić, że cele badań stanowiące przedmiot niniejszej oceny w sposób adekwatny charakteryzuje sformułowany przez dr Ratajczak i przedstawiony na wstępie tytuł osiągnięcia naukowego („Opracowanie warunków optymalnego domieszkowania i wygrzewania oraz metod kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych”). Osiągnięcie to, na które składa się 9 trafnie wybranych publikacji A1-A9 oraz uzyskany patent P1 („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 ukoronowanie prowadzonych po doktoracie systematycznych badań Autorki. Wspólną podstawą tych publikacji jest wyjściowy materiał matrycy w postaci tlenku cyny ZnO, który podlegał modyfikacji strukturalnej przez domieszkowanie go w procesie implantacji jonami ziem rzadkich oraz ze względu na zastosowane procedury wygrzewania po implantacji. Jest rzeczą ważną, aby wspomnieć, że sama metoda implantacji pozwala na domieszkowania badanego materiału w koncentracjach znacznie przekraczających granice rozpuszczalności, skąd wynika jej szerokie zastosowanie w badaniach naukowych jak i w skali przemysłowej. Największą cytowalność uzyskała praca A3 z 21-krotną liczbą cytowań, ale pozostałe prace też były wielokrotnie cytowane, co oznacza ich dobrą rozpoznawalność w międzynarodowym obiegu naukowym. Z tematyką osiągnięcia habilitacyjnego jest ściśle związanych 14 dalszych publikacji oznaczonych jako B1-B14, które powstały w tym samym okresie co wybrane na poczet omawianego osiągnięcia to jest przedział czasowy między latami 2017-2023. Wszystkie objęte osiągnięciem habilitacyjnym publikacje są współautorskie; w pięciu z nich Pani dr Ratajczak jest pierwszym autorem, w trzech na drugim miejscu, a tylko raz występuje na miejscu trzecim, co wskazuje na jej wiodącą rolę zarówno w przygotowywaniu, jak i w prowadzeniu prac. Tę wiodącą rolę poświadczają też załączone i nie budzące wątpliwości oświadczenia współautorów. W referowanej recenzji nie zamierzam omawiać szczegółowo prac wchodzących w zakres osiągnięcia habilitacyjnego, ponieważ zostały one już poddane weryfikacji przez recenzentów czasopism, w których zostały opublikowane. Chcę jednak wyraźnie podkreślić, że prace te są spójne tematycznie, układają się w logiczną całość, a wykonane badania zostały bardzo dobrze zaplanowane i przemyślane, a ich realizacja opierała się na wykorzystaniu całej gamy nowoczesnych eksperymentalnych technik badawczych

wymienionych w poprzednim paragrafie, które przyczyniły się do głębszego zrozumienia właściwości strukturalnych, optycznych i elektrycznych badanych próbek. Warto zauważyć, że zaprezentowane w publikacjach A1-A9 mają walor aplikacyjny, bowiem badane materiały ZnO:RE mogą być wykorzystane do budowy bardzo wydajnych urządzeń optoelektronicznych, takich jak luminofory, wyświetlacze i/lub źródła światła, które mogą działać nawet w trudnych warunkach obserwowanych w przestrzeni kosmicznej, gdzie mamy do czynienia z silnymi wiązkami cząstek naładowanych - a jak stwierdzono - materiały te są szczególnie odporne na uszkodzenia radiacyjne.

Najistotniejsze osiągnięcia obejmują:

1. eksperymentalne potwierdzenie, że układach ZnO:RE właściwości optyczne i elektryczne są silnie skorelowane ze zmianami strukturalnymi [A1],
2. wykonanie kompleksowych badań kinetyki narastania defektów wraz ze wzrostem dawki jonów RE wprowadzanych do matrycy ZnO [A1, A2].
3. opracowanie optymalnych warunków implantacji/wygrzewania prowadzących do optymalizacji koncentracji domieszek RE, co przyczynia się do wytwarzania efektywnych źródeł światła na bazie systemów ZnO:RE [A1, A3-A4], gdyż wzrost tej koncentracji powoduje nie badane do tej pory dla ZnO:RE zjawisko zwane w literaturze jako *concentration quenching effect*, polegające na tym, że wraz z tym wzrostem zmniejsza się odległość między jonami ziem rzadkich powodując zwiększenie prawdopodobieństwa ich wzajemnej interakcji z utratą energii wzbudzenia na przejścia niepromieniste,
4. odkrycie białej emisji pochodzącej z systemów ZnO:Dy [A7],
5. odkrycie niezaobserwowanego wcześniej zjawiska odmiennej interakcji różnych jonów RE z matrycą ZnO zachodzącego po wygrzewaniu [A7]. Odkrycie to ma niewątpliwie wymiar praktyczny dla ewentualnych zastosowań, stwarzając możliwość sterowania barwą emitowanego światła z systemów ZnO:RE,
6. podjęcie próby identyfikacji powstałych defektów oraz zrozumienia mechanizmu ich powstawania i transformacji, w zależności od stosowanej dawki, jak i sposobu wygrzewania [A1-A9, B10-B14].
7. uzyskanie efektywnej luminescencji w oparciu o procedurę sekwencyjnej implantacji jonów RE [A8, P1].

Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Mimo, że macierzysta jednostka Pani dr Ratajczak nie ma charakteru stricte akademickiego to jednak może ona wykazać się dobrze udokumentowaną działalnością dydaktyczną i organizacyjną. W zakresie działalności dydaktyczno-popularyzatorskiej współorganizowała w Warszawie od 2002-2008 kolejne edycje Pikników i Festiwali naukowych oraz w latach 2003-2008 prowadziła lekcje muzealne w Muzeum Nauki i Techniki w Warszawie pt. „Ciekawa Fizyka”, kierowane do uczniów szkół podstawowych i licealnych. Sprawowała opiekę naukową nad studentami z Wydziału Fizyki i Chemii UW oraz z Wydziału Chemii Uniwersytetu Łódzkiego odbywającymi praktyki lub badania do prac licencjackich i magisterskich w NCBJ. W 2018 roku była członkiem Komitetu Organizacyjnego międzynarodowej konferencji „10th International Workshop On Zinc Oxide And Other Oxide Semiconductors” (IWZnO 2018), która odbywała się w Warszawie a jej głównym organizatorem był Instytut Fizyki PAN. Obecnie Pani dr Ratajczak jest promotorem pomocniczym w przygotowywanej pracy doktorskiej mgr Mahwish Sarwar studentki szkoły doktorskiej w Instytucie Fizyki PAN p.t.: „Materiały tlenkowe domieszkowane pierwiastkami ziem rzadkich” („Oxide Materials doped with Rare Earths”). Obrona tej pracy doktorskiej jest planowana na październik 2024 roku a jej elementem będzie wykonanie pomiarów RBS/c w zakresie których Pani dr Ratajczak jest niekwestionowaną ekspertką.

Podsumowanie

Biorąc pod uwagę całokształt działalności Pani dr Renaty Ratajczak oraz jej wartościowy dorobek naukowy objęty osiągnięciem habilitacyjnym, który opiera się na niezwykle aktualnej tematyce badawczej, znajdującej szeroki oddźwięk krajowy i zagraniczny oraz rokującej dalszy rozwój naukowy, uważam, że spełnia ona wszystkie wymagania stawiane kandydatom do uzyskania stopnia doktora habilitowanego, określone w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r i wnioskuję o dopuszczenie dr Renaty Ratajczak do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



Prof. dr hab. Kazimierz Łątka