

Prof. dr hab. inż. Mikołaj Szafran

Wydział Chemiczny

Politechniki Warszawskiej

Katedra Technologii Chemicznej

Ocena dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej

dr Dariusza Kajewskiego pt. „Defekty a niestabilność sieci krystalicznej w antyferroelektrycznym PbZrO_3 ”

Ferroelektryki i antyferroelektryki o strukturze perowskitu, pomimo odkrycia ich unikalnych właściwości już w latach 40. XX wieku, są w dalszym ciągu przedmiotem zainteresowania wielu czołowych ośrodków naukowych na całym świecie. Dotyczy to w szczególności BaTiO_3 i jego roztworów stałych z wieloma innymi związkami takimi jak SrTiO_3 czy też roztworów stałych PbTiO_3 - PbZrO_3 jak i wielu innych. Spowodowane to jest gwałtownym rozwojem elektroniki światowej, w tym rozwijającą się w niespotykany sposób łącznością bezprzewodową, transmisją dźwięku, obrazu czy rozwojem techniki obliczeniowej. Podstawą technologii tego typu materiałów jak i ich stosowania jest wiedza, której fundament stanowią fizyka i chemia ciała stałego, statyka i kinetyka chemiczna, podstawy technologii zaawansowanych tworzyw ceramicznych czy podstawy elektroniki i konstrukcji sprzętu elektronicznego. Dotyczy to obecnie urządzeń pracujących w technologii 5G, czyli także w zakresie częstotliwości mikrofalowych czy w zakresie częstotliwości sub-THz. PbZrO_3 jest jednym z najbardziej znanych antyferroelektryków, a stan antyferroelektryczny wynika ze szczególnego ułożenia domen w kryształach tego związku. Domeny te polaryzują się w jednym kierunku lecz zwroty wektorów polaryzacji w poszczególnych domenach są różne. Pomimo wieloletnich badań nad tym materiałem, w dalszym ciągu nie do końca poznane i niejasne są zagadnienia związane z dynamiką przejść fazowych, ich charakterem, wpływem defektów struktury krystalicznej i ich rodzaju na przejścia fazowe zachodzące nie tylko w kryształach, ale także w tworzywach ceramicznych otrzymanych z udziałem PbZrO_3 . Podjęcie więc tej tematyki przez dr. Dariusza Kajewskiego w Jego rozprawie habilitacyjnej pt. „Defekty a niestabilność sieci krystalicznej w antyferroelektrycznym PbZrO_3 ” stanowi przykład takiego ukierunkowania działalności badawczej, aby można było, rozwijając pewne niepoznane lub w niedostatecznym stopniu rozpoznane zjawiska, uzyskać szersze spojrzenie na naturę danego materiału. Tylko takie spojrzenie pozwala na uogólnienie pewnych zjawisk i procesów, co jest następnie kluczem do świadomego nimi sterowania.

Ocena dorobku naukowego

Dr Dariusz Kajewski jest absolwentem Instytutu Fizyki, Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z roku 2005. Pracę magisterską pt. „Wpływ domieszki niobu na przejścia fazowe i właściwości dielektryczne ceramiek $(\text{Ba,Pb})\text{TiO}_3$ ” wykonał w wyżej wymienionym Instytucie. W tym samym Instytucie wykonał pracę doktorską pt. „Wybrane właściwości ferroelektryków o strukturze Aurivilliusa $\text{SrBi}_2\text{Nb}_2\text{O}_9$ i $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ oraz ich roztworów stałych” pod kierunkiem prof. dr hab. Zbigniewa Ujmy, wybitnego specjalisty z dziedziny fizyki i technologii otrzymywania nowych materiałów ferroelektrycznych, ferroików oraz materiałów ferroelastycznych w postaci mono- ale także w postaci polikrystalicznej. W dniu 26.05.2009. Rada Instytutu Fizyki Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego nadała mu stopień doktora w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka. Jak wynika z tematyki realizowanej w ramach pracy magisterskiej i pracy doktorskiej, Jego dotychczasowa działalność naukowa związana jest z fizyką ciała stałego a konkretnie z fizyką materiałów o właściwościach ferroelektrycznych.

