

Recenzja – ocena pracy habilitacyjnej dr Maciej Rogali *Badania przestrzennego rozkładu właściwości elektrycznych w nanoskali oraz możliwości lokalnej redukcji materiałów tlenkowych*

Dr Maciej Rogala ukończył studia magisterskie na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Łódzkiego w 2008 roku zdobywając tytuł zawodowy magistra za pracę *Badanie morfologii i struktury elektronowej nanowłókien zbudowanych na bazie węgla*, a następnie w roku 2012, w tej samej instytucji, obronił, z wyróżnieniem, rozprawę zatytułowaną *Przelączenie rezystywne w TiO_2* uzyskując stopień doktora fizyki (w zakresie fizyki ciała stałego). Promotorem doktoratu byli profesorowie Zbigniew Klusek i Krzysztof Szot.

W tymże roku dr M. Rogala został zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowego w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego. Na tym stanowisku pracował do 2015 roku realizując projekt wdrożeniowy z obszaru drukowanej elektroniki elastycznej w oparciu o nanomateriały (GRAF-TECH – NCBiR). W 2013 roku Habilitant przebywał 3 miesiące na stażu podoktorskim w Instytucie Petera Grünberga w Centrum Badawczym w Jülich w Niemczech. Uczestniczył tam w badaniach roli defektów krystalograficznych w przewodnictwie elektrycznym materiałów funkcjonalnych

Od 2015 roku Habilitant jest zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego w Katedrze Fizyki Ciała Stałego Uniwersytetu Łódzkiego. W tym czasie był kierownikiem dwóch projektów badawczych przyznanych w ramach konkursów NCN (w kategoriach Sonata oraz Sonata BIS) oraz wykonawcą projektów NCN z zakresu badań nad materiałami niskowymiarowymi. Brał udział w konsorcjach naukowo-przemysłowych, był głównym wykonawcą w projekcie wdrożeniowym z zakresu przemysłowego druku wielowarstwowego (POIR.04.01.02-00-0046). Uzyskał certyfikat PRINCE2 w dziedzinie metodyki zarządzania.

Wyniki badań przeprowadzonych w latach 2013-2019 stały się podstawą osiągnięcia naukowego przedłożonego przez dr. M. Rogalę w procedurze habilitacyjnej i przekazanego mi do oceny. Ma ono formę cyklu opublikowanych artykułów naukowych zatytułowanego *Badania przestrzennego rozkładu właściwości elektrycznych w nanoskali oraz możliwości lokalnej redukcji materiałów tlenkowych*.

Przedłożone osiągnięcie naukowe, wraz z pozostałymi przesłanymi dokumentami, oceniam zgodnie z zasadami ustanowionymi w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (z późniejszymi zmianami – tekst jednolity Dz. U. 2023 poz. 742), w szczególności na podstawie art. 219 i 221, z uwzględnieniem poradników Rady Doskonałości Naukowej *Postępowania dotyczące nadawania stopnia doktora habilitowanego* (2021) i *Recenzje w postępowaniach o awans naukowy* (2022).

W art. 221 ust. 8 Ustawy zapisano:

„8. Recenzenci, w terminie 8 tygodni od dnia doręczenia im wniosku, oceniają, czy osiągnięcia naukowe osoby ubiegającej się o stopień doktora habilitowanego odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2, i przygotowują recenzje.”

Wymagania określone w art. 219 ust.1 pkt. 2 to

„Art. 219. 1. Stopień doktora habilitowanego nadaje się osobie, która:

...

2) posiada w dorobku osiągnięcia naukowe albo artystyczne, stanowiące znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny, w tym co najmniej:

- a) 1 monografię naukową wydaną przez wydawnictwo, które w roku opublikowania monografii w ostatecznej formie było ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. a, lub
- b) 1 cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b, lub
- c) 1 zrealizowane oryginalne osiągnięcie projektowe, konstrukcyjne, technologiczne lub artystyczne;”

Wspomniany Poradnik RDN *Recenzje w postępowaniach o awans naukowy* podsumowuje to na str. 13 następująco:

„Z powyższego przepisu wynika jednoznacznie, że sformułowanie konkluzji opinii recenzenta, pozytywnej albo negatywnej, może być podyktowane wyłącznie oceną osiągnięć naukowych wskazanych przez osobę ubiegającą się o nadanie stopnia doktora habilitowanego jako mających stanowić znaczący wkład w rozwój określonej dyscypliny.”

i dalej:

„Brak jest natomiast podstaw, by recenzenci – formułując ostateczną konkluzję swoich opinii – mogli brać pod uwagę inne aspekty niż wyżej wskazane. W konsekwencji tego na przedmiotową opinię nie powinna wpływać ocena, czy osoba ubiegająca się o nadanie stopnia doktora habilitowanego wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej, jak i ocena osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych, czy też popularyzujących naukę.”

