



Wrocław 15 grudnia 2023 roku

Prof. dr hab. inż. Przemysław J. Dereń
Instytut Niskich Temperatur
i Badań Strukturalnych PAN
im. W. Trzebiatowskiego we Wrocławiu
ul. Okólna 2
50-422 Wrocław

**Ocena dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego
dr Renaty Katarzyny Ratajczak
adiunkta w Departamencie Fizyki Materiałów
w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku**

**w związku z jej wnioskiem z dnia 4 maja 2023 o przeprowadzenie
postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych
w dyscyplinie Nauki Fizyczne**

I. Dane biograficzne

Dr Renata Katarzyna Ratajczak ukończyła studia magisterskie w 1999 roku na Wydziale Fizyki, kierunku Fizyka Jądrowa Uniwersytetu Warszawskiego gdzie obroniła pracę: „Badania strukturalne warstw defektowych azotku galu metodami mikroanalizy jądrowej” której promotorami byli dr Lech Nowicki oraz prof. dr hab. Krystyna Siwek-Wilczyńska.

W 2011 roku uzyskała stopień Doktora Nauk Fizycznych w Instytucie Badań Jądrowych im. A. Sołtana, obecna nazwa: Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) gdzie obroniła rozprawę pt. „Analiza struktur defektowych w heterostrukturach wybranych związków półprzewodnikowych III-V”. Promotorem jej dysertacji był prof. dr hab. Andrzej Turoś a recenzentami prof. dr hab. A. Kozanecki, (IF PAN) oraz prof. dr hab. Jacek Jagielski (ITME).

II. Ocena osiągnięć naukowych dr Renaty Ratajczak

Jako osiągnięcie kandydatka przedstawia cykl publikacji wraz z patentem powiązanych tematycznie który zatytułowała „**Opracowanie warunków optymalnego domieszkowania i wygrzewania oraz metod kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych**”. Jest to zbiór dziewięciu prac indeksowanych jako An (gdzie n=1-9). Omówię je pokrótce poniżej.

- Praca A1

„*Correlations between the structural transformations and concentration quenching effect for RE-implanted ZnO systems*”, (2020) *Applied Surface Science*, 521, art. no. 146421, DOI: 10.1016/j.apsusc.2020.146421, autorzy: Renata Ratajczak, Cyprian Mieszczyński, Sławomir Prucnal, Tomasz A. Krajewski, Elżbieta Guzewicz, Wojciech Wozniak, Krzysztof Kopałko, Rene Heller, Shavkat Akhmadaliev.

W pracy tej szczegółowo zbadano wpływ rosnącego stężenia implantowanych pierwiastków Yb oraz Er do warstw epitaksjalnych ZnO wykonanych metodą osadzanie warstw atomowych na ich właściwości strukturalne, optyczne i elektryczne. Wyniki badań wskazują że wygaszanie stężeniowe luminescencji jest powiązane z progiem odkształcenia plastycznego a akumulacja defektów w warstwie ZnO jest wieloetapowym procesem prowadzącym do transformacji defektów strukturalnych. Wykazano, że bombardowanie jonami o niskiej fluencji (poniżej $2 \times 10^{14}/\text{cm}^2$) nie powoduje uszkodzeń w kierunku (0001). Wraz ze wzrostem fluencji jonów wzrastają naprężenia w kierunku c, powstają jony śródmiaższowe, małe skupiska punktów i pętle dyslokacji w kierunku innym niż (0001). Po osiągnięciu wartości krytycznej naprężenia następuje odkształcenie plastyczne na skutek poślizgu dyslokacyjnego, prowadzące do powstania dyslokacji, uskoków spiętrzonych, mozaiki krystalicznej oraz dużych skupisk defektów (próg takiego procesu wyznaczono dla fluencji jonów około $1,5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$). Wzrost stężenia (mniejsze odległości pomiędzy jonami domieszki) powoduje efekt tzw. wygaszania koncentracyjnego emisji. Jednakże, powyżej progu przemiany plastycznej intensywność fotoluminescencji domieszkowanych jonów ziemi rzadkiej ponownie wzrasta w funkcji przepływności fluencji z tendencją do

nasylenia. Można to wiązać z wytrącaniem i aglomeracją jonów ziem rzadkich w sieci ZnO, której towarzyszy tworzenie się różnych skupisk defektów. Dlatego też dla fluencji 1×10^{15} oraz $5 \times 10^{15}/\text{cm}^2$ uzyskano podobną skuteczność emisji.