Prace te dotyczyły struktur Aurivilliusa, tematyki realizowanej w ramach Jego rozprawy doktorskiej, w których przedstawiony został spójny obraz przewodnictwa elektrycznego w tworzywach ceramicznych o strukturze warstwowej. W pracach tych wykazano istnienie ścieżek łatwego przewodzenia w warstwach tlenku bizmutu oraz przejścia fazowego ze stanu nisko- do wysoko przewodzącego w tych warstwach. Tematyka ta była przedmiotem 5 artykułów opublikowanych w takich czasopismach jak *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, *Phase Transitions*, *Journal of Alloys and Compounds* i *Ceramics International*.

Kolejne badania dr Dariusza Kajewskiego dotyczyły cienkich warstw SrTiO_3 domieszkowanych żelazem i manganem. Badania te polegały na analizie rozkładu lokalnego przewodnictwa z użyciem mikroskopu sił atomowych oraz określeniu chemii defektów i walencyjności atomów domieszek żelaza i manganu z użyciem rezonansowej fotoemisji elektronów rentgenowskich. Badania te pozwoliły na określenie stopnia utlenienia jonów żelaza oraz ich wzajemnego stosunku na powierzchni warstwy i w jej wnętrzu, a także na określenie miejsca, w którym jony żelaza wbudowują się w strukturę krystaliczną SrTiO_3 . Tematyce tej poświęcone zostało 6 publikacji w czasopismach takich jak *Phase Transitions*, *Radiation Physics and Chemistry*, *Physical Chemistry Chemical Physics*, *X-ray Spectrometry*, *Synchrotron Radiation in Natural Science* oraz *Journal of Chemical Physics*.

Znaczącą pozycję w badaniach Habilitanta i grupy badawczej z którą jest On związany, dotyczą cyrkonianu ołowiu oraz związków na bazie $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ czyli tworzyw ceramicznych typu PZT. Na szczególną uwagę zasługują prace dotyczące monokryształów PZT z dużą zawartością cyrkonu oraz wykazanie słabych właściwości magnetycznych w tego typu związkach w związku z występowaniem jonów tytanu na trzecim stopniu utlenienia. Podkreślenia wymaga wykazanie w pracy opublikowanej w *Journal of Physics D: Applied Physics* istnienia nowego przejścia fazowego w $\text{PbZr}_{0,87}\text{Ti}_{0,13}\text{O}_3$ czy

też gigantycznego zjawiska piezoelektrycznego występującego w kryształach o koncentracji Ti z okolic punktu trójkrytycznego. Tematyce tej poświęcone zostało 6 artykułów, jeden wysłany do druku w czasopiśmie *Advanced Functional Materials* oraz, jak podaje Habilitant w autoreferacie, jeden jest w trakcie przygotowywania do publikacji. Artykuły te opublikowane zostały w czasopismach takich jak *Applied Physics Letters*, *Ferroelectrics*, *Journal of Materials Chemistry C* i *Ceramics International*.

Kolejne 5 publikacji, jak pisze Habilitant, będących efektem doraźnej współpracy z różnymi grupami badawczymi, również opublikowane zostały w bardzo dobrych czasopismach takich jak *Phase Transitions*, *Ceramics International*, *Crystal Growth & Design* i *Analytical and Bioanalytical Chemistry*.

Oprócz publikacji naukowych wyniki Jego prac badawczych przedstawiane były na wielu krajowych lub międzynarodowych konferencjach naukowych. Jak wynika z wykazu osiągnięć naukowych przygotowanych przez dr D. Kajewskiego, takich wystąpień było 23 w tym 14 w postaci wystąpień ustnych (9 wystąpień ustnych było wygłoszonych przez Habilitanta) i 9 w postaci posterów.

