

Dr hab. inż. Magdalena Dudek
Wydział Energetyki i Paliw
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie

Wpłynęło dnia 09.12.2016r.

Kraków 4.12.2016

L. dz. 75/NFT:MS/SN/2016r.

Zat. —

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Tadeusza Miruszewskiego pt. „Zbadanie właściwości strukturalnych i elektrycznych niestechiometrycznych domieszkowanych związków typu $Sr_x(Ti,Fe)O_{3-\delta}$ ” wykonanej pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Bogusława Kusza oraz promotora pomocniczego dr inż. Jakuba Karczewskiego

Podstawą wykonania recenzji było pismo skierowane przez Pana Dziekana Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej, prof. dr hab. inż. Wojciecha Sadowskiego z dn. 4.10.2016 informującego o powołaniu mnie przez Radę Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej w dniu 19.09.2016 na recenzenta tej rozprawy.

Tematyka pracy doktorskiej

Temat badawczy, którego podjął się Pan Tadeusz Miruszewski podczas realizacji rozprawy doktorskiej uważam za bardzo ważny. Tematyka pracy dotyczy charakterystyki właściwości fizykochemicznych materiałów ceramicznych, o jonowo-elektronowym mechanizmie przewodnictwa elektrycznego. Autor rozprawy zajmował się materiałami tlenkowymi o strukturze perowskitu z grupy $Sr_x(TiFe)O_{3-\delta}$.

Ceramiczne przewodniki jonowo-elektronowe stanowią obecnie bardzo ważną grupę funkcjonalnych materiałów pretendujących do zastosowania między innymi do budowy urządzeń elektrochemicznych takich jak stałotlenkowe ogniwa paliwowe, stałotlenkowe elektrolizery parowe, elektrochemiczne separatory gazowe, czy sensory gazowe i wiele innych.

Opracowanie konstrukcji tych urządzeń, charakteryzujących się niezawodnością działania przez długi okres czasu przy uzasadnionych ekonomicznie kosztach ich produkcji i eksploatacji jest czynnikiem warunkującym rozwój nowych technologii energetycznych, skoncentrowanych na wytwarzaniu i magazynowaniu energii elektrycznej. Obecnie na świecie prowadzi się liczne prace badawczo-rozwojowe dotyczące magazynowania energii elektrycznej w postaci energii chemicznej paliw gazowych lub ciekłych, opracowania technologii spalania tlenowego czy poprawy efektywności procesu spalania paliw a także ograniczenia negatywnego wpływu produktów spalania na środowisko

Temat rozprawy doktorskiej mgr inż. T. Miruszewskiego odnosi się do aktualnych prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w wielu ośrodkach w kraju i świecie w zakresie poszukiwania nowych funkcjonalnych materiałów do budowy urządzeń elektrochemicznych.

Ogólna charakterystyka recenzowanej pracy

Przedstawiona do recenzji dysertacja pt. „Zbadanie właściwości strukturalnych i elektrycznych niestechiometrycznych, domieszkowanych związków typu $Sr_x(Ti,Fe)O_{3-\delta}$ ”, której autorem jest Pan T. Miruszewski, liczy 221 stron. Rozprawa doktorska składa się z dwóch zasadniczych części : części wprowadzającej, (rozdziały 1-3), doświadczalnej (rozdziały 4-5) oraz podsumowania wyników badań (rozdział. 6) Cel i tezy pracy zostały nakreślone w rozdziale 2. Praca zawiera podsumowanie rozprawy doktorskiej, spis tabel i rysunków, wykaz używanych symboli i skrótów oraz dorobek naukowy autora rozprawy w postaci załącznika 1. Bibliografia zawiera 219 cytowanych pozycji literaturowych (w tym publikacje Doktoranta, związane bezpośrednio z realizowaną rozprawą doktorską). Należy podkreślić, że pozycje literaturowe zamieszczone w pracy zostały bardzo trafnie dobrane i obejmują znaczące prace w literaturze światowej oraz krajowe.

Cel i tezy badawcze pracy postawione przez Autora

Celem rozprawy doktorskiej było otrzymanie i charakterystyka właściwości materiałów o mieszanym przewodnictwie jonowo-elektronowym na bazie tytanianu strontu oraz żelazianu strontu.

