

Załącznik do wniosku dr inż. Jakuba Karczewskiego z dnia 25 kwietnia 2019r. o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka

ZAŁĄCZNIK 3a

AUTOREFERAT W JĘZYKU POLSKIM



POLITECHNIKA GDAŃSKA

AUTOREFERAT

Nanostruktury w tlenkowych ogniwach paliwowych i elektrolizerach

Jakub Karczewski

Gdańsk 2019

1. Dane osobowe

Imię i Nazwisko: Jakub Karczewski
Data i miejsce urodzenia: 16.02.1982 Gdańsk
Miejsce pracy: Politechnika Gdańska
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
ul. G. Narutowicza 11/12
80-233 Gdańsk
e-mail: jakub.karczewski@pg.edu.pl
Researcher ID: L-7326-2018
ORCID 0000-0001-9322-7842

1.1. Wykształcenie

2001 - 2006	Studia na wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej na kierunku Fizyka Techniczna ukończone tytułem magistra inżyniera. Tytuł pracy magisterskiej "Badanie właściwości elektrycznych tlenków ołowiu domieszkowanych srebrem." Promotor pracy magisterskiej: prof. dr hab. inż. Bogusław Kusz, prof. zw. PG
2006 - 2011	Studia doktoranckie w Środowiskowym Studium Doktoranckim wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej, ukończone tytułem doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki. Tytuł rozprawy doktorskiej: „Badanie modyfikowanych struktur SrTiO ₃ pod względem możliwości wykorzystania jako anody w tlenkowych ogniwach paliwowych.” Promotor rozprawy doktorskiej: prof. dr hab. inż. Bogusław Kusz, prof. zw. PG

1.2. Zatrudnienie w jednostkach naukowych

2008 - 2011	Praca na stanowisku asystenta na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej
2011 -	Praca na stanowisku adiunkta na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej

2. Wykazanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego

Osiągnięcie naukowe stanowi cykl 12 publikacji połączonych tematycznie.

2.1 Tytuł osiągnięcia naukowego

„Nanostruktury w tlenkowych ogniwach paliwowych i elektrolizerach”

2.2 Wykaz publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

Jako podstawę habilitacji wskazałem cykl 12 publikacji wymienionych poniżej (H1-H12) opublikowanych w czasopismach z listy Journal Citation Reports. W poniższej tabeli został określony mój procentowy wkład w powstanie poszczególnych artykułów oraz Impact Factor (z roku wydania i aktualny pięcioletni) czasopism w których artykuły te zostały opublikowane. Dla pozycji H12 nie został on wpisany ponieważ czasopismo SN Applied Science swój pierwszy numer opublikowało w roku 2018, w związku z tym współczynnik IF nie został dla niego jeszcze określony. Szczegółowy opis mojego wkładu w powstawanie publikacji został umieszczony w załączniku 4. Wkład pozostałych współautorów został opisany w ich oświadczeniach stanowiących załącznik 5.

Większość publikacji, stanowiących główną część tego cyklu powstała w ramach mojej współpracy z czwórką doktorantów w czasie ich pracy nad rozprawami doktorskimi: Tadeuszem Miruszewskim (H4), Dagmarą Szymczewską-Grudzień (H5, H7), Aleksandrem Chrzanem (H2, H6, H8), oraz Bartoszem Kameckim (H10, H11, H12). Dla trojga z nich byłem promotorem pracy magisterskiej (D. Szymczewska-Grudzień, A.Chrzan, B.Kamecki), a ich dalsza działalność naukowa była kontynuacją badań zapoczątkowanych przez badania do pracy magisterskiej. Troje z nich (T. Miruszewski, D. Szymczewska-Grudzień, A.Chrzan) już uzyskało tytuł naukowy doktora, gdzie w dwóch przypadkach byłem ich promotorem pomocniczym. Każda z tych prac doktorskich stanowi osobne zagadnienie jednak wszystkie one łączy wspólny temat wykorzystania nanostruktur do poprawy wydajności i stabilności pracy tlenkowych ogniw paliwowych. Publikacje H10, H11 i H12 powstały w ramach realizacji projektu SONATA UMO-2015/19/D/ST8/02783 „Nowe elektrody paliwowe dla tlenkowych elektrolizerów wykorzystywanych do produkcji gazu syntezowego”, którego jestem kierownikiem. Mój wkład w powstawanie prac stanowiących prezentowane osiągnięcie naukowe, polegał przede wszystkim na opracowaniu koncepcji badań, koordynowaniu, wsparciu merytorycznym i weryfikacji prowadzonych prac eksperymentalnych, oraz pomocy w analizie danych pomiarowych. Brałem również aktywny udział w przygotowywaniu manuskryptów.

