

WYDZIAŁ FIZYKI TECHNICZNEJ I MATEMATYKI STOSOWANEJ

KATEDRA FIZYKI CIAŁA STAŁEGO



## Streszczenie rozprawy doktorskiej

*„Zbadanie właściwości strukturalnych i elektrycznych  
niestechiometrycznych, domieszkowanych związków typu  
 $Sr_x(Ti,Fe)O_{3-\delta}$ ”*

**Autor rozprawy: mgr inż. Tadeusz Miruszewski**

Promotor rozprawy: prof. dr hab. inż. Bogusław Kusz, prof. nadzw.  
PG

Promotor pomocniczy rozprawy: dr inż. Jakub Karczewski

Gdańsk 2016

### ***Cel pracy doktorskiej:***

Po przeprowadzeniu przeglądu literaturowego i analizie dostępnych danych dotyczących tytanianu strontu i żelazianu strontu postawiono sobie następujące cele. **Celem niniejszej pracy doktorskiej** jest otrzymanie i scharakteryzowanie materiałów o mieszanym przewodnictwie jonowo-elektronowym na bazie domieszkowanego tytanianu strontu oraz żelazianu strontu. Poprzez mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe rozumie się materiał, w którym wartości parcjalnych składowych przewodności: elektronowej ( $\sigma_{el}$ ) i jonowej ( $\sigma_{ion}$ ) nie różnią się od siebie więcej niż o dwa rzędy wielkości. W trakcie prowadzonych badań będących realizacją głównego celu konieczne stało się określenie i realizacja celów dodatkowych, jakimi są opracowanie zmodyfikowanej metody syntezy nanostrukturalnych ceramiek perowskitowych pozwalającej na prowadzenie procesu syntezy w niskich temperaturach oraz opracowanie metody pomiaru mieszanego przewodnictwa w przypadku, gdy  $\sigma_{el} \gg \sigma_{ion}$ .

### ***Tezy rozprawy doktorskiej:***

W oparciu o postawione cele rozprawy doktorskiej, na etapie wstępnym realizacji pracy sformułowano cztery tezy badawcze oraz jedną tezę dodatkową.

- modyfikacja  $\text{Sr}(\text{Ti},\text{Fe})\text{O}_3$  poprzez odpowiednie domieszkowanie itrem lub/i żelazem i ekspozycja w czasie procesu syntezy na różne warunki termodynamiczne (ciśnienie  $p\text{O}_2$ , temperatura) może znacząco wpłynąć na właściwości strukturalne i elektryczne oraz pozwolić na uzyskanie materiału wykazującego mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe (MIEC), w którym parcjalne przewodności nie różnią się więcej niż o dwa rzędy wielkości.
- odstępstwo od stechiometrii w podsieci strontu w domieszkowanym  $\text{SrTiO}_3$  wpływa w sposób znaczący na właściwości strukturalne i elektryczne.
- istnieje wpływ zastosowanej metody wytwarzania domieszkowanego itrem i/lub żelazem  $\text{SrTiO}_3$  na otrzymaną mikrostrukturę i co za tym idzie na właściwości elektryczne i transportowe.
- opracowanie nowej, prostej do przeprowadzenia metody syntezy chemicznej może pozwolić na uzyskanie jednofazowych materiałów  $\text{Sr}(\text{Ti},\text{Fe})\text{O}_3$  o budowie nanokrystalicznej już w bardzo niskiej temperaturze spiekania.

- zbadanie zjawiska przewodnictwa jonowego w otrzymanych, domieszkowanych materiałach perowskitowych posiadających wysoką liczbę  $t_{el}$  wymaga opracowania nowej, pośredniej metody pozwalającej na ilościowe określenie przewodności jonowej.

W ramach realizacji niniejszej rozprawy przeprowadzono szereg prac badawczych mających na celu próbę udowodnienia wyżej wymienionych, założonych tez pracy. W tym celu wykonano:

- analizę doniesień literaturowych i zaproponowano szereg składów chemicznych różniących się zarówno rodzajem jak i ilością stosowanych domieszek, w celu wyłonienia materiału cechującego się w najwyższym stopniu mieszanym przewodnictwem jonowo-elektronowym;
- syntezę kilkoma różnymi metodami domieszkowanych perowskitów  $\text{Sr}(\text{Ti},\text{Fe})\text{O}_3$  o różnej mikrostrukturze, co umożliwi badania wpływu metody wytwarzania na właściwości strukturalne i elektryczne;
- badania szeregu właściwości fizyko-chemicznych otrzymanych związków, ich właściwości strukturalnych, elektrycznych i, w niektórych przypadkach, również właściwości transportowych związanych dyfuzją jonów tlenu;
- opracowanie i weryfikację funkcjonalności nowej metody pomiarowej przewodnictwa jonowego.