W trakcie prowadzonych badań będących realizacją głównego celu pracy koniecznym było określenie i realizacja celów dodatkowych do których należą:

- 1) Opracowanie zmodyfikowanej metody syntezy nanostrukturalnych ceramik perowskitowych pozwalających na prowadzenie procesu syntezy w niskich temperaturach
- 2) Opracowanie metody pomiaru mieszanego przewodnictwa elektrycznego w przypadku, gdy $\sigma_{el} > \sigma_{jon}$.

W oparciu o tak postawione cele rozprawy doktorskiej na etapie wstępnym Autor sformułował cztery tezy badawcze:

TEZA 1 – modyfikacja $Sr(TiFeO)_3$ poprzez odpowiednie domieszkowanie itrem lub żelazem i ekspozycja w czasie procesu syntezy na różne warunki termodynamiczne (ciśnienie pO_2 , temperatura) może znacząco wpłynąć na właściwości strukturalne i elektryczne oraz pozwolić na uzyskanie materiału wykazującego mieszane przewodnictwo jonowe-elektronowe (MIEC) w którym parcjalne przewodności nie różnią się więcej niż o dwa rzędy wielkości.

TEZA 2 – odstępstwo od stechiometrii w podsięci strontu w domieszkowanym $SrTiO_3$ wpływa w sposób znaczący na właściwości strukturalne i elektryczne.

TEZA 3 – Istnieje wpływ zastosowanej metody wytwarzania domieszkowanego itrem i lub żelazem $SrTiO_3$ na otrzymaną mikrostrukturę i co za tym idzie na właściwości elektryczne i transportowe

TEZA 4 – Opracowanie nowej prostej do przeprowadzenia metody syntezy chemicznej może pozwolić na uzyskanie jednofazowych materiałów $Sr(Ti,Fe)O_3$ o budowie nanokrystalicznej już w bardzo niskiej temperaturze spiekania.

TEZA DODATKOWA : zbadanie zjawiska przewodnictwa jonowego w otrzymanych domieszkowanych materiałach perowskitowych posiadających wysoką liczbę t_{el} wymaga opracowania metod pomiaru pozwalających na rozdzielenie obu składowych parcjalnych przewodności elektrycznej

Sformułowane tezy badawcze uważam za prawidłowe i jak najbardziej zasadne do weryfikacji doświadczalnej

Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej

Część wprowadzająca (literaturowa) została zredagowana starannie i wnikliwie. Moim zdaniem dobrze naświetla zagadnienia związane z wyborem tematu rozprawy jaki i zakresem realizowanych prac doświadczalnych.

Rozdział 1 – Wprowadzenie

Autor rozprawy wprowadza Czytelnika w zagadnienia inżynierii materiałowej, wskazuje na immanentne właściwości materiałów ceramicznych, o których decyduje nie tylko skład chemiczny, struktura, ale także mikrostruktura kształtująca się w wyniku zastosowanego procesu technologicznego. Dokonuje charakterystyki tworzyw ceramicznych ze względu na właściwości elektryczne. Przedstawia znaczenie materiałów ceramicznych dla rozwoju nowych technologii energetycznych mających na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Doktorant zwraca uwagę, że oprócz wytypowania materiałów ceramicznych do badań, niezbędnym jest również opracowanie nowych metod badawczych lub modyfikacja już istniejących w celu zebrania wartościowych i wiarygodnych danych doświadczalnych niezbędnych w pracy naukowej jak i inżynierskiej.

Rozdział 2 Cel i tezy rozprawy doktorskiej (omówiono we wstępie recenzji)

Rozdział 3. Część teoretyczna rozprawy

Rozdział ten składa się z następujących podrozdziałów

3.1.1 Wiadomości ogólne. Zastosowanie

W podrozdziale 3.1.1 Autor zawarł ogólne informacje dotyczące krystalografii tlenków o strukturze perowskitu ABO_3 . Omówił ze względu na właściwości fizykochemiczne możliwości zastosowania materiałów tlenkowych o strukturze perowskitu w różnych dziedzinach techniki (telekomunikacja, urządzenia elektrochemiczne, reaktory chemiczne do konwersji paliw itp.)

