

Recenzja w sprawie postępowania habilitacyjnego dr Renaty Ratajczak w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Przedstawiona przez mnie recenzja osiągnięcia naukowego wraz z oceną aktywności naukowej dr Renaty Ratajczak oparta jest o następujące dokumenty, przygotowane przez Habilitantkę:

- kopia dokumentu potwierdzającego uzyskanie stopnia doktora,
- dane dr Renaty Ratajczak,
- autoreferat,
- wykaz osiągnięć naukowych, stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny nauki fizyczne,
- oświadczenia współautorów,
- kopie publikacji stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego.

Stwierdzam, że dokumenty te spełniają wymogi formalne zgodnie z Art. 219 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw 2018 poz. 1668), ze zmianami (Dziennik Ustaw 2023 poz. 212).

1. Informacje ogólne

Dr Renata Ratajczak jest absolwentką Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie w r. 1997 uzyskała dyplom Licencjata Fizyki w Nauczycielskim Kolegium Fizyki a następnie w r. 1999 na Wydziale Fizyki obroniła pracę magisterską zatytułowaną „Badania strukturalne warstw defektowych azotku galu metodami mikroanalizy jądrowej”. W r. 2011 uzyskała stopień Doktora Nauk Fizycznych za pracę doktorską zatytułowaną „Analiza struktur defektowych w heterostrukturach wybranych związków półprzewodnikowych III-V” w Instytucie Badań Jądrowych im. A. Sołtana (obecnie narodowym Centrum Badań Jądrowych, NCBJ). Promotorem tej pracy był prof. dr hab. Andrzej Turos, który jest światowym specjalistą w dziedzinie badań półprzewodników metodą implantacji jonów (Rutherford Back Scattering - RBS oraz Nuclear Reaction Analysis - NRA). Prof. Turos jest autorem opracowania metod analizy widm kanałowania jonów (RBS/C) metodą symulacji komputerowych wykorzystujących metodę Monte Carlo (McChasy). Działalność naukowa dr Ratajczak od chwili gdy prof. Turos został promotorem w postępowaniu doktorskim do chwili obecnej oparta na współpracy z prof. Turosem i jego zespołem (por. prezentację [www.ncbj.gov.pl › sites › default › files › mcchasy](http://www.ncbj.gov.pl/sites/default/files/mcchasy)) skupia się głównie na badaniu wpływu implantacji jonów na właściwości półprzewodników i struktur półprzewodnikowych. Zatem osiągnięcia dr Ratajczak niewątpliwie są rezultatem wieloletniej, owocnej współpracy z prof. Turosem. Dr Ratajczak od roku 2000 do chwili obecnej jest zatrudniona w NCBJ, gdzie zajmowała kolejno stanowisko Fizyka (w latach 2000-2006), Specjalisty badawczo-technicznego (w latach 2006-2011) a od roku 2011 jest zatrudniona na etacie adiunkta. Ponadto w latach 2015-2016 była zatrudniona na stanowisku Fizyka w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk (IF PAN) w Oddziale Fizyki i Technologii Półprzewodników Szerokoprzerwowych.

2. Ocena cyklu powiązanych tematycznie artykułów naukowych.

Dr Ratajczak jako osiągnięcie naukowo-badawcze, które stanowi podstawę starania się o stopień doktora habilitowanego przedłożyła cykl 9 wieloautorskich artykułów naukowych (A1-A9) zatytułowany „Opracowanie warunków optymalnego domieszkania i wygrzewania oraz