### ***Struktura rozprawy doktorskiej:***

Rozprawa doktorska ma 227 stron i składa się z 6 rozdziałów. Ponadto w pracy znajduje się streszczenie rozprawy w języku polskim i angielskim, spis tabel i rysunków, spis wykorzystanej w realizacji pracy literatury oraz załącznik zawierający dorobek naukowy doktoranta. W pracy znajduje się 17 tabel, 73 rysunki oraz 219 odnośników literaturowych.

Pierwszy rozdział pracy zawiera wprowadzenie do rozprawy, rozdział drugi z kolei przedstawia cele pracy i założone w niej tezy. Rozdział trzeci przedstawia przegląd literaturowy dotyczący podjętej problematyki badawczej, m.in. informacje dotyczące właściwości tytanianu strontu oraz żelazianu strontu wraz z opisem chemii defektów w tych związkach oraz opis zagadnienia transportu ładunku elektrycznego w materiałach ceramicznych.

Kolejna część pracy, rozdział czwarty, przedstawia szczegółowo opis metodyki badawczej wykorzystanej podczas realizacji rozprawy doktorskiej. W rozdziale tym opisano m.in. procedurę wytwarzania badanych związków oraz metodykę badań ich właściwości strukturalnych i elektrycznych.

Wyniki badań wraz z dyskusją wyników przedstawiono w rozdziale piątym. Część pracy zawierająca wyniki badań złożona jest z następujących podrozdziałów:

- **rozdział 5.1**, przedstawiający wyniki potwierdzające poprawność opracowanej metody pomiaru przewodności jonowej w MIEC o wysokiej liczbie  $t_{el}$ ;
- **rozdział 5.2**, który ukazuje szereg wyników badań zarówno właściwości strukturalnych jak i elektrycznych w domieszkowanych  $Sr(Ti,Fe)O_3$  wytworzonych metodą konwencjonalną reakcji w fazie stałej, dla różnego stopnia domieszkowania oraz atmosfery pracy;
- **w rozdziale 5.3** przedstawiono analizę wpływu odstępstwa od stechiometrii na właściwości strukturalne i elektryczne w domieszkowanym  $Sr(Ti,Fe)O_3$ ;
- **w rozdziale 5.4** pokazano rezultaty dotyczące wpływu metod syntezy na właściwości w domieszkowanym  $Sr(Ti,Fe)O_3$ , wytworzonym różnymi metodami: metodą konwencjonalną w fazie stałej, metodą Pechiniego oraz zaproponowaną modyfikowaną niskotemperaturową metodą mokrą.

Ostatni rozdział 6 przedstawia podsumowanie całej pracy i wyznaczenie kierunków badawczych na przyszłość.

### ***Streszczenie rozprawy:***

Interesującą z punktu widzenia zastosowania w urządzeniach elektrochemicznych grupą materiałów są ceramiki wykazujące mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe. Istotne parametry charakteryzujące właściwości transportowe tych związków, i co za tym idzie ich przydatność w urządzeniach to m.in. przewodność jonowa i elektronowa. Wielkości te w związkach cechujących się mieszanym przewodnictwem elektrycznym nie różnią się bardziej niż o dwa rzędy wielkości. Dzięki temu tego typu struktury znajdują zastosowanie w urządzeniach takich jak ogniwa paliwowe, czujniki gazów, baterie czy w zaawansowanych urządzeniach elektronicznych. Jednak, aby dobrze poznać mechanizmy transportu ładunku

elektrycznego w mieszanych przewodnikach jonowo-elektronowych konieczne jest scharakteryzowanie takich wielkości jak przewodności parcjalne, liczby przenoszenia czy współczynniki dyfuzji i wymiany powierzchniowej.