3.1.2 Przegląd wybranych metod wytwarzania perowskitów. W podrozdziale tym Autor przedstawił metody wytwarzania materiałów tlenkowych o strukturze perowskitu zarówno metodą reakcji w fazie stałej jak i mokrymi metodami chemicznymi (metody sol-gel, hydrotermalna, Pechiniego, samospaleniowa). Zwięzłe przedstawienie najważniejszych cech poszczególnych metod syntezy nanoproszków pozwoliło Autorowi w części doświadczalnej przedstawić zarys i zalet opracowanej własnej metody syntezy proszków na tle innych technik

3.2.2 Tytanian strontu $SrTiO_{3-\delta}$. W podrozdziale tym (3.2.1-3.2.2) T. Miruszewski omówił podstawowe właściwości, budowę krystaliczną $SrTiO_{3-\delta}$, strukturę elektronową tytanianu strontu. Doktorant przedstawił opis chemii defektów tytanianu strontu (**podrozdział 3.2.3**) odpowiednio dla niedomieszkowanego oraz domieszkowanego $SrTiO_{3-\delta}$, a także dokonał przeglądu dostępnych w literaturze modeli chemii defektów punktowych w tytanianie strontu (**podrozdział 3.2.4**)

W podrozdziałach 3.2.2-3.2.4 Autor bardzo wnikliwie przeanalizował najważniejsze czynniki mające wpływ na właściwości elektryczne materiałów $SrTiO_{3-\delta}$. Na szczególną uwagę zasługuje kompleksowa analiza literatury dotycząca problematyki odstępstwa od stechiometrii oraz defektów punktowych. Zagadnienia te mają fundamentalne znaczenie przy projektowaniu właściwości elektrycznych materiałów elektrodowych, co Autor udowodnił podczas realizacji rozprawy doktorskiej.

Podrozdziały 3.3.1-3.3.3 dotyczą analizy podstawowych właściwości fizykochemicznych, budowy krystalograficznej $SrFeO_{3-\delta}$, struktury elektronowej, właściwości elektrycznych.

W podrozdziale 3.4 Autor przedstawił opis transportu ładunku elektrycznego w związkach perowskitowych. Pan T. Miruszewski zawarł ogólne zagadnienia związane z transportem ładunku w ciałach stałych, przeanalizował transport ładunku bez/i w obecności pola elektrycznego oraz nakreślił problematykę dyfuzji w $SrTiO_3$.

Z kolei w podrozdziale 3.5 Doktorant przedstawił zagadnienia związane z problematyką transportu jonowo-elektronowego w materiałach ceramicznych. Omówił możliwości pomiaru całkowitej przewodności elektrycznej, możliwości określenia składowych przewodności jonowej i elektronowej dostępnymi technikami badawczymi.

Mojej wysokiej oceny tej części pracy nie umniejszają zauważone w tekście skróty myślowe, czy potknięcia językowe, których w pracy jest bardzo niewiele.

Mam następujące uwagi co do sformułowania „właściwości strukturalne” ? Co Autor ma na myśli ? Moim zdaniem chodziło Autorowi o określenie wpływu struktury, zmian zachodzących w strukturze materiału na jego właściwości fizykochemiczne np. przewodność elektryczną. W naukach o materiałach/ inżynierii materiałowej zawsze rozważa się wpływ struktury materiału, zmian zachodzących w strukturze na właściwości elektryczne, cieplne, mechaniczne, optyczne, itp.)

Ocena merytoryczna części doświadczalnej rozprawy

W rozdziale 4 Autor opisał preparatykę materiałów oraz zastosowane metody badawcze. Próbkę materiałów tlenkowych o strukturze perowskitu z grup:

- $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$, gdzie $0.1 < x < 0.8$,
- $Y_{0.07}Sr_{0.93-x}O_{3-\delta}$, gdzie x wynosi odpowiednio: -0.05; 0; 0.05
- $(Y_{0.07}Sr_{0.93})_zTi_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$, gdzie $z = 0.94, 1.00$ oraz 1.06 otrzymano metodami: reakcji w fazie stałej oraz zmodyfikowaną opracowaną przez Autora metodą zol-żel

Opis preparatyki próbek nie budzi zastrzeżeń. Doktorant w trakcie realizacji programu badawczego zastosował szereg technik pomiarowych mających na celu ujęcie relacji pomiędzy strukturą, mikrostrukturą, odstępstwem od stechiometrii a właściwościami elektrycznymi i elektrochemicznymi opracowywanych materiałów elektrodowych zawierających Sr (Ti,Fe)O₃. Uważam, że zaproponowane metody badawcze przez Autora pracy są w pełni poprawne i świadczą o jego bardzo dobrej znajomości współczesnych technik pomiarowych stosowanych w badaniach właściwości fizykochemicznych materiałów ceramicznych.