Jak wynika z mojego krótkiego podsumowania działalności naukowej dr Dariusza Kajewskiego, prowadzi on intensywną działalność badawczą w dziedzinie fizyki ciała stałego. Wyniki tych badań mają i mogą mieć także duże znaczenie praktyczne w technologii nowych materiałów i kompozytów, których zastosowania są bardzo szerokie. Jako chemik technolog zajmujący się „od zawsze” technologią zaawansowanych tworzyw ceramicznych staram się także zawsze podkreślać, iż technologia tego typu materiałów jest zawsze „wierzchołkiem piramidy”, ale której podstawą są zawsze nauki podstawowe takie jak fizyka, chemia, matematyka, mechanika, itd. Moim zdaniem, tylko takie rozumienie materiału ma szansę nie tylko na nowe odkrycia naukowe, ale także na szybkie zastosowanie tego w praktyce przemysłowej. W publikacjach dr Dariusza Kajewskiego, wyczuwa się bardzo dobre opanowanie przez Niego warsztatu badawczego i rosnące, wraz z kolejnymi publikacjami, kompetencje Autora.

Na Jego sumaryczny dorobek naukowy składa się 29 artykułów opublikowanych w czasopismach z listy filadelfijskiej (2 artykuły z tej liczby opublikowane zostały jeszcze przed doktoratem), w tym 7 artykułów będących przedmiotem rozprawy habilitacyjnej. Sumaryczny Impact Factor Jego publikacji wynosi 83,333 liczony jako suma Impact Factor poszczególnych czasopism z roku wydania danej publikacji. Liczba punktów MNiSW, także liczona wg listy czasopism z roku wydania publikacji wynosi 1316. Index Hirscha na 10.08.2020 wg Web of Science, Scopus oraz Google Scholar wynosi 7. Moim zdaniem jest to znaczący i wystarczający dorobek naukowy dla osób ubiegających się o stopień naukowy doktora habilitowanego. Prace publikowane z udziałem dr Dariusza Kajewskiego spotykają się już ze znaczącym uznaniem i zainteresowaniem środowiska naukowego, o czym świadczy liczba cytowań: wg stanu na 10.08.2020 liczby cytowań przedstawiają się następująco—138

wg Web of Science (101 bez autocytowań), 135 wg Scopus (109 bez autocytowań) i 170 wg Google Scholar. Jest to liczba znacząca biorąc pod uwagę młody wiek Habilitanta. O jego pozycji naukowej świadczy powierzanie mu do recenzowania artykułów w tak uznanych w świecie czasopismach jak *Journal of the American Ceramic Society*, *Ceramics International*, *Journal of Alloys and Compounds*, *Phase Transitions*, *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, *Materials Research*, *Crystal Growth & Design* i innych. Trochę mnie tylko dziwi, że dr Dariusz Kajewski nie kierował dotąd żadnym projektem własnym czy to w ramach NCN czy też NCBiR. Brał jedynie udział, jako wykonawca, w dwóch projektach kierowanych przez prof. dr hab. Krystiana Roledera,

Chciałbym także podkreślić, iż wyniki badań Pana dr Dariusza Kajewskiego opublikowane zostały w bardzo dobrych czasopismach nie tylko związanych z chemią i fizyką ciała stałego, ale także w czasopismach bezpośrednio związanych z szeroko rozumianą technologią ceramiki. Świadczy to także o potencjale aplikacyjnym Jego badań. Tak więc, na tym tle, dorobek Habilitanta wyróżnia się bardzo korzystnie przez konsekwentne rozwijanie badań w określonym i ważnym, także z praktycznego punktu widzenia, kierunku. Przyniosło to wyniki, które są, moim zdaniem, jednoznacznie pozytywne.