Niniejsza rozprawa doktorska zatytułowana: „Zbadanie właściwości strukturalnych i elektrycznych niestechiometrycznych, domieszkowanych związków typu  $Sr_x(Ti,Fe)O_{3-\delta}$ ” przedstawia wyniki badań właściwości fizykochemicznych domieszkowanego tytanianu strontu wykazującego mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe, w celu poszerzenia o nim wiedzy i określenia jego przydatności w urządzeniach elektrochemicznych. Przebadano szereg związków  $Y_{0,07}Sr_{0,93}Ti_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$  dla koncentracji domieszek żelaza w zakresie od 0 do 80% mol. Pomiary dotyczyły wpływu domieszkowania na strukturę krystaliczną badanych związków oraz ich właściwości elektryczne (przewodnictwo elektryczne całkowite, przewodnictwo jonowe, współczynniki dyfuzji i wymiany powierzchniowej oraz liczby przenoszenia).

W związkach  $Y_{0,07}Sr_{0,93}Ti_{1-x}Fe_xO_{3-\delta}$  dla koncentracji domieszek żelaza od 0 do 80% mol. wytworzonych metodą syntezy w fazie stałej wykazano znaczący wpływ domieszkowania żelazem na właściwości materiału. Do badań parametrów transportu ładunku wykorzystano szereg metod stałoprądowych takich jak metoda relaksacji przewodnictwa, ale również opracowana w ramach niniejszej rozprawy modyfikowana metoda Hebba-Wagnera. Ta stałoprądowa metoda pozwala na wyznaczenie przewodności jonowej w materiałach cechujących się bardzo szerokim zakresem liczby przenoszenia dla jonów tlenu  $t_{ion}$ . Zastosowanie tej metody dla związków na bazie  $SrTiO_3$  jest innowacyjne w stosunku do działań podejmowanych przez inne grupy badawcze. W przypadku próbek cechujących się bardzo wysoką składową elektronową przewodnictwa elektrycznego autor rozprawy zaproponował model obliczeniowy bazujący na rozkładzie Boltzmann'a i polegający na pomiarze prądu dyfuzyjnego jonów tlenu – prądu ograniczenia w układzie. Funkcjonalność metody potwierdzono dodatkowo badając dobrze zdefiniowany materiał  $(La,Sr)MnO_3$  i opublikowano w czasopiśmie z listy JCR. Badania właściwości transportowych w domieszkowanym tytanianie strontu wykazały dla niektórych składów istnienie mieszanego przewodnictwa z liczbami przenoszenia dla jonów tlenu na poziomie 0,1 i stosunkowo wysokimi współczynnikami dyfuzji i wymiany powierzchniowej.

W ramach niniejszej pracy zbadano również wpływ niestechiometrii w podsięci strontu w związkach:  $Y_{0,07}Sr_{0,93-x}TiO_{3-\delta}$  oraz  $(Y_{0,07}Sr_{0,93})_xTi_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}$  na otrzymaną strukturę, mikrostrukturę oraz własności elektryczne. Wykazano, iż istotny wpływ na właściwości

strukturalne i elektryczne ma zarówno nadmiar jak i niedobór strontu w sieci oraz atmosfera syntezy materiału.

W pracy doktorskiej opracowano ponadto niskotemperaturową metodę syntezy z prekursorów polimerowych (NMPP) wytwarzania domieszkowanego tytanianu strontu o budowie nanokrystalicznej. Przeprowadzono szereg badań właściwości strukturalnych takimi technikami jak proszkowa dyfraktometria rentgenowska (XRD) z analizą Rietvelda, skaningowa mikroskopia elektronowa połączona z mikroanalizą rentgenowską oraz spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera. Wykonano badania, które wykazały możliwość otrzymania struktur nanometrycznych o rozmiarach ziaren nieprzekraczających 60 nm w temperaturze poniżej 500°C. Podjęto też problem badawczy mający na celu porównanie właściwości fizykochemicznych materiału  $Y_{0,07}Sr_{0,93}Ti_{0,8}Fe_{0,2}O_{3-\delta}$  spieczonego w jednakowej temperaturze 1400°C i wytworzonego trzema metodami: metodą syntezy w fazie stałej, metodą Pechiniego oraz opracowaną na potrzeby niniejszej pracy metodą niskotemperaturową. Wyniki potwierdziły, iż wybór metody wytwarzania ma znaczący wpływ zarówno na właściwości strukturalne jak i elektryczne w materiałach na bazie  $Sr(Ti,Fe)O_3$ . Badania struktury i mikrostruktury pokazały, iż związki wytworzone mokrymi metodami chemicznymi nie są jednofazowe. Ponadto, ich stechiometria po procesie spiekania różni się od zamierzonej oraz cechują się one różniącą się mikrostrukturą (rozmiar ziaren, porowatość). Wyniki badań właściwości elektrycznych materiałów wytworzonych metodą syntezy w fazie stałej, metodą Pechiniego oraz metodą NMPP, wykazały wyraźny wpływ metody wytwarzania na zarówno wartości przewodności elektrycznych jak i energii aktywacji procesu przewodnictwa. Zaobserwowano niższe wartości elektrycznych przewodności właściwych w materiałach wytworzonych metodami mokrymi w stosunku do próbki wytworzonej metodą konwencjonalną, co powiązane jest z wykazaną w pracy obecnością obcych faz.