Na podkreślenie zasługuje przede wszystkim bardzo dobre opanowanie metod pozwalających na kompleksową charakterystykę właściwości elektrycznych. Należy podkreślić, że w wielu ośrodkach badawczych powszechnie stosuje się metody zmiennego czy stałoprądowego do badania właściwości elektrycznych ceramicznych przewodników jonowych czy materiałów o mieszanym typie przewodności, to jednak rozdzielenie składowych przewodności jonowej oraz elektronowej w materiałach ceramicznych należy do zadań trudnych czy nawet bardzo trudnych.

Niewątpliwie sukcesem Doktoranta jest opracowanie zmodyfikowanej metody pomiaru przewodności parcjanej w przypadku przewodnika jonowo-elektronowego o znaczącym udziale przewodności elektronowej $\sigma_{el} > \sigma_{ion}$. Pan T. Miruszewski zweryfikował przydatność opracowanej metodyki w swoich pracach doświadczalnych. W pierwszej kolejności pomiary składowych parcjalnych przewodności elektrycznej (opis rozdział 5.1) zostały wykonane dla przewodnika jonowo-elektronowego $La_{0.70}Sr_{0.3}MnO_{3+\delta}$ (LSM30). Materiał ten potraktowano jako referencyjny, ze względu na fakt, że jego właściwości elektryczne zostały dobrze scharakteryzowane i opisane w literaturze.

W dalszej części rozprawy (rozdział 5.2) Autor przedstawia wyniki swoich badań dotyczących wpływu domieszkowania podsieci tytanu na właściwości strukturalne i elektryczne tytanianu strontu. Moim zdaniem sformułowanie „właściwości strukturalne” jest niepoprawne, raczej jest to skrót myślowy autora. Opisane w podrozdziale (5.2.1) wyniki badań dotyczące wpływu ciśnienia parcjalego tlenu na zmiany w strukturze SrTiO₃ czy mikrostrukturze są bardzo wartościowe i wnoszą szereg nowych informacji dotyczących zmian zachodzących w materiałach na bazie $Y_{0.07}Sr_{0.93}TiO_{3-\delta}$, decydujących o ich właściwościach fizykochemicznych. Wyniki tych badań mają znaczenie aplikacyjne, przy projektowaniu materiałów o kontrolowanych właściwościach (mikrostruktura materiału, udział i rozkład wielkości porów w materiałach).

Dalszym etapem prac Pana T. Miruszewskiego była analiza wpływu podstawienia jonów Ti^{4+} jonami Fe^{3+} w tlenkach $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$ na zmiany właściwości fizykochemicznych.

W pierwszej kolejności Autor przeanalizował wpływ podstawienia tytanu żelazem w materiałach z grupy $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$ na zmiany w strukturze $Y_{0.07}Sr_{0.93}TiO_{3-\delta}$. Na podstawie tych badań określił zakres składów chemicznych, w których materiały z tej grupy są jednofazowe. W próbkach o wysokiej zawartości żelaza pojawiły się wydzielenia innych faz.

Szkoda, że wyniki badań strukturalnych ograniczają się do analizy zmian stałej sieci, objętości komórki wykonane metodą Rietvelde.

Kolejnym istotnym zagadnieniem jest podjęcie próby udzielenia odpowiedzi jak częściowe podstawienie tytanu, żelazem w $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$ wpływa na zmiany mikrostrukturalne. Na Rys. 42 (str. 135) Autor przedstawił zależność zmian średniego rozmiaru ziarna na podstawie zdjęć SEM w funkcji koncentracji żelaza.

Bardzo proszę o wyjaśnienie jak została wyznaczona średnia wielkość ziarna ?