Na podstawie tej krótkiej charakterystyki, rysuje się sylwetka dr Dariusza Kajewskiego jako już w pełni samodzielnego pracownika naukowo-badawczego potrafiącego rozwiązywać zagadnienia z dziedziny otrzymywania i opisu struktur oraz przemian zachodzących w różnych materiałach w tym oczywiście ferroelektrycznych.

Dorobek dydaktyczny i organizacyjny

Zgodnie z materiałami przesłanymi mi przez Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu legitymuje się On dużą aktywnością w dziedzinie dydaktyki. W ramach zajęć dydaktycznych prowadzonych na Jego macierzystym Wydziale prowadził i prowadzi wszystkie typy zajęć: ćwiczenia rachunkowe, ćwiczenia laboratoryjne, konwersatoria, seminaria i wykłady. Prowadzi wykłady z przedmiotu „Wybrane zagadnienia z optometrii; Podstawy Fizyki: Mechanika”, konwersatoria z przedmiotu „Fizyka Materiałów Półprzewodnikowych”, ćwiczenia rachunkowe z przedmiotów takich jak „Podstawy fizyki (Mechanika; Elektryczność i Magnetyzm; Optyka i budowa materii; Fale, Optyka i budowa materii; Termodynamika), „Fizyka dla informatyków”, „Fizyka ogólna dla ekonofizyki” oraz seminaria magisterskie i ćwiczenia laboratoryjne. Są to typowe zajęcia dydaktyczne prowadzone przez adiunktów na uczelniach wyższych.

Jak dotychczas był On promotorem jednej pracy magisterskiej i 2 prac dyplomowych licencjackich a także recenzentem 3 prac licencjackich i 5 prac magisterskich. Pełnił także funkcję promotora pomocniczego w doktoracie Adriana Niewiadomskiego pt. „Dynamika sieci krystalicznej a pojawianie się ferroelektryczności w wolframianie bizmutu Bi_2WO_6 i antyferroelektryczności w niobianie srebra AgNbO_3 i roztworach stałych na jego bazie”, którego promotorem był prof. dr hab. Antoni Kania.

Oprócz zajęć prowadzonych na swoim macierzystym Wydziale dr Dariusz Kajewski był i jest bardzo aktywny w działalności popularyzatorskiej na rzecz nauki poprzez udział w 12, 13, 14 i 15 Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik (Warszawa) jako członek zespołu reprezentującego Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego i innych przedsięwzięciach organizowanych przez Pracownię Dydaktyki Fizyki Jego Instytutu. Chciałbym także podkreślić zaangażowanie Habilitanta w działalność na rzecz popularyzacji fizyki wśród dzieci, młodzieży gimnazjalnej i ponadgimnazjalnej, a także Jego aktywny udział w kursach dla nauczycieli organizowanych przez Śląski Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli „Oświata” czy przez Śląskie Kuratorium Oświaty. Był On także współtwórcą i członkiem Kolegium Naukowego w latach 2009-2013 „Uniwersytetu Śląskiego Dzieci”. Nie jest rolą recenzenta wymienianie wszystkich działań Habilitanta na polu popularyzacji fizyki. Chciałbym tylko podkreślić, iż są one naprawdę imponujące. Świadczy to tylko o tym jak bardzo związany jest z szeroko rozumianą fizyką, jak jest ona mu bliska i jak bardzo chciałby, aby dotarła ona do jak najszerzych warstw społeczeństwa. Jeśli chodzi o inną działalność organizacyjną prowadzoną w Instytucie Fizyki i na macierzystym Wydziale to wymienić należy Jego członkostwo w Radzie Instytutu Fizyki w kadencji 2012-15 i kadencji 2015-19 oraz w Radzie Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Śląskiego także w kadencji 2012-15 i kadencji 2015-19. Wcześniej, jeszcze jako doktorant, zorganizował Laboratorium Cienkich Warstw w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Śląskiego oraz brał udział w organizacji Laboratorium Mikroskopii ze Skanującą Sondą w swoim Instytucie.