	Publikacja	Udział własny %	IF wg. bazy JCR	
			z roku wydania	5-cio letni
H1	K.Dunst, J.Karczewski , T.Miruszewski, B.Kusz, M.Gazda, S.Molin, P.Jasinski, "Investigation of functional layers of solid oxide fuel cell anodes for biogas reforming" Solid State Ionics, 251(2013)70–77	30	2,112	2,397
H2	A.Chrzan, J.Karczewski , M.Gazda, D.Szymczewska, P.Jasinski, "Investigation of thin perovskite layers between cathode and doped ceria used as buffer layer in solid oxide fuel cells" Journal of Solid State Electrochemistry 19 (2015) 1807–1815	35	2,327	2,330
H3	S.Molin, A.Chrzan, J.Karczewski , D.Szymczewska, P.Jasinski, "The role of thin functional layers in solid oxide fuel cells" Electrochimica Acta 204 (2016) 136–145	25	4,798	4,630
H4	T.Miruszewski, P.Gdaniec, J.Karczewski , B.Bohentyn, K.Szaniawska, P.Kupracz, M. Przesniak-Welenc, B.Kusz, "Synthesis and structural properties of (Y, Sr)(Ti, Fe, Nb)O _{3-δ} perovskite nanoparticles fabricated by modified polymer precursor method" Solid State Sciences 59 (2016) 1-6	30	1,811	1,894
H5	D.Szymczewska, J.Karczewski , A.Chrzan, P.Jasinski, "CGO as a barrier layer between LSCF electrodes and YSZ electrolyte fabricated by spray pyrolysis for solid oxide fuel cells" Solid State Ionics 302 (2017) 113–117	40	2,751	2,607
H6	A.Chrzan, J.Karczewski , D.Szymczewska, P.Jasinski, "Nanocrystalline cathode functional layer for SOFC" Electrochimica Acta 225 (2017) 168–174	40	5,116	4,857
H7	D.Szymczewska, A.Chrzan, J.Karczewski , S.Molin, P.Jasinski, "Spray pyrolysis of doped-ceria barrier layers for solid oxide fuel cells" Surface & Coatings Technology 313 (2017) 168–176	35	2,906	2,923
H8	A.Chrzan, J.Karczewski , M.Gazda, D.Szymczewska, P.Jasinski "La _{0.6} Sr _{0.4} Co _{0.2} Fe _{0.8} O ₃ oxygen electrodes for solid oxide cells prepared by polymer precursor and nitrates solution infiltration into gadolinium doped ceria backbone" Journal of the European Ceramic Society 37 (2017) 3559–3564	25	3,794	3,536
H9	E. Drożdż, J.Karczewski , "Synthesis and properties of porous Sr _{0.96} Y _{0.04} Ti _{1-x} Nb _x O" Solid State Ionics 320 (2018) 305-309	50	2,751 (z 2017)	2,607
H10	T.Miruszewski, B.Kamecki, M. Łapinski, J.Karczewski , "Fabrication, structural and electrical properties of Sr(V,Nb)O _{3-δ} perovskite materials" Materials Chemistry and Physics 212 (2018) 446-452	40	2,210 (z 2017)	2,296

H11	B.Kamecki, T.Miruszewski, J.Karczewski, "Structural and electrical transport properties of Pr-doped $\text{SrTi}_{0.93}\text{Co}_{0.07}\text{O}_{3-\delta}$ a novel SOEC fuel electrode materials" Journal of Electroceramics 42 (2019) 31-40	40	1,238 (z 2017)	1,455
H12	B.Kamecki, T.Miruszewski, K.Górnicka, T.Klimczuk J.Karczewski "Characterization methods of nickel nano-particles obtained by the ex-solution process on the surface of Pr, Ni-doped SrTiO_3 perovskite ceramics" SN Applied Sciences 1 (2019) 322	40	*	*
SUMARYCZNIE			31,814	31,532