Niemniej, biorąc pod uwagę cały ustęp 1 artykułu 219 Ustawy warunkujący nadanie stopnia doktora habilitowanego, poza spełnieniem punktu 2, także posiadaniem stopnia doktora (w punkcie pierwszym) oraz tym, że kandydat „wykazuje się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej” (w punkcie trzecim) sporządzam tę recenzję, na podstawie przesłanych mi dokumentów, w sposób obejmujący szerszy obraz aktywności naukowej Habilitanta, jednak ze świadomością, że na ostateczną konkluzję mojej recenzji może mieć wpływ tylko ocena wskazanych przez Habilitanta osiągnięć naukowych i ich znaczenia jako wkładu w rozwój dyscypliny naukowej.

Przedłożone osiągnięcie naukowe zatytułowane *Badania przestrzennego rozkładu właściwości elektrycznych w nanoskali oraz możliwości lokalnej redukcji materiałów tlenkowych* stanowi część dorobku naukowego Habilitanta obejmującego, według przedstawionych danych, 38 artykułów w czasopismach i dwa rozdziały w monografiach naukowych. Pięć artykułów zostało opublikowanych przed uzyskaniem przez Habilitanta stopnia doktora. Wszystkie publikacje są wieloautorskie, w dziewięciu Habilitant jest pierwszym autorem, przy nie alfabetycznym porządku autorów. Wszystkie prace zostały opublikowane w cenionych czasopismach o zasięgu międzynarodowym, istotna ich część w czasopismach o wysokim i bardzo wysokim współczynniku wpływu („impact factor” - IF) wśród czasopism fizycznych lub z dziedziny nauki o materiałach: na przykład *Advanced Functional Materials* ((IF=11.4) – 1 praca, *Carbon* (IF=11.3-6.2) – 4 prace, *Nano Research* (IF=9.9-8.0) 2 prace, *ACS Materials and Interfaces* (IF=9.5) – 3 prace, *Applied Surface Science* (IF=7.3) – 1 praca, *2D Materials* (IF=6.8) – 1 praca, *Advanced Materials Interfaces* (IF=6.3) – 1 praca. Ta lista czasopism nie pozostawia żadnych wątpliwości, że publikacje współautorstwa dr. M. Rogali ukazywały się w wysokiej klasy czasopismach o szerokim międzynarodowym zasięgu. Sumaryczny IF wszystkich publikacji to 192.6, średni IF to 5.1, sumaryczna liczba punktów MEiN wynosi 3062 (ze zmianą skali w trakcie gromadzenia

dorobku). Publikacje Habilitanta zebrały, według przesłanej dokumentacji, 717 cytowań, bez autocytowań – 653. Współczynnik Hirscha dorobku publikacyjnego Habilitanta wynosi 13. Moim zdaniem takie dane naukometryczne całkowicie uzasadniają ubieganie się o stopień doktora habilitowanego.

Dr Maciej Rogala wygłosił 11 ustnych prezentacji konferencyjnych, w tym 10 po uzyskaniu stopnia doktora. Dwie z tych prezentacji to wystąpienia ustne na zaproszenie. Między innymi Habilitant wygłosił referaty podczas ważnych dla uprawianej przez niego dziedziny badań międzynarodowych konferencji: 19th International Vacuum Congress, Paryż, 2013; Graphene Week Göteborg, 2014; 16th International Conference on Thin Films, Dubrownik, 2014, 18th European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, Drezno, 2019. Przedstawił też 20 konferencyjnych prezentacji plakatowych, w tym 15 po uzyskaniu stopnia doktora. Ponadto był współautorem 101 prezentacji konferencyjnych, których nie prezentował osobiście. Lista prezentacji konferencyjnych dr. M. Rogali wskazuje, że jego prace były zauważane przez środowisko naukowe, akceptowane do prezentacji na konferencjach, a znaczna liczba prac prezentowanych przez innych autorów wskazuje na szeroką i owocną współpracę naukową realizowaną przez Habilitanta. Przedstawione dane, wraz z listą publikacji pozwalają też stwierdzić, że zasadniczy wzrost dorobku naukowego dr. M. Rogali nastąpił po uzyskaniu stopnia doktora.