metod kompleksowej analizy tlenku cynku implantowanego jonami metali ziem rzadkich na poczet przyszłych zastosowań w urządzeniach optoelektronicznych” oraz patentu, zatytułowanego „Sposób domieszkowania tlenku cynku (ZnO) jonami pierwiastków ziem rzadkich”. Artykuły zostały opublikowane w latach 2017-2023 a patent został przyznany w r. 2019, a zatem w okresie po uzyskaniu stopnia doktora w r. 2011. Wszystkie wymienione wyżej artykuły zostały opublikowane w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej: po jednej publikacji w Applied Surface Science (A1), Journal of Applied Physics (A3), Materials (A4), Materials Science and Engineering B (A6) i Physica Status Solidi (B) (A2), po dwie publikacje w Physica Status Solidi (A) (A7,A8), oraz Thin Solid Films (A5, A9). Impact factor tych publikacji zawiera się w granicach 1,45-6,7, co świadczy o wysokim poziomie prac. Dr Ratajczak deklaruje swój udział w powstaniu tych prac na poziomie 25%-70%. Minusem przedstawionego cyklu jest fakt, że wszystkie prace są wieloautorskie (od 6-13 współautorów) ale w pięciu z nich dr Ratajczak jest pierwszą współautorką, w trzech i w przypadku patentu – drugą współautorką a w jednej – trzecią. Należy domniemywać, że dr Ratajczak odgrywała jednak dominującą rolę w powstaniu tych publikacji, jeśli w każdym przypadku deklaruje, że jej wkład w powstanie tych prac polegał „na opracowaniu koncepcji oraz autorskiego scenariusza badań bowiem kierowała bądź współkierowała projektami badawczymi, w ramach których badania będące tematem tych prac zostały przeprowadzone” (zał. Nr 3, Omówienie wkładu w poszczególne artykuły wchodzące w skład osiągnięcia). Ta deklaracja została potwierdzona poprzez większość współautorów (zał. Nr 5). Należy jednak zauważyć, że w zał. Nr 5 brakuje niektórych podpisów a dotyczy to autorów zagranicznych.

Poniżej odniosę się do opisu osiągnięć zawartego w zał. Nr 3, pp. IV. Należy zwrócić uwagę, że dr Ratajczak redagując Autoreferat nie zadbała o poprawność językową (w wersji polskiej). Pojawia się bardzo dużo błędów językowych (głównie literówki) ale jest też jeden merytoryczny: autorka odwołuje się wielokrotnie do publikacji C22, podczas gdy w rzeczywistości chodzi zapewne o publikację C23. Jak deklaruje dr Ratajczak, publikacja ta ma kluczowe znaczenie, ponieważ publikacje A1-A9 stanowią kontynuację i rozszerzenie badań, które są w niej opisane. W Autoreferacie autorka zwraca uwagę, że celem badań miało być m.in. sprawdzenie jak efekt implantacji jonów ziem rzadkich (RE) w ZnO zależy od rodzaju materiału wyjściowego. W pracach A2, A3 oraz w pracy C23 badano krysztaly objętościowe ZnO podczas gdy pozostałe badania odnoszą się do warstw epitaksjalnych ZnO otrzymanych techniką ALD. Te ostatnie zostały wyhodowane dzięki współpracy z zespołem prof. Elżbiety Guziewicz z IF PAN. Zatem można było spróbować odpowiedzieć na pytanie, czy rodzaj materiału wyjściowego wpływa na efekt działania implantacji jonami RE. Niestety nie znalazłam w żadnej z publikacji A1-A9 komentarza/odpowiedzi na to pytanie.

W pracach A1-A9 najobszerniej opisany jest wpływ implantacji ZnO jonami Yb. Wyniki dotyczące tych jonów zawarte są we wszystkich ww. pracach poza A2, gdzie badany był wpływ implantacji jonami Er oraz A9 – w tym przypadku analizowano efekt implantacji jonami Pr. W pracach A6 i A7 badano ZnO implantowane poza Yb jonami Dy i Pr.

Z kolei zgodnie ze stwierdzeniem dr Ratajczak w prezentowanych pracach wskazanych jako osiągnięcie naukowe przeprowadzono szczegółową analizę m.in. odnośnie wpływu na zdefektowaną strukturę ZnO rodzaju implantowanych jonów (Yb, Er, Pr, Dy), wielkości dawki i energii implantowanych jonów oraz – najobszerniej - sposobu wygrzewania po implantacji (szybkie, wolne, w różnych temperaturach i w różnej atmosferze). Ze względu na potencjalne zastosowanie ZnO domieszkowanego jonami RE w optoelektronice, szczególnie dużo uwagi poświęcono optymalizacji procesu wygrzewania aby osiągnąć aktywację optyczną domieszek RE. Badania były prowadzone głównie metodą RBS/C, w których dr Ratajczak wyspecjalizowała się w przeciągu kilkunastu lat współpracy z grupą prof. Turosa. Ponadto w większości prac prezentowane są również wyniki pomiarów fotoluminescencji (PL). Pomiaru RBS/C były wykonywane we współpracy z naukowcami z Ion Beam Center Helmholtz-