- Praca A2

„RBS/C, XRR, and XRD Studies of Damage Buildup in Er-Implanted ZnO”, (2019) Physica Status Solidi (B) Basic Research, 256 (5), art. no. 1800364, DOI: 10.1002/pssb.201800364, autorami jej są Przemysław Jozwik, Sergio Magalhaes, Renata Ratajczak, Cyprian Mieszczynski, Miguel Sequeira, Andrzej Turos, Roman Böttger, Rene Heller, Katharina Lorenz, and Eduardo Alves.

W pracy tej podjęto studia nad narastaniem uszkodzeń w ZnO implantowanym jonami Er³⁺. Wykazano, że wzrost uszkodzeń rozwija się w trzech etapach. Odształcenie podobne do sprężystego wzdłuż osi c pojawia się dla niskiej fluencji a powyżej wartości krytycznej odształcenie plastyczne występuje w obszarze najbardziej zniekształconym. Autorzy wykazali, że po bombardowaniu jonami erbu, siłą napędową transformacji defektów w warstwie ZnO są naprężenia sieciowe wytwarzane przez przemieszczone jony. Wzrost naprężenia prowadzi do ekspansji parametru c-sieci a kumulacja naprężeń staje się przyczyną powstawania trwalszych i korzystniejszych energetycznie defektów rozciągniętych takich jak pętle dyslokacyjne i sploty dyslokacyjne. W ostatnim z etapów przy wzroście fluencji jonów Er powstają wady ułożenia lub granice ziaren. Porównano wyniki dla Er z danymi eksperymentalnymi przy bombardowaniu Ar. Jak można było się spodziewać ze względu na to iż Er jest znacznie cięższy niż Ar, energia jest przekazywana do jonów docelowych skuteczniej przez co jony Er zlokalizowane są znacznie bliżej powierzchni niż w przypadku bombardowania jonami Ar. Do analizy wyników posłużono się metodą symulacji Monte Carlo przeprowadzonej przy użyciu kodu McChasy'ego, w której przeprowadzono symulacje komputerowe profili XRD z wykorzystaniem kodu MROX (ang. Multiple Reflection Optimization package for X-ray diffraction).

- Praca A3

„The photoluminescence response to structural changes of Yb implanted ZnO crystals subjected to non-equilibrium processing”, (2017) Journal of Applied Physics, 121 (7), art. no.

075101, DOI: 10.1063/1.4976207, autorzy: R. Ratajczak, S. Prucnal, E. Guzewicz, C. Mieszczynski, D. Snigurenko, M. Stachowicz, W. Skorupa, A. Turos.

W pracy **A3** wyniki badań właściwości optycznych i strukturalnych pojedynczych kryształów ZnO wyhodowanych hydrotermalnie (0001) implantowanych Yb przy fluencji 5×10^{14} oraz 1×10^{15} at/cm². Autorzy wykazali, że kryształy ZnO można skutecznie rekrytalizować poprzez wyżarzanie w wysokiej temperaturze. Badano jak szybkie wyżarzanie termiczne (RTA – ang. Rapid Thermal Annealing) i wyżarzanie lampą błyskową w zakresie milisekundowym (FLA – Flash Lamp Annealing) wpływa na rekrytalizację. Jednak tylko FLA przez 20 ms prowadzi do odzyskania sieci krystalicznej ZnO z jonami Yb zajmującymi pozycje podstawieniowe w podsieci Zn, chociaż wykazano, że niezależnie od zastosowanej techniki wyżarzania, można w jakiejś części usunąć defekty powstałe w ZnO podczas implantacji jonów. Do oceny stopnia regeneracji uszkodzeń i lokalizacji jonów Yb w sieci zastosowano spektroskopię rozproszenia wstecznego Rutherforda (RBS -ang. Rutherford Backscattering Spectrometry). Jak wykazało RBS, jony Yb podstawione w podsieci Zn znajdują się przeważnie na stopniu utlenienia 2+.