Na cykl habilitacyjny mający spełnić wymagania określone w art. 219 ust. 1 pkt 2 wymienionej wyżej Ustawy składa się sześć publikacji:

- H1. **M. Rogala**, Z. Klusek, C. Rodenbücher, R. Waser, K. Szot *Quasi-two-dimensional conducting layer on TiO₂ (110) introduced by sputtering as a template for resistive switching* Applied Physics Letters, 102, 131604 (2013),
- H2. **M. Rogala**, G. Bihlmayer, W. Speier, Z. Klusek, C. Rodenbücher, K. Szot *Resistive Switching of a Quasi-Homogeneous Distribution of Filaments Generated at Heat-Treated TiO₂ (110)-Surfaces* Advanced Functional Materials, 25, 6382 (2015),
- H3. **M. Rogala**, G. Bihlmayer, P. Dąbrowski, C. Rodenbücher, D. Wrana, F. Krok, Z. Klusek, K. Szot *Self-reduction of the native TiO₂ (110) surface during cooling after thermal annealing – in-operando investigations* Scientific Reports, 9, 12563 (2019),
- H4. **M. Rogala**, I. Własny, P. Dąbrowski, P.J. Kowalczyk, A. Busiakiewicz, W. Kozłowski, L. Lipińska, J. Jagiełło, M. Aksienionek, W. Strupiński, A. Krajewska, Z. Sieradzki, I. Krucińska, M. Puchalski, E. Skrzetuska, Z. Klusek *Graphene oxide overprints for flexible and transparent electronics* Applied Physics Letters, 106(4), 041901 (2015),
- H5. **M. Rogala**, P.J. Kowalczyk, P. Dąbrowski, I. Własny, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, S. Pawłowski, G. Dobiński, M. Smolny, I. Karaduman, L. Lipińska, R. Kozinski, K. Librant, J. Jagiełło, K. Grodecki, J.M. Baranowski, K. Szot, Z. Klusek *The role of water in resistive switching in graphene oxide* Applied Physics Letters, 106, 263104 (2015),
- H6. **M. Rogala**, P. Dąbrowski, P.J. Kowalczyk, I. Własny, W. Kozłowski, A. Busiakiewicz, I. Karaduman, L. Lipińska, J.M. Baranowski, Z. Klusek *The observer effect in graphene oxide – How the standard measurements affect the chemical and electronic structure* Carbon, 103, 235 (2016).

Czasopisma, w których opublikowano prace składające się na cykl habilitacyjny spełniają formalny warunek by w roku opublikowania artykułu były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Wszystkie prace są wieloautorskie, a przedłożone do recenzji dokumenty zawierają zalecane w dokumentach RDN oświadczenia współautorów wskazujące na ich merytoryczny wkład w powstanie każdej pracy. Habilitant jest pierwszym autorem, przy nie alfabetycznym porządku autorów, wszystkich tych artykułów, jest też autorem korespondującym we wszystkich pracach za wyjątkiem H5. Wkład Habilitanta jest opisany w dokumencie „Wykaz osiągnięć naukowych...” oraz „Autoreferacie”. Dr M. Rogala zadeklarował wniesienie dominującego wkładu do wymienionych prac, szczególnie nanoskalowych badań i analiz przewodnictwa elektrycznego i lokalnej redukcji badanych materiałów tlenkowych. Spójne z tym stwierdzeniem szczegółowe deklaracje wkładu do poszczególnych publikacji wszystkich autorów, potwierdzone własnoręcznymi podpisami (w przypadku dwóch nieżyjących osób potwierdzenie wkładu złożył Habilitant lub Kierownik Katedry Fizyki Ciała Stałego prof. Paweł Kowalczyk), zawierają oddzielne dokumenty dotyczące wszystkich sześciu prac składających się na osiągnięcia habilitacyjne. Poza zespołem syntetyzującym próbki tlenku grafenu (H4-H6), zespołem przygotowującym urządzenie i oprogramowanie do pomiarów AFM (H5), prof. Jackiem M. Baranowskim dokonującym analizy metodą spektroskopii ramanowskiej (H6), oraz wykonującymi obliczenia teoretyczne dr. Gustavem Bihlmayerem (H2, H3) i dr. Christianem Rodenbücher (H2) wkład współautorów habilitanta polegał głównie na dyskusji koncepcji badań, wyników i ostatecznej wersji manuskryptu. Skorzystanie z kompetencji technologicznych zespołu przygotowującego tlenek grafenu, zapewnienie sobie wsparcia teoretycznego i specjalistów w wybranych technikach doświadczalnych jest w pełni zrozumiałe przy pracach obejmujących wieloaspektowe badania doświadczalne prowadzone wieloma metodami. Zatem, załączone dokumenty potwierdzają decydującą, wiodącą rolę Habilitanta w powstaniu prac H1-H6, co w pełni uzasadnia ich włączenie do osiągnięcia habilitacyjnego.