Zentrum Dresden-Rossendorf (IBC HZDR) w Niemczech zaś pomiary PL we współpracy z zespołem Department of Semiconductor Materials HZDR. Pomiary elektryczne były prowadzone we współpracy z grupą prof. E. Guziewicz z IF PAN w Warszawie. Interpretacja wyników RBS/C została oparta o symulacje przy użyciu wspomnianego wcześniej programu McChasy, autorstwa prof. Turosa. Analiza wyników eksperymentalnych przy pomocy tego programu pozwoliła na rozróżnienie wkładu do widm pochodzących od defektów prostych i złożonych.

Pokrótkie wymienię najważniejsze w mojej opinii osiągnięcia przedstawione w pracach A1-A9. Prace A1,A2 miały na celu ustalenie jak przebiega proces akumulacji defektów w ZnO domieszkowanym jonami RE. Na podstawie analizy widm RBS/C metodą McChasy ostatecznie potwierdzono, że scenariusz transformacji defektów przebiega zgodnie z modelem zaproponowanym już wcześniej w pracy C23. Według tego modelu, atomy przemieszczone na skutek kolizji poruszają się wolniej aniżeli luki. Atomy migrują poza obszar kolizji, gdzie łączą się w pętle podstawne, widoczne w RBS/C jako atomy rozmieszczone losowo (RDA) natomiast szybsze luki przemieszczają się dalej i są źródłem defektów typu dyslokacje (DIS) – tworzą pętle przyzmatyczne. Przemieszczanie się defektów wynika z naprężeń rozciągających sieci (A2), które rośnie wraz ze wzrostem dawki jonów. Wyznaczono dawkę krytyczną powyżej której następuje odkształcenie plastyczne ($1,5 \times 10^{15}$ jonów RE/cm²) przy czym okazało się, że dawka ta jest niezależna od rodzaju jonów. Ta konkluzja była możliwa dzięki zastosowaniu dodatkowej techniki pomiarowej – XRD, we współpracy z naukowcami z Instituto Superior Tecnico, Uniwersytetu w Lizbonie, Portugalia. Ponadto w pracy A1 zaobserwowano, że powyżej dawki krytycznej następuje spadek luminescencji z poziomów energetycznych implantowanych jonów i że jest on skorelowany ze wzrostem rezystancji ZnO. To tzw. gaszenie koncentracji swobodnych nośników wyjaśniono spadkiem ilości jonów RE w pozycji międzywęzłowej przy dużych dawkach implantowanych jonów. Taki wniosek był możliwy dzięki wcześniejszym rezultatom przedstawionym w pracy A5, w której zaprezentowano wyniki pomiarów RBS/C oraz efektu Halla warstw ZnO implantowanych Yb. Analiza tych pomiarów pozwoliła na konkluzję, że luminescencję z poziomów domieszek RE można obserwować gdy jony RE znajdują się w pozycjach międzywęzłowych a aktywacja optyczna jest możliwa dopiero po zapewnieniu odpowiednich warunków wygrzewania po implantacji jonów.

W pracach A3 i A4 przedstawiono wspomnianą wcześniej szczegółową analizę parametrów implantacji i wygrzewania w celu uzyskania optymalnej luminescencji z poziomów implantowanych jonów. W tym celu oprócz techniki RBS/C i PL (A3) zastosowano technikę mapowania EDS, dostępną w NCBJ oraz obrazowania AFM, we współpracy z IF PAN (A4). Warta podkreślenia jest duża ilość danych eksperymentalnych, które zostały szczegółowo przeanalizowane i pozwoliły na ustalenie optymalnych warunków procesu implantacji i wygrzewania. I tak stwierdzono, że optymalne warunki zapewniają: dawka niskoenergetycznych jonów (150keV) poniżej ustalonego już wcześniej progu deformacji plastycznej ($1,5 \times 10^{15}$ jonów RE/cm²) oraz wygrzewanie w atmosferze tlenu w temp. 800°C przez 10 minut. Z kolei w pracy A8 (r. 2018) i P1 (r. 2015) w poszukiwaniu optymalnego sposobu aktywacji optycznej jonów RE zastosowano metodę sekwencyjnego wygrzewania ZnO po implantacji jonami Yb. Technika wydała się obiecująca, ale w żadnej z późniejszych prac nie powtórzono tego sposobu wygrzewania.