5.2.2 Badania wpływu domieszkowania tytanianu strontu na jego właściwości elektryczne

W rozdziale tym Autor dokonał kompleksowej analizy wyników otrzymanych podczas badań struktury z wynikami badań elektrycznych. Należy podkreślić, że analiza jest bardzo szczegółowa stanowi bogaty zestaw doświadczalny. Autor określił zakres podstawień w którym dochodzi do podwyższenia się przewodności elektrycznej w odniesieniu do wyjściowego materiału, a także wpływ atmosfery redukującej i utleniającej, typowych dla urządzeń elektrochemicznych. Określono udziały przewodności całkowitej, elektronowej oraz współczynniki dyfuzji. Wyniki tych badań wnoszą znaczący wkład w poznanie mechanizmu transportu elektrycznego w materiałach zawierających tytanian strontu domieszkowany itrem/lub itrem i żelazem.

5.3. Wpływ odstępstw od stechiometrii w podsieci strontu na właściwości strukturalne i elektryczne tytanianu strontu.

Autor dokonał analizy wpływu niestechiometrii w materiałach $Y_{0.07}Sr_{0.93-x}TiO_{3-\delta}$ oraz $(Y_{0.07}Sr_{0.93})_xTi_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ na zmiany w strukturze, mikrostrukturze tworzywa oraz wynikająca z tego faktu modyfikacja właściwości elektrycznych tych materiałów. Przedmiotem badań były również próbki poddane dodatkowo redukcji w wodorze w temperaturze 1400°C przez 10 h. Jakkolwiek opis badań składu fazowego oraz struktury tych materiałów nie budzi zastrzeżeń to jednak mam drobne uwagi odnośnie opisu badań mikrostrukturalnych

Rys. 61 (str 168) Obrazy SEM przelotów wykonanych dla próbek a) YS94TF20, b) YSTF20 oraz c) YS106TF20 nie są wyraźne

W jaki sposób były przygotowywane próbki do obserwacji mikroskopowych ?

Doktorant wykazał, że wartości przewodności elektrycznej zależą zarówno od składu chemicznego próbek oraz od warunków prowadzenia procesu (atmosfera redukująca, utleniająca). Autor stwierdził, że właściwości elektryczne nieredukowanych próbek bez żelaza, mimo znaczących różnic strukturalnych okazały się bardzo podobne, podczas gdy w składach domieszkowanych akceptorowo żelazem różnice właściwości okazały się wyraźne. Doktorant słusznie wskazał na związek między odstępstwem od stechiometrii a domieszkowaniem akceptorowym w tytanianie strontu.

5.4 Badania wpływu metody wytwarzania na właściwości strukturalne i elektryczne tytanianu strontu

Osiągnięciem T. Miruszewskiego jest opracowanie syntezy nanokrystalicznych proszków $Y_{0.07}Sr_{0.93-x}TiO_{3-\delta}$ oraz $(Y_{0.07}Sr_{0.93})_xTi_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ z prekursorów polimerowych (NMPP) w znacznie niższej temperaturze niż pozwala na to metoda reakcji w fazie stałej. Autor dokonał porównawczej analizy właściwości proszków oraz materiałów dla dwóch składów chemicznych $Y_{0.07}Sr_{0.93}TiO_{3-\delta}$ (YSTO) oraz domieszkowanego $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ (YSTF20). Ważnym dokonaniem Doktoranta jest otrzymanie nanokrystalicznych proszków już w temperaturze 500°C.

Szkoda, że Autor nie wykonał porównawczej charakterystyki właściwości fizykochemicznych proszków otrzymanych różnymi metodami. Mam na uwadze porównanie wielkości rozwinięcia

powierzchni BET a na jej podstawie określenia wielkości cząstki D_{BET} a także obserwacji dotyczącej budowy morfologicznej proszków czy rozkładu wielkości cząstek. Wielkość krystalitu proszku YSTO oraz YSTF20 określona na podstawie pomiarów XRD wnosi niezbyt wiele informacji technologicznych dotyczących charakterystyki proszków. Mam również uwagi odnośnie przyjętego planu badawczego porównania próbek $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ spiekanych w temperaturze 1400°C przez 24h wytworzonego z proszków otrzymanych trzema metodami.