- Praca **A4**

„Enhanced luminescence of Yb³⁺ ions implanted to ZnO through the selection of optimal implantation and annealing conditions”, (2023) Materials , 16(5), art. no. 1756;DOI: 10.3390/ma16051756, której autorzy to: Renata Ratajczak, Elżbieta Guzewicz, Sławomir Prucnal, Cyprian Mieszczynski, Przemysław Józwiak, Marek Barlak, Svitlana Romaniuk, Sylwia Gieraltowska, Wojciech Wozniak, René Heller, Ulrich Kentsch and Stefan Facsko.

Autorzy zbadali wpływ warunków implantacji i późniejszego wyżarzania na morfologię powierzchni, defekty w sieci ZnO i lokalizację ziemi rzadkiej (do eksperymentu użyto Yb), a także na odpowiedź intensywność emisji Yb³⁺. Badano i głębokie i płytkie implantacje, wykonywane w temperaturze wysokiej i pokojowej, a także szeregu procesów wyżarzania poimplantacyjnego. Określono, że dla fluencji Yb poniżej krawędzi odkształcenia plastycznego kryształów ZnO (to jest poniżej $1,5 \times 10^{15}$ /cm²) uzyskano najlepsze próbki do zastosowań optycznych. Ważnym wynikiem jest stwierdzenie, że bezpośrednio po implantacji większość jonów Yb jest optycznie nieaktywna; dlatego konieczne jest wyżarzanie. W pracy przetestowano wyżarzanie termiczne FLA, PPA (ang. Plasma Pulse

Annealing) i RTA próbek implantowanych w temp pokojowej w atmosferach O₂, N₂ i Ar. Największą skuteczność luminescencji Yb³⁺ uzyskano po 10 min wyżarzania RTA przeprowadzonego w temperaturze 800 °C w tlenie. Porównanie odpowiedzi optycznej tej próbki z układem ZnO:Yb implantowanym w temperaturze 600 °C o tej samej fluencji i energii wskazuje na ponad czterokrotnie wyższą wydajność luminescencji poprzedniego układu. Emisję światła z tak przygotowanego układu ZnO:Yb można zaobserwować gołym okiem.

- Praca A5

„Atomic layer deposited ZnO films implanted with Yb: The influence of Yb location on optical and electrical properties”, (2017) Thin Solid Films, 643, pp. 7-15, DOI: 10.1016/j.tsf.2017.08.014, autorzy: E. Guziewicz, R. Ratajczak, M. Stachowicz, D. Snigurenko, T.A. Krajewski, C. Mieszczyński, K. Mazur, B.S. Witkowski, P. Dłużewski, K. Morawiec, A. Turos.

W pracy tej przedstawiono wyniki badań cienkich warstw ZnO wytworzonych metodą osadzania warstwy atomowej na podłożu GaN/Al₂O₃ z implantowanymi jonami iterbu. Jako techniki pomiarowe wykorzystano dwie metody: kanałową spektrometrię rozpraszania wstecznego Rutherforda (RBS/c) i pomiary efektu Halla. Do implantacji zastosowano trzy fluencje 5×10¹⁴, 1×10¹⁵ oraz 5×10¹⁵ at./cm². Widma RBS/c próbek po implantacji lecz przed wyżarzaniem pokazują, że frakcja jonów Yb zajmujących pozycje sieci podstawieniowej Zn wynosi odpowiednio 72%, 54% i 22%. Wykazano także, że proces wyżarzania w 800 °C prowadzi do optycznej aktywacji jonów Yb³⁺ i znacząco zwiększa obserwowaną wcześniej emisję w bliskiej podczerwieni. Wyniki uzyskane z pomiarów Halla wskazują, że bezpośrednio po implantacji jony Yb znajdują się głównie w stanie 2+ i w wyniku wyżarzania przechodzą do optycznie aktywnego stanu 3+. Wyżarzanie w temperaturze 800 °C cienkiej warstwy ZnO:Yb prowadzi do odbudowy sieci krystalicznej ZnO oraz do dyfuzji Yb z pozycji podstawieniowych Zn do pozycji międzywęzłowych, gdzie jony Yb znajdują się w optycznie aktywnym stanie 3+ podczas gdy są w miejscach Zn to występują na drugim stopniu utlenienia. Wskazano także, że proces wyżarzania nie może być zbyt długi, gdyż dwukrotne wyżarzanie w 800 °C podczas 30 min prowadziło do dyfuzji jonów Yb na powierzchnię.