W pracy A6 prezentowane są wyniki badań techniką RBS/C oraz metodami elektrycznymi warstw ZnO implantowanych różnymi jonami: Yb, Dy i Pr w funkcji dawki jonów oraz różnych warunków wygrzewania. M.in. potwierdzono, że wygrzewanie powoduje odnowienie struktury krystalicznej ale tak jak w przypadku Yb (prace A1 i A2) tylko dla dawek nie przekraczających w.w. granicy deformacji plastycznej. Również w pracy A7 badano techniką RBS/C oraz PL epiwarstwy ZnO implantowane różnymi jonami: Yb, Dy i Pr. Z analizy

otrzymanych rezultatów wynika, że proces ucieczki jonów na powierzchnię ZnO podczas wygrzewania po implantacji, który jest procesem niepożądanym gdyż prowadzi do wygaszania luminescencji, jest zależny od rodzaju jonów. To ważny wynik z punktu widzenia wyboru jonów domieszek RE dla zastosowań w optoelektronice.

Praca A9 zawiera wyniki dla ZnO implantowanego jonami Pr. W pracy potwierdzono aktywację optyczną jonów po wygrzewaniu zarówno wolną (RTP) jak i szybką (FLA) techniką. Wymienione prace zawierają bogaty materiał doświadczalny, szczegółową analizę i dyskusję otrzymanych wyników jak również propozycje modeli wyjaśniających obserwowane zależności. Wnoszą istotny wkład w zrozumienie zjawisk związanych z oddziaływaniem implantowanych jonów RE z matrycą ZnO. Konkludując stwierdzam, że cykl artykułów A1-A9 jak i patent P1 są powiązane tematycznie, dotyczą bowiem efektów implantacji ZnO jonami pierwiastków ziem rzadkich spełniają zatem wymagania art. 219 ust.1. pkt 2.b ustawy.

3. Ocena aktywności naukowej

Oceny aktywności naukowej dokonałam na podstawie zał. Nr 4 Autoreferatu dr Renaty Ratajczak. Numeracja podpunktów zgodna z dokumentem zatytułowanym „Wykaz osiągnięć naukowych lub artystycznych” na stronie RDN.

II.4.

Dorobek naukowy Habilitantki obejmuje 75 prac opublikowanych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym, z czego 36 ukazało się po obronie pracy doktorskiej w r. 2011. Prace oznaczone B10-B14 zostały wybrane przez dr Ratajczak jako publikacje powiązane z tematyką wskazanego osiągnięcia. Pomimo tego, że dr Ratajczak na liście współautorów widnieje na dalszych pozycjach (poza B10 gdzie jest wymieniona jako druga współautorka), należy domniemywać, że jej wkład był istotny, ponieważ podobnie jak w przypadku cyklu prac Habilitantka deklaruje: „mój udział polegał na opracowaniu koncepcji, bowiem współkierowałam lub kierowałam projektem badawczym w ramach którego badania będące tematem tych prac były przeprowadzone”. W artykułach B10-B14 opisano m.in. wyniki badań strukturalnych ZnO implantowanego jonami RE (Yb i Dy) przy użyciu takich technik jak rentgenowska spektroskopia absorpcyjna (XAS – współpraca z SOLARIS, Kraków) i rezonansowa spektroskopia fotoemisyjna (RPES – współpraca z Elettra, Triest, Włochy). Pozostałe publikacje wieloautorskie (oznaczone w zał. Nr 4 C15-C36), które powstały po doktoracie, dotyczyły w znakomitej większości badania materiałów półprzewodnikowych poddanych procesowi implantacji jonów, przy pomocy techniki RBS/C, w której dr Ratajczak się specjalizuje.