Ocena rozprawy habilitacyjnej

Przedstawiona mi do oceny rozprawa habilitacyjna dr Dariusza Kajewskiego jest zbiorem 7 publikacji opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie JCR (Journal Citation Reports). Publikacje te ukazały się w latach 2016-2020 w takich czasopismach jak *Physical Review B*, *Journal of Alloys and Compounds* (2 artykuły), *Journal of the American Ceramic Society*, *Journal of Materials Chemistry C* i *Ceramics International*. Oprócz wieloautorskich artykułów opublikowanych w wyżej wymienionych czasopismach, do rozprawy habilitacyjnej należy także monoautorski przeglądowy artykuł opublikowany w czasopiśmie *Crystals*. Są to bardzo dobre czasopisma o zasięgu światowym i o dużym współczynniku oddziaływania. We wszystkich tych publikacjach dr Dariusz Kajewski był autorem korespondencyjnym. Publikacje te zostały w sposób syntetyczny omówione w autoreferacie Kandydata. Omówienie to zawiera wprowadzenie, cel i przedmiot badań, omówienie zastosowanych metod badań oraz uzyskane wyniki badań. Całość zakończono krótkim podsumowaniem i bibliografią zawierającą 61 pozycji literaturowych. Taki sposób przedstawienia wyników oceniam jako bardzo logiczny i optymalny z punktu widzenia Recenzenta, ponieważ pozwala szybko zorientować się w najważniejszych wynikach uzyskanych przez Habilitanta.

Publikacje stanowiące podstawę ubiegania się dr Dariusza Kajewskiego o stopień naukowy doktora habilitowanego oraz cel tych badań, moim zdaniem, dobrze oddaje tytuł podsumowujący wyniki przedstawione w wyżej wymienionych publikacjach: „**Defekty a niestabilność sieci krystalicznej w antyferroelektrycznym PbZrO_3** ”. Skoncentrowanie się Habilitanta na modelowym antyferroelektryku jakim jest bez wątpienia PbZrO_3 , oraz zbadanie jaki wpływ mają defekty sieci krystalicznej oraz ich rodzaj na przejścia fazowe oraz lokalne łamanie symetrii w monokryształach i ceramicznych tworzywach polikrystalicznych, w skład których wchodzi PbZrO_3 , ma nie tylko duże znaczenie poznawcze, ale także może stanowić podstawę do dalszego rozwoju technologii wielu nowych tworzyw ceramicznych typu PZT i innych mających bardzo duże zastosowanie w wielu dziedzinach techniki. Aby zrealizować tak postawiony cel, badania realizowane w ramach tej pracy dotyczyły następujących zagadnień:

- określenie wpływu defektów wytworzonych w warunkach wysokiej próżni na przejścia fazowe w niedomieszkowanych kryształach PbZrO_3 ;
- określenie wpływu domieszki donorowej w postaci jonów niobu na dynamikę sieci kryształów PbZrO_3 i lokalne łamanie symetrii powyżej T_c ;
- określenie wpływu powierzchni i objętości kryształu na właściwości dielektryczne kryształu PbZrO_3 domieszkowanego niobem, wskutek segregacji defektów sieci wywołanych działaniem przemiennego pola elektrycznego;
- zbadanie oddziaływań między obszarami polarnymi w tworzywie ceramicznym typu PZT o stechiometrii $\text{PbZr}_{0.70}\text{Ti}_{0.30}\text{O}_3$ domieszkowanych jonami bizmutu powyżej T_c .