- Praca A6

„Electrical properties of ZnO films implanted with rare earth and their relationship with structural and optical parameters”, (2022) Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology, 275, art. no. 115526, DOI: 10.1016/j.mseb.2021.115526, autorzy: Tomasz A. Krajewski, Renata Ratajczak, Serhiy Kobayakov, Wojciech Woźniak, Krzysztof Kopałko, Elżbieta Guzewicz.

W pracy A6 przedstawiono zmiany strukturalne, optyczne i elektryczne wywołane przez jony Yb, Dy i Pr implantowane do cienkich warstw ZnO hodowanych metodą osadzania warstwy atomowej na dostępnych w handlu podłożach GaN(0001)/Al₂O₃ oraz Si(100). Technika pomiarowa znana jako kanałowa spektrometria rozpraszania wstecznego Rutherforda (RBS/c), oraz pomiary fotoluminescencji w temperaturze pokojowej jak również pomiary efektu Halla pozwoliły wykazać, że uszkodzenia sieci krystalicznej ZnO zaobserwowane zaraz po implantacji wspomnianych powyżej jonów ziem rzadkich (RE) mogą w znacznym stopniu zostać usunięte poprzez obróbkę termiczną, pod warunkiem, że fluencja atomów była mniejsza niż $1,5 \times 10^{15}$ at./cm². W pracy porównano właściwości optyczne, strukturalne i elektryczne wyżarzonych warstw ALD-ZnO:RE z wynikami przeprowadzonych analogicznych badań na nieobrobionych termicznie cienkich warstwach ZnO implantowanych w/w ziemiemi rzadkimi. Wyniki pozwalają stwierdzić, że odpowiednio dobrane etapy wyżarzania pozwalają na znaczną poprawę przewodności warstw, a także intensywności luminescencji, co wynika z rekrytalizacji sieci ZnO. Jednakże polikrystaliczne cienkie warstwy ZnO:Pr/Si należy wyżarzać w znacznie niższych temperaturach niż ZnO:Pr/GaN, aby osiągnąć optymalną rekonstrukcję sieci ZnO, co prawdopodobnie wiąże się z tworzeniem się klastrów metalicznych.

- Praca A7

„Luminescence in the Visible Region from Annealed Thin ALD-ZnO Films Implanted with Different Rare Earth Ions”, (2018) Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science, 215 (16), art. no. 1700889, DOI: 10.1002/pssa.201700889, autorzy: Renata Ratajczak, Elżbieta Guzewicz, Sławomir Prucnal, Grzegorz Łuka, Roman Böttger, Rene Heller, Cyprian Mieszczczyński, Wojciech Woźniak, and Andrzej Turos.

Do badań przygotowano epitaksjalne cienkie warstwy ZnO wyhodowane poprzez osadzanie warstwy atomowej na podłożach GaN/Al₂O₃ a następnie implantowane jonami

ziem rzadkich (ang. RE): Yb, Dy i Pr przy fluencji 5×10^{14} at/cm². Tak przygotowane próbki wyżarzano w temperaturze 800 °C przy użyciu systemu szybkiego wyżarzania termicznego (ang. RTA). Zastosowano następujące techniki pomiarowe: kanałowe rozpraszanie wsteczne Rutherforda (ang. RBS/c) i spektroskopię fotoluminescencyjną. Wykazano, że RTA prowadzi do częściowego usunięcia defektów poimplantacyjnych z jednoczesną transformacją defektów natywnych i aktywacją optyczną jonów RE. Stwierdzono, że dwie grupy defektów: defekty powstałe w procesie implantacji oraz defekty natywne, odgrywają ważną rolę w luminescencji w obszarze widzialnym. Widma fotoluminescencji zmierzone w temperaturze pokojowej z wyżarzonych folii ZnO: RE nie wykazują ostrych linii luminescencyjnych z przejść elektronów 4f jonów ziemi rzadkiej, ale wykazują emisję o energii zbliżonej do energii pasma wzbronionego oraz emisję związaną z defektami związanymi z obecnością jonów ziemi rzadkiej. Autorzy sugerują obecność kompleksów jonów ziem rzadkich powstających podczas wyżarzania w wysokiej temperaturze w atmosferze tlenu. Obserwuje się zatem emisję ekscytonową i defektową modyfikowaną obecnością jonów RE dającą specyficzny kolor światła.