II. 7

Habilitantka ma na swoim koncie 39 wystąpień konferencyjnych po obronie doktoratu, przy czym w 14 z nich uczestniczyła osobiście, jedno wystąpienie stanowił referat zaproszony. Wszystkie konferencje były konferencjami o zasięgu międzynarodowym. Jest to wynik zadowolający, potwierdzający aktywność naukową dr Ratajczak.

II.8

W r. 2018 dr Ratajczak brała udział w pracy Komitetu Organizacyjnego konferencji międzynarodowej.

II.9

W latach 2013-2023 dr Ratajczak uczestniczyła w realizacji dziewięciu projektów naukowo-badawczych finansowanych w drodze konkursów krajowych, w tym sześć razy w charakterze kierownika i trzy razy jako wykonawca. Cztery z dziewięciu realizowanych projektów

finansowane przez MEiN dotyczą tematyki rozprawy habilitacyjnej i w każdym z nich dr Ratajczak pełni/pełniła rolę kierownika. Są to projekty międzynarodowe gdzie w trzech partnerem jest/był HZDR a w jednym Katholieke Universiteit Leuven (KUL), Belgia. Ponadto w latach 2015-2023 Habilitantka złożyła dziesięć wniosków do HZDR o dostęp do akceleratora jonów, gdzie 7 wniosków dotyczyło ZnO, było zatem związane z tematyką rozprawy. Wszystkie wnioski zostały rozpatrzone pozytywnie. Habilitantka współpracuje również z Universite Paris-Seclay – Campus d’Orsay, gdzie realizowane są badania materiałów tlenkowych a w Polsce poza współpracą z IF PAN współpracuje z takimi instytucjami badawczymi jak ITE, ICHTJ, UNIPRESS oraz z Wydziałem Fizyki UW. W r. 2023 dr Ratajczak została beneficjentką grantu OPUS23, w którym pełni rolę kierownika. Opiewa on na dofinansowanie w kwocie 2 371 400 zł. Należy dodać, że wcześniej dr Ratajczak czyniła starania w celu pozyskania finansowania badań, składając rokrocznie w latach 2018-2021 wnioski o przyznanie grantu Sonata Bis. Podsumowując, należy zauważyć rzadko spotykaną aktywność Habilitantki w pozyskiwaniu dostępu do aparatury i finansowania badań. Ponadto istotna jest również szeroka współpraca z wieloma ośrodkami w Polsce i zagranicą. Wieloletnia współpraca z HZDR oraz IF PAN świadczy o umiejętności utrzymywania poprawnych kontaktów, gwarantujący dalszy rozwój Habilitantki.

II.11

Dr Ratajczak odbyła szereg staży w okresie po obronie pracy doktorskiej:

- rokrocznie w latach 2015-2023 odbywała 2-3 tygodniowe staże w Department of Semiconductor Materials, HZDR (dostęp do czasu na wiązce jonów),
- 5- tygodniowy pobyt w HZDR (szkolenie ze spektrometrii Ramana),
- dwa tygodniowe pobyty w KUL Belgia w latach 2013-2014 (dostęp do czasu na wiązce jonów),
- trzydniowy pobyt w Elettra Sincrotrone Trieste Włochy, pomiary EXAFS w r. 2015,
- w latach 2015-2016 zatrudnienie na część etatu w IF PAN w Warszawie w Zakładzie Fizyki i Technologii Półprzewodników.

Należy zaznaczyć, że odbyte staże i współpraca naukowa z ośrodkami w kraju i zagranicą pozwoliły jej na poznanie innych technik pomiarowych (m.in. spektroskopia Ramana, PL, pomiary elektryczne, EXAFS, XRD) poza techniką RBS/C, w której się specjalizuje.

II-13 i II 16

Pewien niedosyt budzi fakt, że Habilitantka nie jest dobrze rozpoznawana na szerszym forum, skoro nie została do tej pory powołana na recenzenta prac naukowych jak również nie wchodzi w skład gremiów oceniających czy to działalność badawczą czy dydaktyczną.