2.3. Omówienie najważniejszych wyników osiągnięcia naukowego

2.3.1 Wprowadzenie

Obecna polityka państw rozwiniętych związana z dążeniem do wyeliminowania z rynku energetycznego paliw kopalnych i zastąpieniu ich odnawialnymi źródłami energii wymusza rozwój nie tylko technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych lecz również układów mogących magazynować energię pozyskaną z tych źródeł. Jednym z takich rozwiązań umożliwiających efektywne przechowywanie i odzyskiwanie energii elektrycznej wydają się być układy tlenkowych ogniw paliwowych. Urządzenia te pracują w oparciu o elektrochemiczną reakcję wodoru z tlenem. Mogą one stanowić źródło energii elektrycznej w trybie ogniwa paliwowego, wówczas układ będąc zasilany paliwem i tlenem produkuje energię elektryczną i wodę jako produkt uboczny reakcji. Jednakże jeżeli odwrócimy ten proces i dostarczymy do układu wodę i prąd wówczas możemy zmagazynować energię w postaci paliwa wodorowego. Zmian trybu pracy nie wymaga żadnej modyfikacji układu, dzięki czemu jedno urządzenie może bez przeszkód zapewnić doskonałe uzupełnienie odnawialnego źródła energii elektrycznej wytwarzając paliwo w czasie nadprodukcji energii elektrycznej i odzyskać ją z wyprodukowanego wcześniej paliwa w czasie zwiększonego zapotrzebowania. Istotną zaletą tlenkowych ogniw paliwowych w porównaniu do innych typów ogniw paliwowych jest fakt, że mogą one pracować również z innymi niż wodór paliwami, w tym między innymi z węglowodorami. Z punktu widzenia zastosowania tego typu urządzeń jako uzupełnienie odnawialnych źródeł energii jest o tyle istotne gdyż możliwe jest wykorzystanie w trybie elektrolizera mieszanki wody i ditlenku węgla co w efekcie prowadzi do powstania gazu syntezowego. Wytworzony gaz syntezowy może być następnie użyty do wytworzenia paliw węglowodorowych. Pozyskiwanie w ten sposób paliw węglowodorowych ma istotny wpływ na bezpieczeństwo i koszty przechowywania nośników energii. Dodatkowym pozytywnym czynnikiem w tego typu procesach jest również wizerunkowa kwestia wykorzystywania, a więc również ograniczania emisji ditlenku węgla.