- Praca A8

„ Ion Beam Modification of ZnO Epilayers: Sequential Processing, (2018) Physica Status Solidi (A) Applications and Materials Science, 215 (16), art. no. 1700887, DOI: 10.1002/pssa.201700887, autorzy: Andrzej Turos, Renata Ratajczak, Cyprian Mieszczyński, Przemysław Józwik, Anna Stonert, Sławomir Prucnal, Rene Heller, Wolfgang Skorupa, Johannes von Borany, and Elzbieta Guziewicz.

Autorzy w tej pracy pokazują nową metodę uzyskania znacznie wyższego, niż w dotychczas stosowanych metodach, stężenia domieszek jonów ziem rzadkich (RE) implantowanych w cienkich warstwach ZnO bez powodowania nadmiernych uszkodzeń. Implantacja jonów jonami wytwarza naprężenia sieciowe, ostatecznie powodując odkształcenie plastyczne przy wystarczająco wysokiej fluencji. Powstają splątania dyslokacyjne, którego z trudem można całkowicie usunąć poprzez wyżarzanie termiczne. Autorzy zaproponowali nową metodę obróbki sekwencyjnej polegającą na implantacji jonów o niskiej fluencji i następującym po nich wyżarzaniu. Procedurę należy następnie powtarzać aż do osiągnięcia wymaganego stężenia domieszki. Jak okazuje się metoda

pozwala osiągnąć warstwy z wysokim stężeniem domieszki bez powodowania nadmiernych uszkodzeń. Do badań przygotowano próbki ZnO wyhodowane metodą osadzania warstw atomowych (ALD), następnie implantowano je jonami Yb a następnie wyżarzano. Jakość warstw tak uzyskanych analizowano za pomocą rozpraszania wstecznego Rutherforda (RBS/c) oraz pomiarów ich fotoluminescencji. Określono korelację pomiędzy transformacjami defektów a wydajnością fotoluminescencji. Potwierdzono większą aktywację optyczną jonów Yb podczas takiego sekwencyjnego przygotowania próbki w porównaniu z próbkami wyhodowanymi ze standardowym jednoetapowym wyżarzaniem.

- Praca A9

„Structural and optical studies of Pr implanted ZnO films subjected to a long-time or ultra-fast thermal annealing”, (2017) Thin Solid Films, 643, pp. 24-30, DOI: 10.1016/j.tsf.2017.08.001, autorzy R. Ratajczak, C. Mieszczyński, S. Prucnal, E. Guziewicz, M. Stachowicz, D. Snigurenko, J. Gaca, M. Wójcik, R. Böttger, R. Heller, W. Skorupa, J.V. Borany, A. Turos.

Do badań przygotowano epitaksjalne warstwy ZnO wyhodowane metodą APL implantowane jonami Pr przy napięciu 150 keV i o fluencji 1×10^{15} at/cm². Próbki poddano dwóm różnym rodzajom wyżarzania: szybkiemu wyżarzaniu termicznemu (RTA) i wyżarzaniu lampą błyskową w zakresie milisekundowym (FLA). Właściwości strukturalne implantowanego i wyżarzonego ZnO oraz odpowiedź optyczną oceniano odpowiednio za pomocą spektrometrii rozproszenia wstecznego Rutherford (RBS/c), dyfrakcji promieni rentgenowskich o wysokiej rozdzielczości a także widm fotoluminescencji (FL). Wyniki wykazały, że obie techniki wyżarzania prowadzą do rekrytalizacji sieci ZnO, która uległa uszkodzeniu podczas implantacji jonów Pr. Po RTA przeprowadzonym w temperaturze 800 °C zaobserwowano rekonstrukcję sieci tj. powrót jonów Zn z miejsc śródmiaższowych do ich regularnych pozycji w sieci ZnO, której towarzyszyło wyrzucenie jonów Pr z pozycji podstawieniowej do pozycji śródmiaższowej. W konsekwencji prowadzi to do dyfuzji i wytrącania jonów Pr na powierzchni. Natomiast podczas wyżarzania FLA w zakresie milisekund dyfuzja implantowanego Pr nie zachodzi. Zaobserwowano, że jedynie milisekundowa obróbka FLA prowadzi do naprawy sieci ZnO bez jakiegokolwiek powierzchniowej segregacji jonów Pr. Ponadto po FLA większość jonów Pr zajmuje pozycje