W pracach **H1-H3** przedstawiono wyniki badań przełączania rezystywnego TiO_2 , jego obserwacji w nanoskali i opisu mechanizmów fizycznych do niego prowadzących. Badania przełączania rezystywnego TiO_2 dr M. Rogala rozpoczął pracując nad doktoratem, wykazał możliwość modyfikacji elektrycznej nanoobszarów w badanym materiale. W pracach H1-H2 przywołano wyniki uzyskane podczas pracy nad doktoratem, badania zostały następnie poszerzone, w szczególności podczas pobytu Habilitanta na stażu podoktorskim w Centrum Badawczym Jülich. Praca **H1** dotyczy zmian właściwości elektrycznych TiO_2 wywołanych bombardowaniem jonami argonu. Łącząc badania morfologii, stechiometrii, struktury elektronowej i właściwości elektrycznych modyfikowanych kryształów wykazano, że na jego powierzchni tworzy się wyraźnie wyodrębniona warstwa grubości 30 nm o obniżonej zawartości tlenu i ziarnistej strukturze. Pomiaru lokalnych właściwości elektrycznych metodą LC-AFM pozwoliły wykazać, że charakter przewodnictwa pojedynczych ziaren może być zmieniany z półprzewodnikowego na metaliczne przez przyłożenie napięcia. Autorzy wskazują na potencjał aplikacyjny tej obserwacji. Praca H1 została zacytowana 27 razy, w tym 2 razy w 2023 r.

Praca **H2** poświęcona jest procesowi zmiany właściwości TiO_2 przez wygrzewanie. Wygrzewanie monokrystalicznego TiO_2 w temperaturach do 1000-1100 °C powodowało, związane z obniżeniem zawartości tlenu w układzie, pojawienie się włóknistych struktur obserwowalnych metodą LC-AFM. Przewodnictwo tych struktur mogło być następnie zmieniane przez punktowe przykładanie napięcia. Odróżniono te struktury od istniejących w kryształach rozciągniętych defektów sieci krystalicznej (np. dyslokacji), a wspierając się obliczeniami „z pierwszych zasad”, powiązano je z powstającymi w redukujących warunkach (podczas wygrzewania) aglomeratami luk tlenowych położonych wzdłuż preferowanych kierunków krystalograficznych. Publikacja została zacytowana 20 razy, w tym, ostatnio, 3 razy w 2021 r.

W pracy **H3** pogłębiono badania redukcji i utleniania kryształów TiO_2 podczas procesu wygrzewania. Obserwując metodą XPS zmiany stanów ładunkowych atomów kryształu, w szczególności tytanu, podczas ogrzewania, chłodzenia kryształu i po wystawieniu go na działanie dawki tlenu, stwierdzono, że zasadniczy proces redukcji zachodzi w czasie chłodzenia kryształu. Analiza energii tworzenia luk tlenowych w różnych konfiguracjach, przeprowadzona metodą DFT, pozwoliła zaproponować spójny z wynikami pomiarów obraz zachodzących procesów – po termicznym obniżeniu zawartości tlenu w objętości kryształu, podczas chłodzenia następuje migracja powstałych luk tlenowych ku powierzchni, by obniżyć energię całego układu, co skutkuje „samoredukcją” warstwy powierzchniowej obserwowanej w eksperymentach XPS. Praca została zacytowana 19 razy, w ostatnich latach 6 razy w 2021, 4 razy w 2022, 6 razy w 2023.