2.3.2 Cel naukowy

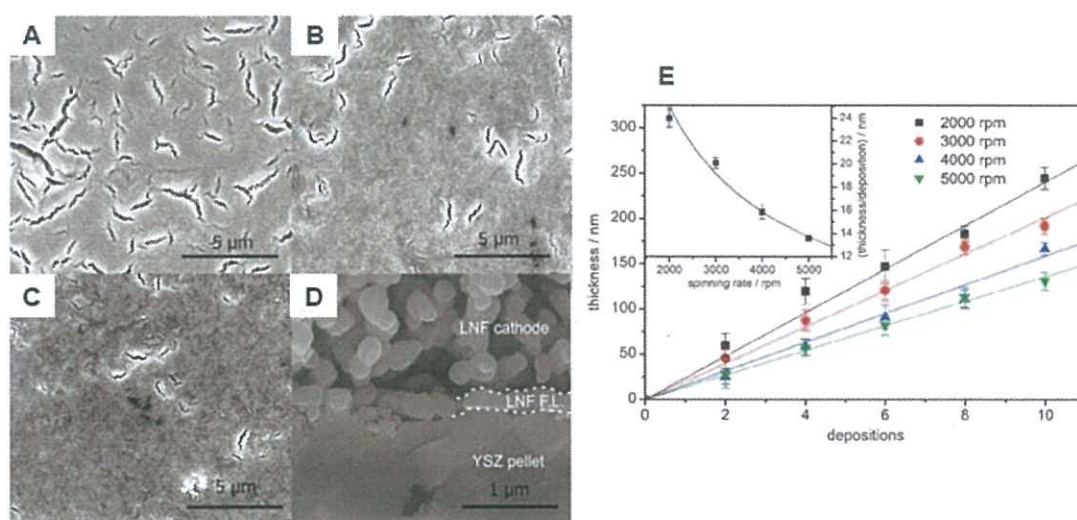
Celem naukowym niniejszej pracy było zwiększenie efektywności i stabilności układów SOFC/SOEC poprzez zastosowanie nanostruktur w warstwach elektrodowych. Cel ten został realizowany w toku prac w dwóch podstawowych kierunkach. Pierwszy z nich dotyczył zastosowania i scharakteryzowania cienkich warstw funkcjonalnych na interfejsie pomiędzy elektrolitem a elektrodą tlenową. Prace te prowadzone w zespole prof. Piotra Jasińskiego na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej, były częścią projektu OPUS 2012/05/B/ST7/02153 – „Warstwy funkcjonalne tlenkowych ogniw paliwowych” – realizowanego w latach 2013-2016. Otrzymane niezwykle obiecujące wyniki ukazały konieczność kontynuowania prac i stały się wstępem do napisania kolejnego, obecnie realizowanego (od roku 2018) projektu OPUS 2017/25/B/ST8/02275 – „Badanie oraz minimalizacja ohmowych i polaryzacyjnych strat w tlenkowych ogniwach elektrochemicznych przez zastosowanie nanokrystalicznych warstw ceramicznych.” W obu tych projektach byłem wykonawcą.

Drugi kierunek prac dotyczył opracowania nowych materiałów dla elektrody paliwowej w oparciu o nanostrukturalny materiał perowskitowy wykorzystując proces „ex-solution”, do zwiększenia aktywności katalitycznej elektrody. W szczególności nowo opracowane materiały mają pracować z paliwami innymi niż czysty wodór zarówno w trybie ogniwa paliwowego jak i elektrolizera. Tematyka tych prac wynikała bezpośrednio z wniosków mojej rozprawy doktorskiej. Prace te były częściowo realizowane w ramach projektu WFOŚ/D/201/174/2011 – „Tlenkowe ogniwa paliwowe zasilane biogazem”, realizowanego w latach 2011-2014 w którym byłem wykonawcą, oraz obecnie realizowanego SONATA UMO-2015/19/D/ST8/02783 „Nowe elektrody paliwowe dla tlenkowych elektrolizerów wykorzystywanych do produkcji gazu syntezowego”, którego jestem kierownikiem. Wnioski z prowadzonych w tym kierunku badań przyczyniły się również do przygotowanie projektu DZP/PL-TW/V/4-2018 Polish-Taiwanese/Taiwanese-Polish Joint Research project "Materials for Direct Power-to-Hydrocarbon Conversion" realizowanego od roku 2018 wspólnie z tajwańskim partnerem z National Taipei University of Technology. W związku z istnieniem dwóch równoległych ścieżek osiągnięcia założonego celu naukowego, wyniki badań wchodzące w skład osiągnięcia naukowego zostały opisane w dwóch częściach, ponieważ prace te toczyły się jednocześnie i każda z nich posiada swoją chronologię publikacji.

2.3.3 Wyniki badań

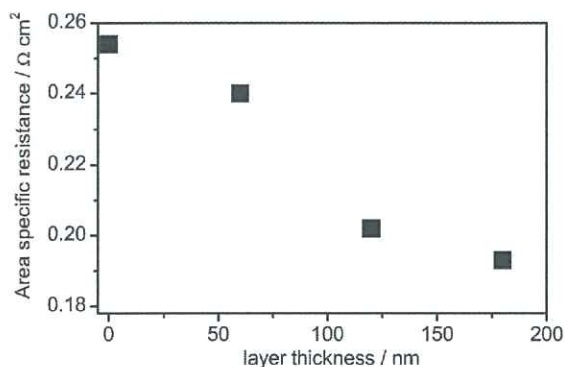
Jednym z rozwiązań mogących zapewnić zwiększenie stabilności pracy ogniw paliwowych jest obniżenie ich temperatury pracy. Obecny „state of the art” technologii ogniw paliwowych to temperatura pracy 800°C. Obniżenie tej temperatury do poziomu 750 – 700°C, jest kluczową kwestią, jeżeli chodzi o wydłużenie czasu pracy układów SOFC/SOEC do poziomów pozwalających realnie myśleć o ich komercyjnym zastosowaniu. Jednakże obniżenie temperatury pracy przy