### ***Dorobek naukowy doktoranta:***

#### **Publikacje z listy JCR:**

1) **T.Miruszewski**, J.Karczewski, B.Bochentyn, P.Jasinski, M.Gazda, B.Kusz “Determination of ionic conductivity of Sr-doped lanthanum manganite by modified Hebb-Wagner technique ” *Journal of Physics and Chemistry of Solids* 91 (2015) 163-169

- 2) **T. Miruszewski**, P. Gdaniec, J. Karczewski, B. Bochentyn, K. Szaniawska, P. Kupracz, M. Przesniak-Welenc, B. Kusz, Synthesis and structural properties of (Y,Sr)(Ti,Fe,Nb)O<sub>3</sub> perovskite nanoparticles fabricated by modified polymer precursor method, *Solid State Sciences* 59 (2016) 1-6
- 3) **T.Miruszewski**, B.Bochentyn, J.Karczewski, M.Gazda, B.Kusz „Microstructural and electrical properties of Y<sub>0.07</sub>Sr<sub>0.93-x</sub>TiO<sub>3-δ</sub> perovskite ceramics”, *Central European Journal of Physics* 10 (2012) 1202-1209,
- 4) **T.Miruszewski**, B.Trawiński, M.Gałka, J.Morzy, B.Bochentyn, J.Karczewski, M.Gazda, B.Kusz, „Correlation between structural and electrical properties in highly porous (Y,Sr)(Ti,Nb)O<sub>3</sub> SOFC anodes”, *Material Science Poland Vol.32 (2014)* , 331-340.
- 5) B.Bochentyn, J.Karczewski, **T.Miruszewski**, A.Krupa, M.Gazda, P.Jasinski, B.Kusz, "Donor substituted SrTi<sub>1+x</sub>O<sub>3</sub> anodes for SOFC", *Solid State Ionics* 225 (2012), 118–123
- 6) K.M.Dunst, J.Karczewski, **T.Miruszewski**, B.Kusz, M.Gazda, S.Molin, P.Jasiński “Investigation of functional layers of solid oxide fuel cell anodes for synthetic biogas reforming” , *Solid State Ionics* 251 (2013), 70-77
- 7) B.Bochentyn, J.Karczewski, **T.Miruszewski**, B.Kusz, “Novel method for metal-oxide Glass composite fabrication for use in thermoelectric devices” *Materials Research Bulletin* 76 (2016) 195-204
- 8) B.Kusz, **T.Miruszewski**, B.Bochentyn, M.Łapinski, J.Karczewski, „Structure and thermoelectrical properties of Te-Ag-Ge-Sb (TAGS) materials obtained by reduction of melted oxide substrates” *Journal of Electronic Materials* 45 (2016) 1085-1093
- 9) B.Bochentyn, J.Karczewski, **T.Miruszewski**, B.Kusz, Structure and thermoelectric properties of BiTe alloys obtained by novel method of oxide substrates reduction, *Journal of Alloys and Compounds* 646 (2015) 1124-1132
- 10) B.Bochentyn, **T.Miruszewski**, J.Karczewski, B.Kusz, Thermoelectric properties of bismuth antimony telluride alloys obtained by reduction of oxide reagents, *Materials Chemistry and Physics* 177 (2016) 353-359

#### **Rozdziały w monografiach recenzowanych:**

- 1) **T.Miruszewski** „Chemia defektów oraz zagadnienie dyfuzji tlenu w mieszanych przewodnikach jonowo-elektronowych na bazie związków typu ABO<sub>3</sub>”, Nowe Trendy w Naukach Inżynierskich część III, tom IV, rozdział w monografii 2012, Wydawnictwo Creative Time, numer ISBN: 978-83-63058-24-1
- 2) **T.Miruszewski** „Zagadnienie izotermicznego transportu ładunku w mieszanych przewodnikach jonowo-elektronowych w odniesieniu do termodynamiki procesów nieodwracalnych” , Nowe Trendy w Naukach Inżynierskich część IV, tom II – monografia 2013 - Wydawnictwo CreativeTime, numer ISBN: 978-83-63058-30-2.