Trzy pozostałe prace, **H4-H6**, poświęcone są badaniom możliwości lokalnej modyfikacji właściwości elektrycznych warstw tlenku grafenu. Prócz wartości naukowych prace mają znaczenie aplikacyjne ze względu na możliwość zastosowania roztworów tlenku grafenu do drukowania obwodów elastycznej elektroniki. W pracy **H4** czynnikiem redukującym, prowadzącym do zmian właściwości elektrycznych warstwy tlenku grafenu był HBr. Badania metodą XPS potwierdziły wydajną redukcję warstwy, a obserwacje LC-AFM oraz pomiary skaningowej spektroskopii tunelowej wykazały, że zmiana przewodnictwa warstwy ma charakter ziarnisty co powiązано z nanoskalową heterogenicznością wyjściowej warstwy tlenku grafenu. Pracę zacytowano 37 razy, w tym 5 razy w 2021, 4 razy w 2022, 3 razy w 2023.

W pracy **H5** badano proces modyfikacji przewodnictwa warstwy tlenku grafenu przez punktowe przyłożenie napięcia za pomocą ostrza mikroskopu AFM w zależności od składu i wilgotności atmosfery, w której proces zachodzi, oraz grubości warstwy. Stwierdzono, że obecność molekuł wody jest kluczowa dla przebiegu procesu lokalnej redukcji tlenku grafenu po przyłożeniu napięcia. Wpływa na rozmiar modyfikowanego obszaru i stopień zmiany przewodnictwa. Stwierdzono też, że pełna reoksydacja zmienionego obszaru nie jest możliwa zastosowaną metodą, proces ogranicza się do powierzchni i blokuje zmiany wewnątrz warstwy. Publikację zacytowano 17 razy, w tym ostatnio 2 razy w 2023 r.

Praca **H6** poświęcona jest precyzyjnym badaniom wpływu zastosowanych technik eksperymentalnych (XPS, spektroskopia ramanowska, AFM) na właściwości warstw tlenku grafenu, określeniu wiarygodności otrzymywanych standardowo rezultatów. Zawiera też wskazówki jak zaplanować eksperymenty by osiągnąć wyniki zadowalającej jakości oraz odpowiadające rzeczywistym właściwościom badanego układu. Publikacja zawiera też kolejne dowody na przestrzenną niejednorodność stymulowanej prądowo modyfikacji przewodnictwa. Praca świadczy o bardzo odpowiedzialnym podejściu autorów do doświadczalnej pracy badawczej i respektowaniu zasad etycznych, na których powinna być oparta. Publikacja zebrała 22 cytowania, w tym ostatnio 3 w 2022 r.

Podsumowując, przedstawiony przez dr. M. Rogalę cykl artykułów obejmuje prace o niekwestionowanej wartości naukowej, zawierające zbiór znaczących, oryginalnych wyników, prace opublikowane w bardzo dobrych czasopiśmie o szerokim zasięgu międzynarodowym, o wysokim lub bardzo wysokim współczynniku wpływu ($IF = 3.1 - 11.4$). O spójności cyklu decyduje konsekwentne badanie mechanizmów fizycznych odpowiedzialnych za obserwowane w nanoskali zmiany właściwości elektrycznych, wywołanych czynnikami termicznymi, chemicznymi i elektrycznymi w dwóch ważnych, także ze względu na potencjalne zastosowania, układów: TiO_2 – związku modelowego dla szerokiej grupy tlenków metali przejściowych oraz tlenku grafenu. W obu przypadkach badane przez Habilitanta procesy redukcji i utlenienia są kluczowe dla obserwowanych zmian właściwości elektrycznych. Wśród ważnych wniosków raportowanych w przedstawionym cyklu można wymienić:

- wykazanie niejednorodności zmian właściwości obu materiałów zachodzących pod wpływem zastosowanych czynników (bombardowania TiO_2 jonami Ar^+ czy trawienia tlenku grafenu w HBr), obserwowanej w skali submikronowej lub nanometrowej, w klastrach lub ziarnach,
- zaproponowanie wyjaśnienia obserwowanych procesów w TiO_2 uwzględniającego obecne i kreowane w kryształach defekty, migracje luk tlenowych, tworzenie się ich sieciowej struktury umożliwiającej przepływ nośników ładunku,
- określenie roli efektów powierzchniowych i objętościowych w procesach utleniania i redukcji TiO_2 ,
- opisanie roli atmosfery, w której, w realnych warunkach, zachodzą procesy przełączania rezystywnego w warstwach tlenku grafenu.

Przedstawione wyniki wniosły nowy, w momencie publikacji, oryginalny wkład do wiedzy o mechanizmach fizycznych odpowiedzialnych za obserwowane w nanoskali zmiany właściwości elektrycznych materiałów tlenkowych. Mają też potencjalne znaczenie aplikacyjne. O tym, że przedstawione w cyklu habilitacyjnym prace wniosły istotny wkład do wiedzy o badanych układach i zostały zauważone przez społeczność naukową świadczą ich cytowania od prawie dwudziestu do niemal czterdziestu, a zwłaszcza fakt, że pomimo publikacji w okresie 2013-2019 wciąż są cytowane, o czym świadczą liczby cytowań w ostatnich latach przytoczone powyżej.

Aktywność naukowa i dorobek naukowy dr. M. Rogali znacznie wykraczają poza opisane powyżej osiągnięcia habilitacyjne. Pozostałe publikacje składają się na zbiory ilustrujące kolejne osiągnięcia naukowe:

- w zakresie badania właściwości materiałów dwuwymiarowych, ich morfologii, właściwości elektrycznych, ale też analizy wiązań chemicznych metodą spektroskopii fotoelektronów; badane materiały to między innymi grafen i warstwowe tlenki metali przejściowych; ta aktywność zapewniła Habilitantowi współautorstwo publikacji m.in. w takich prestiżowych czasopismach jak Nano Research, ACS Applied Materials and Interfaces, Carbon, 2D Materials,
- w badaniach struktury i właściwości takich tlenków jak TiO_2 czy SrTiO_3 ; prace objęły też analizę sposobów modyfikacji i badania właściwości chemicznych i fizycznych powierzchni wymienionych tlenków; efektem były, prócz kilku publikacji w czasopismach naukowych, dwa rozdziały w monografiach opublikowanych w języku angielskim przez Wydawnictwo PWN (Habilitant jest ich pierwszym autorem),
- w badaniach morfologii nanostruktur polimerowych, zrealizowanych w ramach współpracy z Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN.

Głównym miejscem pracy i aktywności dr. Macieja Rogali jest Uniwersytet Łódzki, niemniej istotną rolę w rozwoju jego kariery naukowej odegrały wizyty badawcze w zagranicznych instytucjach naukowych. Najistotniejsza była współpraca z grupą prof. Rainera Wasera z Peter Grünberg Institute, Forschungszentrum Jülich w Niemczech. Rozpoczęta została osiemnastomiesięcznym pobytem jeszcze przed uzyskaniem przez Habilitanta doktoratu. Poświęcona była w szczególności badaniom właściwości elektrycznych tlenków metali. Dr. M. Rogala kontynuował tę współpracę podczas trzymiesięcznego stażu podoktorskiego w 2013 roku oraz późniejszych wielokrotnych krótkich pobytów badawczych, aż do 2018 roku. Spełnia więc on warunek sformułowany w art. 219 ust.1 pkt. 3 Ustawy. Nazwiska autorów z PGI pojawiające się w publikacjach Habilitanta potwierdzają, że współpraca z tym ośrodkiem była naukowo owocna i przyczyniła się do wzrostu kompetencji i dorobku dr. M Rogali.

Ponadto Habilitant dwukrotnie uczestniczył w konsultacjach naukowych na Uniwersytecie P. J. Šafárika w Koszycach (Słowacja) (3 dni w 2013, 3 dni w 2014), brał

udział w „The Commercial Graphene Show 2015” (2 dni) oraz uczestniczył w szkole „Frontier Research in 2D Materials” we Francji (12 dni w 2018 r.).