jednoczesnym zachowaniu wydajności układu wymaga obniżenia oporów polaryzacyjnych w ogniwie. Jak wynika z przeprowadzonych analiz ponad połowa całkowitego oporu polaryzacyjnego ogniwa (ASR) pochodzi od warstwy elektrody tlenowej [1], dlatego to tam należy przede wszystkim szukać rozwiązań usprawniających pracę układu ogniwa paliwowego. W literaturze spotkać można dwa podstawowe podejścia do rozwiązania tego problemu. Pierwszym jest opracowanie nowego materiału elektrodowego, którego właściwości będą lepsze od dotychczas stosowanych [2-4]. Druga droga to optymalizacja mikrostruktury elektrody oraz interfejsu pomiędzy elektrodą paliwową a elektrolitem [5,6]. Swoją pracę nad obniżeniem oporów polaryzacyjnych elektrody paliwowej rozpocząłem w roku 2012, w zespole prof. Piotra Jasińskiego. Rozwiązaniem, nad którym pracowałem było rozwinięcie idei Van Herle [7], polegającej na zastosowaniu na interfejsie pomiędzy elektrolitem a elektrodą tlenową cienkiej, litej warstwy wytworzonej z materiału elektrodowego. Do wytworzenia tego typu warstw zaproponowałem wykorzystanie prekursora polimerowego opracowanego w zespole prof. Piotra Jasińskiego [8]. Początkowo badania były prowadzone z wykorzystaniem materiału elektrodowego $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-6}$ (LNF). Cienka i lita funkcjonalna warstwa katodowa o grubości poniżej 500nm naniesiona została na podłoże elektrolitowe CGO z wykorzystaniem metody nanoszenia wirowego (spin coating). Efektem tych wstępnych badań była praca magisterska Aleksandra Chrzan pt.: „Funkcjonalne warstwy pomiędzy katodą a elektrolitem ogniwa SOFC”, której byłem promotorem. Wyniki tej pracy zostały później opublikowane, jako część artykułów H2 i H3. Pierwszym etapem badań było określenie odpowiednich parametrów nanoszenia warstwy w celu otrzymania warstwy o określonej morfologii i grubości (rysunek 1).



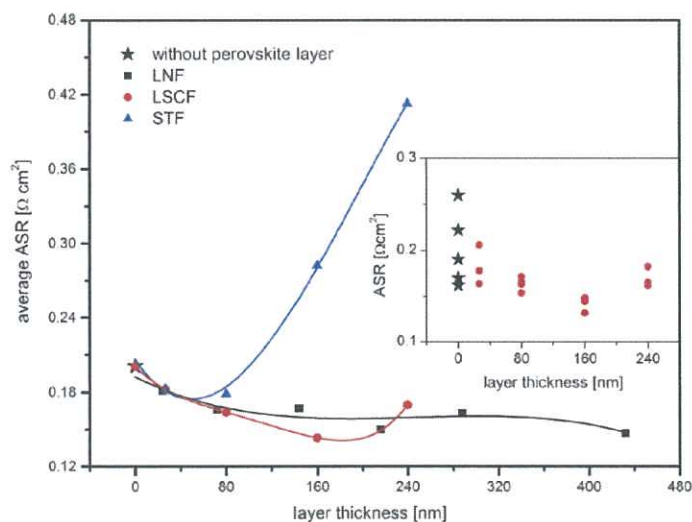
Rysunek 1. Obrazy SEM powierzchni warstwy LNF spieczonych w temperaturze 900°C wytworzonych metodą nanoszenia wirowego w zależności od różnej prędkości obrotowej A) 1500rpm, B) 2500rpm, C) 3500rpm, D) przekrój interfejsu pomiędzy katodą a elektrolitem z dodatkową warstwą funkcjonalną, E)- zależność grubości otrzymanej warstwy $\text{LaNi}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_{3-6}$ od parametrów jej nanoszenia. {Rys. 1 i 2 art. H3}