3) **T.Miruszewski**, „Nowe Trendy w ogniach paliwowych typu SOFC”, suplement do monografii 2012 pt. „Nowe trendy w naukach inżynieryjnych”, wyd. CreativeTime, ISBN:978-83-63058-02-9; s.185

4) **T.Miruszewski**, „Przegląd materiałów stosowanych w ogniach paliwowych typu SOFC”, rozdział w monografii 2012, wyd. CreativeTime, ISBN:978-83-63058-16-6; s.218-226

#### **Inne publikacje recenzowane:**

1) Gdaniec P., Karczewski J., Bochentyn B., **Miruszewski T.**, Gazda M., Jasiński P., Kusz B. „YSZ Thin film deposited on porous substrate by spray pyrolysis” Biuletyn Polskiego Stowarzyszenia Wodoru i Ogni Paliwowych, nr. 7 (2013), s.125-126

2) **T.Miruszewski**, „Zastosowanie metody polaryzacyjnej Hebba-Wagnera do badania przewodnictwa elektrycznego w mieszanych przewodnikach jonowo-elektronowych” , Młodzi Naukowcy dla Polskiej Nauki część 10, tom I- Nauki Inżynieryjne, wyd. CreativeTime, numer ISBN: 978-83-63058-27-2

3) **T.Miruszewski**, „Modyfikowany tytanian strontu jako anoda do tlenkowych ogni paliwowych typu SOFC”, wyd. ProFuturo, ISBN: 978-83-88519-12-3; s.375-384

4) **T.Miruszewski**, J.Karczewski, P.Jasiński „Badanie ogniwa paliwowego typu SOFC z anodą na bazie perowskitu SrTiO<sub>3</sub>”, wyd. CreativeTime, ISBN: 978-83-63058-06-7; s.164-171

5) **T.Miruszewski**, J.Kraczewski, P.Jasiński „Właściwości strukturalne i katalityczne domieszkowanych związków typu SrTi<sub>1-x</sub>FeO<sub>3-δ</sub>”, wyd. CreativeTime, ISBN: 978-83-63058-13-5; s.173-183

6) **T.Miruszewski**, „Fabrication and structural properties of Y,Fe co-doped SrTiO<sub>3</sub> nanoceramics for SOFC”, wyd. EXPOL , TOMII , ISBN: 978-83-88579-08-0; s.57-26

7) K. Zagórski, **T. Miruszewski**, D. Szymczewska, P. Jasinski, M. Gazda, "Synthesis and Testing of BCZY/LNZ Mixed Proton–electron Conducting Composites for Fuel Cell Applications" *Procedia Engineering* 98 (2014) 121-128

Ponadto doktorant był uczestnikiem licznych konferencji naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym:

- Udział w 11th International Symposium on Systems with Fast Ionic Transport, Gdansk Sobieszewo, Polska, 25-29.06.2014r. , dwa postery w sesji posterowej.
- Udział w konferencji naukowej międzynarodowej: wystąpienie ustne (full oral) 20min. European Congress and Exhibition on Advanced Materials and Process FEMS EUROMAT 2015, Warszawa, Polska ,20-24.09.2015r. , **T. Miruszewski**, P.Gdaniec, J. Karczewski, K.Szaniawska, P.Kupracz, M. Gazda, B. Kusz, „Synthesis,structure



and electrical transport properties of mixed conducting (Y,Sr)(Ti,Nb,Fe)O<sub>3</sub> perovskite ceramics”.