Tak sformułowany powyżej cel pracy zrealizowano z wykorzystaniem trzech rodzajów materiałów: monokryształów PbZrO_3 , monokryształów PbZrO_3 domieszkowanych jonami niobu oraz polikrystalicznego tworzywa ceramicznego o stechiometrii $\text{PbZr}_{0.70}\text{Ti}_{0.30}\text{O}_3$ domieszkowanych jonami bizmutu o różnej koncentracji. Wybór takich materiałów i takiej metodyki badań wynikał z pytania postawionego przez Habilitanta podczas realizacji Jego badań, a mianowicie czy przyczyną występowania powyżej temperatury T_c obszarów polarnych jak i tzw. fazy przejściowej tłumaczonej jako współistnienie fazy paraelektrycznej i antyferroelektrycznej są samoistne defekty sieciowe czy też defekty spowodowane obecnością różnego typu zanieczyszczeń technologicznych. Badanie to w większości istniejących w literaturze prac badawczych prowadzone jest w wykorzystaniem polikrystalicznych tworzyw ceramicznych z PbZrO_3 celowo defektowanych w próżni i w wysokiej temperaturze. W takiej sytuacji nie wiadomo, w których miejscach powstają kreowane w wysokiej temperaturze i w wysokiej próżni defekty: czy we wnętrzu ziaren, na granicy międzyziarnowej czy też w obu miejscach równocześnie. Zastosowanie więc kryształów, w których w odróżnieniu od polikrystalicznej ceramiki z PbZrO_3 , brak jest granic międzyziarnowych powinno zdecydowanie ułatwić uzyskanie odpowiedzi na tak postawione pytanie. Oczywistym jest, iż w takim wypadku konieczne jest otrzymanie takich kryształów nie tylko z czystego PbZrO_3 ale także z PbZrO_3

domieszkowanego jonami niobu co nie jest łatwe. Kolejnym ważnym pytaniem jest także to, jakiego rodzaju defekty odpowiedzialne są za występowanie fazy przejściowej i jaki jest ich rodzaj, jaki jest wpływ stężenia domieszki jonów niobu (zarówno w temperaturach poniżej jak i powyżej T_c) na przejścia fazowe w takich domieszkowanych kryształach PbZrO_3 . Oprócz tego, na tego typach kryształach zbadano jak wpływa przemienne pole elektryczne na migrację defektów. Wyniki tych badań przedstawiono w pięciu artykułach opublikowanych w *Physical Review B*, *Journal of Alloys and Compounds* oraz w *Journal of the American Ceramic Society*.

Badania nad wpływem dodatku jonów Bi^{3+} na właściwości polikrystalicznego tworzywa ceramicznego o stechiometrii $\text{PbZr}_{0.70}\text{Ti}_{0.30}\text{O}_3$ zostało przeprowadzone w celu sprawdzenia jaki wpływ na właściwości dielektryczne takiego tworzywa ceramicznego będzie miało zastąpienie jonu Pb^{2+} jonom o zbliżonym promieniu jonowym ale na wyższym stopniu utlenienia. Badania te wykazały, że wzrost stężenia jonów bizmutu obniża temperaturę przejścia fazowego ze stanu paraelektrycznego do ferroelektrycznego oraz zmniejsza zjawisko dyspersji dielektrycznej w tym materiale. Wynikiem tych badań było także zaobserwowanie, wykorzystując metodą pomiaru dwójłomności i właściwości dielektrycznych PZT domieszkowanego jonami Bi^{3+} , oddziaływania między sobą obszarów polarnych oraz faktu, iż defekty tego typu w sieci krystalicznej podwyższają temperaturę zaniku tego typu obszarów polarnych.