Badanie prowadzone nad elektrodą LNF pokazały, że zastosowanie cienkiej 100 – 250nm litej warstwy pomiędzy elektrolitem a porowatą elektrodą wytworzoną z tego samego materiału, prowadzi do obniżenia oporów polaryzacyjnych w układzie symetrycznym o ok 30% (rysunek2).



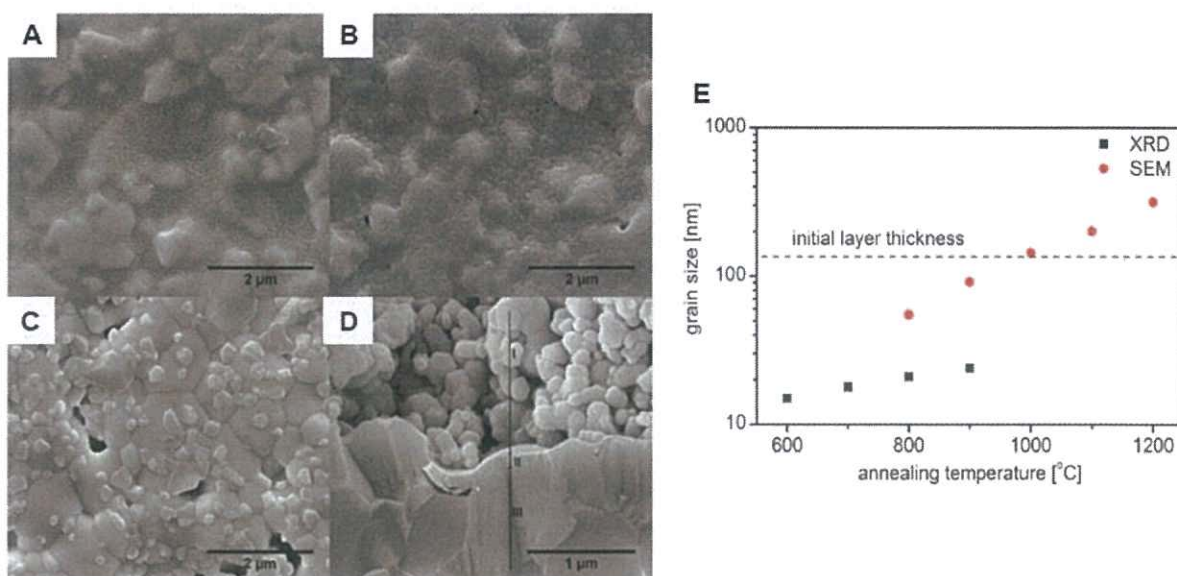
Rysunek 2. Zmiana powierzchniowej oporności właściwej interfejsu katoda-elektrolit w zależności od grubości zastosowanej warstwy funkcjonalnej. {Rys. 4 art. H3}

W toku dalszych badań zaproponowałem sprawdzenie czy wytworzenie cienkiej warstwy funkcjonalnej z innych materiałów również skutkować będzie zmniejszeniem oporów polaryzacyjnych interfejsu pomiędzy elektrodą LNF i elektrolitem CGO. Wyniki tych badań zostały zebrane i opublikowane w publikacji H2. Udało się uzyskać ok 30% spadek oporów polaryzacyjnych przy wykorzystaniu zarówno warstw LNF jak i $\text{La}_{0.6}\text{Sr}_{0.4}\text{Co}_{0.2}\text{Fe}_{0.8}\text{O}_{3-6}$ (LSCF), nie zaobserwowano natomiast poprawy rezultatów przy wykorzystaniu warstw $\text{SrTi}_{0.65}\text{Fe}_{0.35}\text{O}_{3-6}$ (STF) (rysunek 3).