- Udział w XIII Sympozjum Przewodniki Szybkich Jonów, Zakopane, 4-7.12.13r. 2013r., dwa postery w sesji posterowej:” Microstructural and transport properties of donor doped (Y,Sr)TiO<sub>3-δ</sub> ceramics with A-site nonstoichiometry” oraz współautor posteru:„Badanie mechanizmu przewodnictwa elektrycznego bizmutowo-germanianowych oraz bizmutowo-krzemianowych szkieł tlenkowych”.
- Udział w 4th Polish Forum Smart Energy Conversion&Storage, Krynica-Zdrój, 1-4.10.13r. współautor posteru: P.Gdaniec, J.Karczewski, B.Bochentyn, M.Gazda, P.Jasiński, T.Miruszewski, B.Kusz, „YSZ film deposited on porous substrate by spray pyro lysis”
- Udział w 15th International Summer School of Crystal Growth,Gdańsk, Polska, 4-10.08.13r. ,poster: T.Miruszewski, P.Jasiński, M.Gazda, B.Kusz, „Fabrication and structural properties of Fe,Y co-doped SrTiO<sub>3</sub> nanoceramics for SOFC”,
- Udział w 19th International Conference of Solid State Ionics w Kyoto, Japonia, w dniach 2-7 czerwca 2013r., poster w sesji posterowej pt:"The ionic conductivity in polycrystalline donor and acceptor doped perovskite ceramics".
- Udział w konferencji Gdańskie Spotkania z Nanotechnologią 2013 w Gdańsku, 23-24 maja 2013r., wystąpienie ustne pt:" Wytwarzanie oraz właściwości nanostruktur dla średniotemperaturowych, tlenkowych ogniw paliwowych typu IT-SOFC"
- Udział w 18th International Conference of Solid State Ionics w Warszawie w dniach 3-8 lipca 2011 roku,poster w sesji posterowej pt: "Donor substituted SrTi<sub>1+x</sub>O<sub>3</sub> anodes for SOFC”
- Udział z V Krajowej Konferencji Nanotechnologii w dniach 3-7 lipca 2011 roku w Gdańsku, poster w sesji posterowej pt:”Microstructural and electrical properties of Y<sub>0,07</sub>Sr<sub>0,93</sub>Ti<sub>x</sub>O<sub>3</sub> perovskite ceramics”.
- Udział z VI Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych w Krakowie w dniach 28.09-1.10.2011r., wystąpienie ustne pt: ”Modyfikowany tytanian strontu jako anoda do tlenkowych ogniw paliwowych typu SOFC”
- Udział w Konferencji „Wpływ Młodych Naukowców na Osiągnięcia Polskiej Nauki”, sesja” Nowe Trendy w naukach inżynieryjnych”, Częstochowa 19.11.11r., wystąpienie ustne w sesji referatów pt: ”Ogniwo paliwowe typu SOFC z anodą na bazie perowskitu SrTiO<sub>3</sub>”.

- Współorganizacja i wygłoszenie 2 wykładów tematycznych podczas Gdańskich Spotkań z Energia Odnawialna 2011 w Gdańsku. Tematy wykładów: „Ogniwa paliwowe” oraz „Energetyk słoneczna, systemy solarne”.
- Udział w II edycji Konferencji „Wpływ Młodych Naukowców na Osiągnięcia Polskiej Nauki”, sesja” Nowe Trendy w naukach inżynierskich”, Gdańsk, 22.04.12r., wystąpienie ustne w sesji referatowej pt.:”Właściwości strukturalne i katalityczne domieszkowanych związków typu  $\text{SrTi}_{1-x}\text{FeO}_{3-\delta}$ ”.
- Udział w 15th International Symposium of Students and Young Mechanical Engineers „Advanced In chemical and mechanical engineering” , Gdańsk 16-19.05.12r. wystąpienie ustne pt:”Fabrication and structural properties of Y,Fe co-doped  $\text{SrTiO}_3$  nanoceramics for SOFC”.
- Udział z VII Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych w Krakowie w dniach 28.09-27-29.09.2012 r, poster pt: ”Metody badań przewodnictwa jonowego w polikrystalicznych ceramikach typu MIEC (Mixed Ionic-Electronic Conductors)”.
- Udział w III edycji Konferencji „Wpływ Młodych Naukowców na Osiągnięcia Polskiej Nauki”, sesja” Nowe Trendy w naukach przyrodniczych”, Poznań, 8.12.12r., wystąpienie ustne w sesji referatowej pt.:”Badanie przewodnictwa elektrycznego materiałów katodowych do ogniw SOFC na bazie  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ”.
- Udział w IV edycji Konferencji „Wpływ Młodych Naukowców na Osiągnięcia Polskiej Nauki”, sesja” Nowe Trendy w naukach inżynierskich”, Gdańsk, 14.04.13r., wystąpienie ustne w sesji referatowej pt.:”Matematyczny model dyfuzji tlenu w mieszanych przewodnikach jonowo-elektronowych na bazie struktur  $\text{ABO}_3$ ”