Analizując wyniki uzyskane w ramach recenzowanej rozprawy habilitacyjnej dr D. Kajewskiego, można jednak dopatrzeć się pewnej niespójności w wyborze materiału badawczego dokonanego przez Habilitanta. Ta niespójność, zdaniem recenzenta, wynika z faktu, iż do badań wpływu defektów na zmiany zachodzące w strukturze krystalicznej PbZrO_3 stosowane były kryształy tego związku, natomiast do badań nad wpływem domieszki jonów Bi^{3+} , polikrystalicznego tworzywa ceramicznego z $\text{PbZr}_{0.70}\text{Ti}_{0.30}\text{O}_3$ (tworzywo PZT). Jeżeli, jak podaje Habilitant w swoim autoreferacie, w dwóch ośrodkach na świecie, w tym w Instytucie Fizyki w Katowicach, udało się wyhodować kryształy z PZT, to dlaczego tych badań nie przeprowadzono najpierw na monokryształach a dopiero w kolejnym kroku na polikrystalicznym tworzywie ceramicznym o takim samym składzie? Co prawda Habilitant to uzasadnia w swoim autoreferacie dużymi trudnościami nie tylko w uzyskaniu kryształów PZT o dużej zawartości tytanu, ale jeszcze większymi trudnościami w wyhodowaniu kryształów PZT domieszkowanych innym jonami. Recenzent zdaje sobie z tego sprawę, iż nie jest to łatwe, ale praca naukowa nie kończy się przecież na habilitacji. Nie jest to zarzut, gdyż zawsze coś można zrobić lepiej, ale tylko zachęta do podjęcia takiego trudu i wyzwania. Myślę, iż w przyszłości Habilitant podejmie takie wyzwanie, gdyż podejmowanie kolejnych wyzwań w nauce jest nie tylko kluczem ale i esencją działalności ludzi nauki.

Tak ciekawe wyniki uzyskane w ramach recenzowanej rozprawy habilitacyjnej uzyskane zostały przy zastosowaniu nowoczesnych metod badawczych. Oprócz standardowych metod stosowanych do

badania materiałów takich jak badania dyfraktometryczne czy badania z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej sprzężonej z EDS zastosowano także takie metody badawcze jak:

- pomiar pojemności i przewodnictwa elektrycznego umożliwiającego wyznaczenie zmian przenikalności dielektrycznej oraz strat dielektrycznych badanych materiałów w funkcji temperatury;
- pomiar dwójłomności w funkcji temperatury;
- pomiary właściwości piezoelektrycznych, elektrostrykcyjnych i piroelektrycznych w funkcji temperatury;
- badania ramanowskiego i brillouinowskiego rozpraszania światła;
- badania struktury elektronowej z użyciem spektroskopii fotoelektronów rentgenowskich (XPS).

Tak szerokie badania można było przeprowadzić tylko w ramach szerokiej współpracy naukowej nie tylko w ramach macierzystego Wydziału, Uczelni czy innych jednostek naukowych w naszym kraju, ale także w ramach współpracy międzynarodowej m. in. z Department of Physics and School of Nano Convergence Technology w Hallym University Chuncheon, w Republice Korei. Tylko takie podejście umożliwia nie tylko znacznie szersze spojrzenie na badane zagadnienie, ale także na uzyskanie bardziej interesujących i często nieoczekiwanych wyników zmieniających w zdecydowany sposób spojrzenie na badane zagadnienie, co jest motorem postępu w danej dziedzinie.

Wniosek końcowy

Na podstawie przedstawionego mi do oceny dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego pozytywnie oceniam dokonania naukowo-badawcze dr Dariusza Kajewskiego a przedstawiona rozprawa habilitacyjna pt. **„Defekty a niestabilność sieci krystalicznej w antyferroelektrycznym PbZrO_3 ”** stanowi twórczy wkład Autora w poznanie wpływu defektów struktury krystalicznej na przejścia fazowe i na symetrię kryształów PbZrO_3 a także innych polikrystalicznych tworzyw ceramicznych syntezowanych z udziałem tego związku. Pozytywna ocena znacznego dorobku naukowego i dydaktycznego oraz uznana już pozycja Habilitanta w kraju i za granicą pozwala mi przedłożyć Radzie Naukowej Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk wniosek o przyjęcie rozprawy habilitacyjnej i dopuszczenie dr Dariusza Kajewskiego do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.