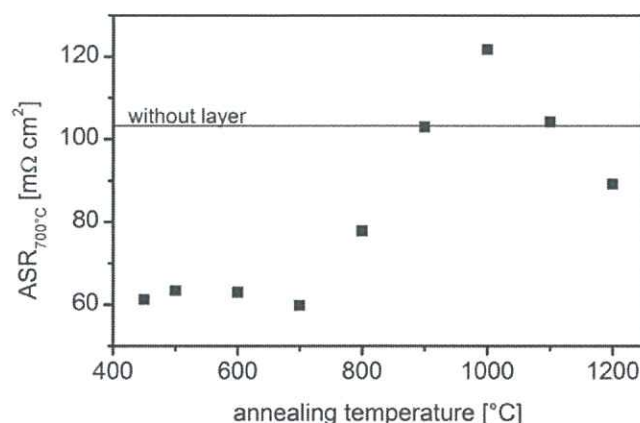
Rysunek 3. Zmiana powierzchniowej oporności właściwej interfejsu katoda-elektrolit w zależności od grubości dla różnych materiałów warstwy funkcjonalnej. {Rys 13 art H2}

Innym, również istotnym i oryginalnym wnioskiem płynącym z tych badań, było zaobserwowanie znacznego wzrostu powtarzalności wyników dla układów posiadających warstwę funkcjonalną. Nie zaobserwowano natomiast znaczącego wpływu grubości warstwy na otrzymane wyniki. Kolejnym krokiem mogącym pomóc w wyjaśnieniu mechanizmów wpływających na obniżenie oporów polaryzacyjnych poprzez zastosowanie cienkich, litych warstw było sprawdzenie wpływu temperatury ich spiekania. Wyniki tych prac zostały opublikowane w publikacji H6. W tym celu wykonano serię próbek, w których na podłożu CGO naniesiono metodą nanoszenia wirowego 140nm gęstą warstwę LSCF, którą spiekano w temperaturach od 500 do 1200°C. Oczywiście wzrost temperatury spiekania prowadzi do rozrostu ziaren warstwy. W badanym układzie, spiekanie w temperaturze powyżej 1000°C prowadziło do takiego wzrostu ziaren, że ich rozmiar był większy niż grubość warstwy, a to z kolei powodowało powstawanie nieciągłości warstwy (rysunek 4).



Rysunek 4. Obrazy SEM powierzchni warstwy LSCF spieczonych w temperaturze A) 800°C, B) 1000°C, C) 1200°C, D) przekrój interfejsu pomiędzy katodą a elektrolitem z dodatkową warstwą funkcjonalną spieczoną w temperaturze 800°C, E) Zależność wielkości ziaren warstwy LSCF w funkcji temperatury spiekania. {Rys. 3 i 4 art H6}

Badania impedancyjne układów symetrycznych pokazały, że zmniejszenie oporów polaryzacyjnych układu występuje tylko, gdy mamy doczynienia z ciągłą mezoporowatą warstwą (rysunek 5). Warstwa posiadająca strukturę nieciągłą o ziarnach większych niż jej grubość nie ma wpływu (lub w niektórych przypadkach zwiększa) na wartość oporów polaryzacyjnych.