podstawieniowe w podsieci Zn. Pomimo różnic w lokalizacji Pr wewnątrz sieci ZnO po FLA oraz RTA, można wnioskować, że obie techniki wyżarzania prowadzą do optycznej aktywacji Pr^{3+} . Badanie RBS/c dla warstw po implantacji ujawniło również uszkodzenia, które można przypisać Zn położonym międzywęzłowo. Długotrwałe wyżarzanie w temperaturze 800 °C w atmosferze tlenu powoduje całkowite usunięcie tego defektu..

Prace zestawione przez dr Renatę Ratajczak mają charakter eksperymentalny i zostały poświęcone badaniom tylko jednej struktury ZnO. Tlenek cynku wzbudza ogromne zainteresowanie badaczy. Wystarczy wspomnieć, że w bazie Scopus znaleźć można ponad 154 tysięcy zarejestrowanych prac o tym materiale, zarówno z dziedziny inżynierii materiałowej, chemii czy fizyki.

Półprzewodnik ZnO o szerokiej przerwie energetycznej może znaleźć zastosowanie do konstrukcji diod elektroluminescencyjnych, jako katalizator, luminofor itp. Należy zwrócić uwagę na możliwość jego zastosowań biologicznych ze względu na biokompatybilność ZnO oraz znane od dawna jego właściwości bakteriobójcze.

We wspomnianej ogromnej liczbie prac naukowych znajduje się bardzo szeroki rozdział dotyczący właściwości optycznych ZnO domieszkowanego jonami lantanowców w których syntezę wykonano różnymi metodami od tzw. mokrej chemii np., metodą zol-żelową do tradycyjnej metody wysokotemperaturowego wygrzewania w fazie stałej. Autorka badała natomiast głównie cienkie warstwy wytworzone metodą osadzania atomowego które następnie były implantowane jonami ziem rzadkich takimi jak Pr^{3+} , Eu^{3+} , Tb^{3+} , Dy^{3+} , Er^{3+} oraz Yb^{3+} . Badane również były przez nią pojedyncze kryształy ZnO implantowanych jonami Yb^{3+} wyhodowane hydrotermalnie (0001).

Łatwo można sobie wyobrazić, że taka metoda domieszkowania (bombardowanie jonami) może prowadzić do generacji defektów w materiale. W dodatku jony lantanowców są znacznie większe od jonów Zn, a po trzecie różnią się wartościowością od jonów domieszki.

Celem badań habilitantki była detekcją powstających defektów przy implantacji, określenie ich charakteru a następnie opracowanie metod naprawy struktury prowadzące do poprawy

intensywności emisji, stosując różne metody procesy wygrzewania w zakresie różnych temperatur i wygrzewając w różnych atmosferach.

Do najważniejszych osiągnięć dr Ratajczak zaliczam:

- Analizę natury defektów ZnO spowodowanych implantacją jonów lantanowców. Autorka wyspecjalizowała się technice RBS/c, która pozwoliła jej na dogłębne zrozumienie mechanizmów powstawania i lokowania się defektów a także na ocenę ich zmiany po wygrzewaniu.
- Wyznaczenie optymalnej koncentracji domieszki jonów lantanowców która jest determinowana ich implantacją.
- Opracowanie metod regeneracji struktury ZnO oraz aktywacji optycznej jonów domieszki. Znaczna część jonów lantanowców bezpośrednio po implantacji jest nieaktywna optycznie.
- Opracowanie techniki domieszkowania powyżej dopuszczalnej, ze względu na ilość tworzonych defektów, koncentracji jonów domieszki.