Moim zdaniem wybór wspólnej temperatury spiekania 1400°C przez 24h nie jest najszcześniejszym rozwiązaniem, ale i tutaj chciałabym otrzymać od Doktoranta wyjaśnienia. Myślę, że należało w pierwszej kolejności wyznaczyć zmiany wielkości skurczu próbek wraz z temperaturą spiekania np. w zakresie od 25 do 1400°C metodą dylatometryczną a na ich podstawie określić początkową temperaturę spiekania próbek. Drugi krok to określenie gęstości względnych próbek i dla każdej próbki przyjęc temperaturę spiekania, w której dany materiał charakteryzuje się najwyższym stopniem zagęszczenia. Spiekanie nanokrystalicznej próbki w temperaturze 1400°C przez 24h, może okazać się już zagęszczaniem w zbyt wysokiej temperaturze, prowadząc do pojawienia się tzw. wtórnej porowatości, a także innych niekorzystnych zmian.

Autor stwierdza, że materiał $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ otrzymany mokrymi metodami chemicznymi NMPP oraz Pechiniego charakteryzuje się niższymi wielkościami przewodnictwa elektrycznego a przyczyną tego faktu jest obecność wydzieleni obcych faz w mikrostrukturze tworzyw.

Na podstawie analizy opisu wyników badań uzyskanych przez Doktoranta a także ich bardzo starannej prezentacji i interpretacji stwierdzam, że Autor osiągnął postawiony w rozprawie cel badawczy a także zweryfikował postawione tezy badawcze

Mam drobne uwagi natury ogólnej, które nasunęły mi się w trakcie studiowania bardzo ciekawej rozprawy doktorskiej.

- Moim zdaniem, szkoda że Doktorant nie wykonał analiz chemicznych choć dla 1-2 próbek z grupy badanych materiałów $Y_{0.07}Sr_{0.93}TiO_{3-\delta}$ oraz $(Y_{0.07}Sr_{0.93})_xTi_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$. W ten sposób zweryfikowano by założony skład materiału do ze składem rzeczywistym otrzymanych próbek
- W przypadku spieków z $(Y_{0.07}Sr_{0.93})_xTi_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ zasadnym wydaje się być wykonanie pomiarów techniką spektroskopii Mössbauera w celu określenia stopnia utleniania jonów Fe oraz jego najbliższego otoczenia a także ich wpływu na właściwości tych próbek
- Wykonanie analizy budowy oraz składu chemicznego granic międzyziarnowych metodą transmisyjnej mikroskopii elektronowej pozwoliło by na dostarczenie informacji na temat ewolucji tego elementu mikrostruktury (próbka wyjściowa, tuż przed pojawieniem się wydzieleni) w trakcie prowadzonych modyfikacji
- Zastosowanie dostępnych programów do statystycznej analizy mikrostruktury pozwoli na udzielenie pełnych informacji dotyczących zmian mikrostrukturalnych zachodzących pod wpływem modyfikacji zastosowanych przez Autora

Podsumowanie

Reasumując mgr inż. Tadeusz Miruszewski przedstawił bardzo wartościową rozprawę doktorską w której nie tylko uzyskał nowe wyniki badań dotyczące struktury, odstępstwa od stechiometrii, mikrostruktury, transportu ładunku w związkach typu $\text{Sr}(\text{Ti,Fe})\text{O}_{3.8}$ ale także nakreślił wytyczne do projektowania materiałów elektrodowych dla zastosowań w urządzeniach elektrochemicznych. Wyniki badań zostały już opublikowane w 6 publikacjach z listy JCR, co świadczy o tym że osiągnięcia Doktoranta zyskały już akceptację społeczności naukowej. Ponadto Autor zaprezentował swoje dokonania związane z rozprawą doktorską na konferencjach międzynarodowych i krajowych a także w jako rozdziały w monografii recenzowanej.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska spełnia warunki i wymagania określone w Art. 13.1 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym.

Wnioskuje do Rady Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie mgr inż. Tadeusza Miruszewskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto zwracam się do Rady Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Tadeusza Miruszewskiego. Uważam, że uzyskane wyniki badań przez Doktoranta są bardzo wartościowe, posiadają znaczące elementy nowości i mogą znaleźć zastosowanie aplikacyjne przy projektowaniu urządzeń elektrochemicznych. Zakres badań i ilość uzyskanych nowych wyników świadczą o bardzo dużym wkładzie intelektualnym a także pracowitości Doktoranta.

Moim zdaniem przedstawiona do recenzji praca spełnia z dużym naddatkiem wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Należy podkreślić, że mgr inż. Tadeusz Miruszewski posiada również znaczący już dorobek naukowy, udokumentowany publikacjami z listy JCR.