Dr Maciej Rogala ma poważny dorobek dydaktyczny, regularnie prowadzi wykłady z różnych dziedzin fizyki, przygotowywał i prowadził w latach 2015-2016 pracownię specjalistyczną metod eksperymentalnych w nanotechnologii, regularnie też prowadzi ćwiczenia dla kierunku „informatyka”. Był lub jest promotorem pomocniczym w trzech postępowaniach doktorskich, był promotorem dwóch prac magisterskich i dwóch prac inżynierskich, recenzował jeden doktorat i siedem prac inżynierskich. Uczestniczył w działaniach popularyzatorskich, w Festiwalach Nauki i Sztuki w Łodzi, zajęciach dydaktycznych dla młodzieży szkolnej, różnych przedsięwzięciach medialnych.

Aktywności organizacyjne Habilitanta to opracowywanie budżetów projektów naukowych w Katedrze Fizyki Ciała Stałego UŁ, przygotowywanie i nadzorowanie zakupów aparaturowych, członkostwo w Radzie Wydziału Fizyki Informatyki Stosowanej i w komitetach organizacyjnych konferencji.

Wykazał się skutecznością w zdobywaniu funduszy na badania – zrealizował, jako kierownik, grant SONATA (NCN 2016), kieruje obecnie grantem SONATA BIS (NCN 2020), jako wykonawca uczestniczył lub uczestniczy w realizacji 10 innych grantów przyznawanych przez NCN lub NCBiR.

Warto też wspomnieć o czterech patentach, których współautorem jest Habilitant oraz udziale we wdrożeniach trzech technologii związanych z drukiem elektroniki elastycznej.

W 2022 r. otrzymał *Nagrodę za Wybitne Osiągnięcia Przyczyniające się do Rozwoju Nauki dla Młodych Uczonych Pracujących na Terenie Województwa Łódzkiego*, przyznaną przez Prezesa Polskiej Akademii Nauk, w poprzednich latach dwie *Nagrody zespołowe I stopnia* przyznane przez Rektora Uniwersytetu Łódzkiego oraz *Nagrodę Naukową Fundacji Uniwersytetu Łódzkiego*. Zdobył też srebrny medal na *Międzynarodowych Targach Wynalazków Concours Lepine 2015* w Paryżu.

Opis aktywności naukowej Habilitanta dopełniają recenzje manuskryptów dla czasopism, m.in. takich jak *Advanced Science*, *Carbon*, *ACS Applied Materials and Interfaces*, *Nanomaterials*.

Formułując, zgodnie z wymaganiami ustawowymi, ostateczną konkluzję mojej recenzji stwierdzam, że osiągnięcia naukowe dr. Macieja Rogali, ubiegającego się o stopień doktora habilitowanego, bez wątpliwości odpowiadają wymaganiom określonym w art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Osiągnięcie habilitacyjne zawiera oryginalny wkład w rozwój dyscypliny nauk fizycznych, w szczególności do wiedzy o fizyce materiałów tlenkowych, ich właściwościach elektrycznych w nanoskali i procesach fizycznych umożliwiających ich intencjonalną modyfikację.

Pozostałe zbiory prac Habilitanta, nie wchodzące do cyklu habilitacyjnego, również zawierają ważne wyniki dotyczące zwłaszcza właściwości materiałów niskowymiarowych takich jak warstwowe tlenki metali przejściowych lub grafen, albo powierzchni krysztalów tlenkowych modyfikowanej w sposób kontrolowany.

Wagę prac Habilitanta potwierdza fakt, że zostały zaakceptowane do publikacji w dobrych i bardzo dobrych recenzowanych czasopismach o szerokim zasięgu międzynarodowym oraz zostały zauważone przez środowisko naukowe, o czym świadczą liczby ich cytowań. Wnoszę więc o dopuszczenie dr. Macieja Rogali do kolejnych etapów postępowania habilitacyjnego.

Pozostałe aspekty dorobku naukowego Habilitanta opisanego w przesłanej dokumentacji także utwierdzają mnie w przekonaniu, że dr Maciej Rogala jest samodzielnym, dojrzałym naukowcem o rozpoznawalnym dorobku w dziedzinie badań materiałów tlenkowych i szerokiej klasy materiałów niskowymiarowych.