W aż pięciu pracach przedstawionych powyżej dr Ratajczak jest pierwszym autorem. Deklarowany jej wkład w ich powstanie jest dominujący, była autorką planu badań w tym syntezy, implantacji a także wygrzewania. Podkreślam również jej dominujący wkład w charakterystyce próbek za pomocą technik RBS/cm PIXE/c oraz PL (fotoluminescencji). Analiza i interpretacja wyników była również autorstwa dr Ratajczak. Do autoreferatu dołączono odpowiednie oświadczenia współautorów potwierdzających te stwierdzenia.

Dr Ratajczak w swoich pracach przedstawia ważne wyniki nie tylko jako wyniki badań podstawowych ale mające cechy ściśle aplikacyjne które pozwolą na wykonanie cienkich warstw ZnO domieszkowanych jonami lantanowców mogących znaleźć zastosowanie jako nowe źródła światła. **Dlatego uważam, że cykl prac dr Renaty Katarzyny Ratajczak zatytułowany: „Opracowanie warunków optymalnego domieszkowania i wygrzewania oraz metod kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych” jest znacznym wkładem habilitantki w rozwój dziedziny nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie Nauki Fizyczne.**

III. Ocena pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych dr Renaty Katarzyny Ratajczak

Dr Ratajczak opublikowała w sumie 76 prac a jej indeks h jest równy 13 (po uwzględnieniu autocytowań) co jest wynikiem bardzo dobrym. Po doktoracie opublikowała 36 prac z których najwyżej cytowaną (46 razy) jest praca: „Ni-Based Ohmic Contacts to n-Type 4H-SiC: The Formation Mechanism and Thermal Stability”, A. V. Kuchuk, P. Borowicz, M. Wzorek, M. Borysiewicz, R. Ratajczak, K. Golaszewska, E. Kaminska, V. Kladko, and A. Piotrowska, *Advances in Condensed Matter Physics*, 2016, 2016, 9273702. Jej artykuły są opublikowane w renomowanych międzynarodowych czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej i jak widać z bazy danych Scopus tematyka badań to nie tylko implantacja ZnO ale również badanie heterostruktur AlGaIn, symulacja Monte Carlo wyników implantowania jonów, czy implantowanie GaP jonami Ti. Zatem spektrum jej badań nie ogranicza się do jednego wąskiego zagadnienia, lecz obejmuje szerszy zakres który przypisać można nie tylko do nauk fizycznych ale również badań z zakresu nauki o materiałach.

Kandydata brała udział w dziewięciu grantach w tej liczbie w sześciu była ich kierownikiem. Trzeba podkreślić, że to dzięki zaangażowaniu Badaczki udało się jej zdobyć fundusze na granty oraz dostęp do akceleratorów zagranicznych w ramach programów europejskich SPIRIT oraz RADIATE a tym samym sfinalizować badania i dopiąć postawionych przed sobą celów.

Jej aktywność naukowa i uzyskane wyniki zostały dostrzeżone przez szacowne gremium rady Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) i w konsekwencji Dr R.K. Ratajczak została dwukrotnie wyróżniona przez Radę Naukową NCBJ tj. w 2011 roku za wartość jej badań naukowych w ramach jej doktoratu oraz za osiągnięcia badawcze w roku 2022.

IV. Ocena w zakresie dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego dr Renaty Katarzyny Ratajczak.

Pomimo tego, że w NCBJ nie prowadzi się regularnego kształcenia studentów to dr Renata Ratajczak znalazła czas na prowadzenie praktyk studenckich w okresie wakacyjnym dla studentów z wydziałów chemii i fizyki. Była opiekunem naukowym i promotorem pracy licencjackiej Karola Pijanowskiego, studenta Wydziału Fizyki Technicznej, Politechniki Łódzkiej,

który pod jej kierunkiem przygotowywał prace pt. „Przemiany strukturalne w ZnO implantowanym jonami ziem rzadkich”. Obecnie jest promotorem pomocniczym doktorantki mgr. Mahwish Sarwar studentki szkoły doktorskiej Instytutu Fizyki PAN pt. "Materiały tlenkowe domieszkowane pierwiastkami ziem rzadkich" (ang. „Oxide Materials doped with Rare Earths”), która planuje złożyć swoją dysertację w październiku 2024 roku.

Jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora tj. w latach 2001-2006 dr Ratajczak wraz z dr L. Nowickim współorganizowała warszawskie edycje Pikników oraz Festiwali Naukowych. A w latach 2003-2008 prowadziła lekcje muzealne w Muzeum Nauki i Techniki w Warszawie pt. „Ciekawa Fizyka”, które były przeznaczone dla uczniów szkół od podstawowych do licealnych.

V. Ocena współpracy krajowej i międzynarodowej dr Renaty Katarzyny Ratajczak.

Dr Renata Ratajczak współpracuje w Polsce z zespołem naukowym profesor Elżbiety Guziewicz z Instytutu Fizyki PAN a także z zespołem profesora Andrzeja Turosa z Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych). Ta ścisła współpraca zaowocowała szeregiem wspólnych publikacji wliczając również publikacje przedstawione jako osiągnięcie habilitacyjne. Natomiast współpraca z wydziałem Chemii Uniwersytetu Warszawskiego zaowocowała powstaniem dwóch wspólnych publikacji. Habilitantka wskazuje również na współpracę z Instytutem Mikroelektroniki i Fotoniki należącym do sieci Łukasiewicz oraz Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.

Lista instytucji zagranicznych z którymi Dr Renaty Ratajczak współpracuje jest również bardzo bogata. Znajduje się na niej Hemholz-Zentrum Dresden Rossendorf w Niemczech oraz Instituto Superior Técnico, Uniwersytetu w Lizbonie w Portugalii. Są to dwie palcówki badawcze z którymi habilitantka opublikowała w sumie siedem prac z listy prac habilitacyjnych a także z którymi wykonała cztery wspólne projekty będąc ich kierownikiem lub nimi współkierowała.

Inne tematy badawcze Dr Ratajczak realizowała dzięki współpracy z Université Paris-Saclay - Campus d'Orsay we Francji oraz z Katholieke Universiteit Leuven w Belgii. Obie te współpracy zostały dobrze udokumentowane wspólnymi publikacjami.

VI. Podsumowanie

Dr Renata Ratajczak jest bez wątpienia samodzielnym pracownicą naukową, która potrafiła zaplanować a następnie zdobyć środki na swoje badania. Pokazała, że potrafi nawiązywać współpracę z innymi ośrodkami naukowymi aby osiągnąć swoje cele badawcze. Wyniki badań publikuje w renomowanych czasopismach i jej prace są czytane, świadczy o tym liczba cytowań (według bazy Scopus to 812 cytowań po wykluczeniu autocytowań). Obserwuję także wyraźnie wzrost liczby cytowań jej prac w ostatnich latach.

Na podstawie dotychczasowych osiągnięć można uważać, że Dr Renata Ratajczak będzie dalej rozwijać swoje badania, sięgając w nowe obszary badawcze. Wierzę, również, że bardziej rozwinie swoją działalność organizacyjną włączając się bardziej w przyszłości w organizację konferencji naukowych i będzie częściej zapraszana do wygłoszenia wykładów czy wystąpień plenarnych. Liczę również na jej aktywny udział w komitetach redakcyjnych międzynarodowych konferencji, na prace w zespołach eksperckich czy w recenzowaniu międzynarodowych i krajowych projektów.

Podsumowując stwierdzam że wniosek dr Renaty Katarzyny Ratajczak jest kompletny oraz odpowiada wymogom stawianym w art. 219 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku **Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce** Dz.U. 30 sierpnia 2018 roku poz. 1668 w postępowaniu o nadanie tytułu doktora habilitowanego. W związku z powyższym udzielam swojego poparcia dla wniosku dr Renaty Katarzyny Ratajczak i wnioskuję o jego dalsze procedowanie zmierzającego do nadania jej stopnia doktora habilitowanego.