III.3

Uzyskanie patentu w dyscyplinie Fizyka nie jest łatwe, dr Ratajczak wraz ze współpracownikami się to udało – jest drugą współautorką patentu nr 232774 (2019) „Sposób domieszkowania tlenku cynku (ZnO) jonami pierwiastków ziem rzadkich”. Zgłoszenie patentowe nr. P.413924 z dnia 2015-09-11.

IV

W Tabeli przedstawionej w zał. Nr 4 Autoreferatu zawarto dane naukometryczne, z których wynika zadowalający wynik sylwetki naukowej Habilitantki. Liczba publikacji ogółem 75 a po uzyskaniu tytułu doktora – 36. IF publikacji ogółem 112,728 a po doktoracie 75,975. Liczba cytowań ogółem 737 - po doktoracie 296. Indeks Hirscha =15.

4. Wyróżnienia

Habilitantka w r. 2023 otrzymała wyróżnienie Rady Naukowej NCBJ za osiągnięcia naukowe w r. 2022. Wcześniej otrzymała wyróżnienie tego samego gremium za badania zawarte w pracy doktorskiej. Ponadto w r. 2018 została wyróżniona na symposium kategoryzującym przez szefa IBC HZDR w uznaniu dużej liczby pozytywnie ocenionych wniosków.

5. Osiągnięcia dydaktyczne i organizatorskie

W ostatnich latach (2017-2018 i 2020) opiekowała się dwiema osobami realizującymi praktyki studenckie w NCBJ oraz była promotorką jednej pracy licencjackiej. Nie jest to wynik imponujący, ale zapewne jest ściśle związany z faktem zatrudnienia w jednostce naukowo-badawczej. Z kolei warte zauważenia jest zaangażowanie Habilitantki w opiekę naukową nad dwiema pracami doktorskimi, przy czym w jednej z nich pełni rolę promotora pomocniczego. Ponadto w latach 2001-2008, przed doktoratem, dr Ratajczak angażowała się w organizację wydarzeń popularyzujących fizykę.

6. Podsumowanie

Dr Renata Ratajczak jest specjalistką w dziedzinie badań materiałów półprzewodnikowych implantowanych jonami ziem rzadkich przy pomocy techniki RBS/C. Potwierdza to przedstawiony cykl monotematycznych artykułów A1-A9 wraz ze zgłoszeniem patentowym P1 przedłożone jako podstawa do starania się o stopień doktora habilitowanego jak również pozostałe 26 publikacji, które powstały po obronie pracy doktorskiej w r. 2011. Wyniki zawarte w publikacjach wnoszą istotny wkład w zrozumienie oddziaływania implantowanych jonów z macierzystym materiałem. Prace składające się na cykl monotematyczny mają nie tylko znaczenie poznawcze ale są również istotne z punktu potencjalnego zastosowania ZnO implantowanego jonami RE w optoelektronice. Wszystkie publikacje są wieloautorskie, jednak jak wynika z przedstawionych dokumentów, wydaje się być oczywistym, że dr Ratajczak była inicjatorką tych badań i wniosła znaczący wkład do ich zawartości. Należy zauważyć rosnącą aktywność naukową Habilitantki wraz z upływem czasu. Zostało to dostrzeżone przez środowisko naukowe w postaci grantu NCN, który został jej przyznany w ubiegłym roku. Na szczególne wyróżnienie zasługuje aktywność dr Ratajczak w organizacji dostępu do aparatury badawczej poprzez efektywne pozyskiwanie źródeł finansowania na ten cel. Również szeroka współpraca z ośrodkami badawczymi w kraju i za granicą jest warta podkreślenia. Zaowocowała ona nie tylko licznymi publikacjami ale spowodowała istotne wzbogacenie wachlarza technik eksperymentalnych, które Habilitantka opanowała.

Podsumowując stwierdzam, że Dr Renata Ratajczak w pełni spełnia wymogi związane z uzyskaniem stopnia doktora habilitowanego. W związku z tym zgodnie z Art. 219 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dziennik Ustaw 2018 poz. 1668), ze zmianami (Dziennik Ustaw 2023 poz. 212) wnioskuję do Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych o dopuszczenie dr Renaty Ratajczak do dalszego postępowania w celu nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki fizyczne.

Prof. dr hab. Ewa Popko

Ewa Popko