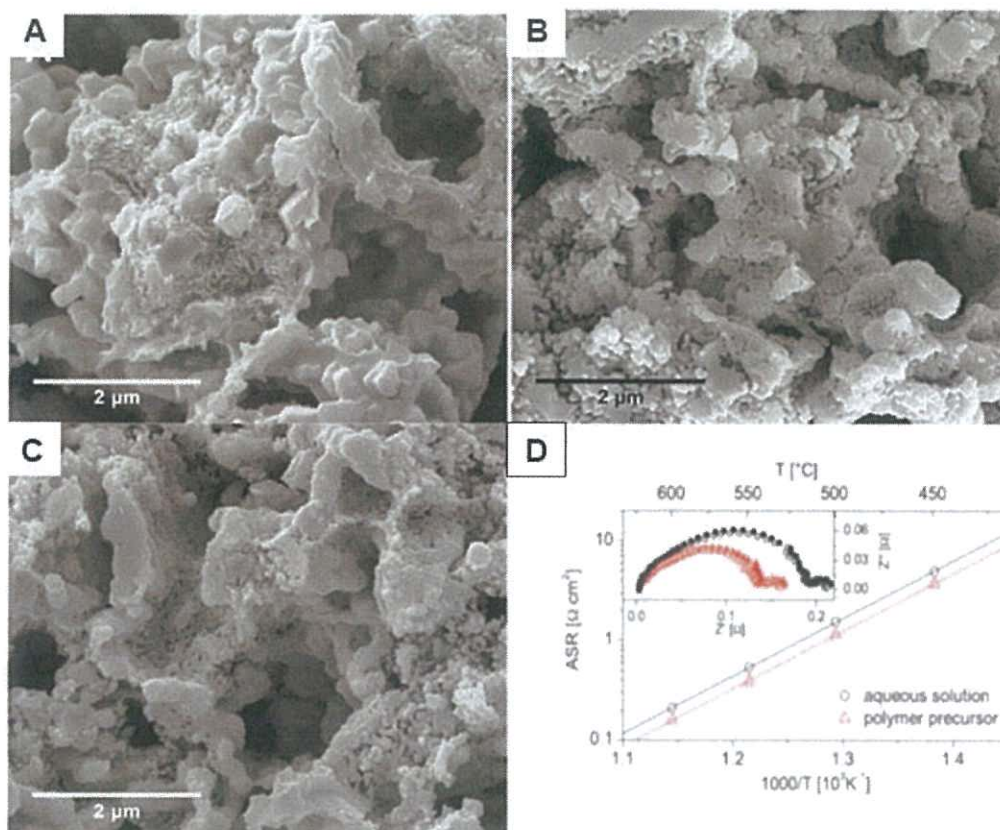


Rysunek 5. Zmiana powierzchniowej oporności właściwej interfejsu katoda-elektrolit w zależności od temperatury spiekania warstwy funkcjonalnej. {Rys. 9 art H6}

Przeprowadzone badania udowodniły, że cienka warstwa katodowa pomiędzy elektrolitem a porowatą katodą minimalizuje degradację katody podczas zmian temperatury, zwiększa powtarzalność procesu wytwarzania katody oraz obniża jej rezystancję polaryzacyjną, szczególnie, jeśli charakteryzuje się nanostrukturalną budową o rozmiarze ziaren mniejszym niż grubość warstwy. Wyniki tych badań oprócz opisanie ich we wspomnianych powyżej publikacjach, zostały również zaprezentowane na wygłoszonych przeze mnie referatach: "Nanocrystalline cathode functional layer for SOFC" na konferencji 14th International Conference of the European Ceramic Society odbywającej się w 2015 roku w Toledo, oraz "Functional layers for solid oxide electrolyzers" na konferencji 15th Conference & Exhibition of the European Ceramic Society odbywającej się w 2017 roku w Budapeszcie.

Przy okazji prowadzenia badań nad funkcjonalnymi warstwami materiałów katodowych opracowałam plan badań mających na celu sprawdzenie czy możliwe jest zastosowanie prekursorów polimerowych do wytworzenia kompozytowej elektrody tlenowej metodą nasączenia szkieletu elektrolitowego [9-12]. Badania nasączenia szkieletu YSZ prekursorem LSCF, opisane w publikacji H8 udowodniły, że możliwe jest wytworzenie metodą nasączenia nanostrukturalnej elektrody o właściwościach znacząco lepszych niż w przypadku zastosowania tradycyjnych metod wytwarzania. Dodatkowo, zastąpienie wodnego roztworu azotanów prekursorem polimerowym prowadzi do znaczącego obniżenia temperatury, w jakiej otrzymuje się materiał jednofazowy (z 900°C do 600°C), co z kolei daje większą swobodę w wytwarzaniu pożądanej mikrostruktury elektrody. Zaobserwowano spadek oporności polaryzacyjnej elektrody otrzymanej metodą nasączenia prekursorem polimerowym w stosunku do nasączenia wodnym roztworem azotanów. W temperaturze 600°C wartości oporów polaryzacyjnych wynosiły odpowiednio 0.21Ωcm² dla prekursora wodnego i 0.16Ωcm² dla katody nasączonej prekursorem

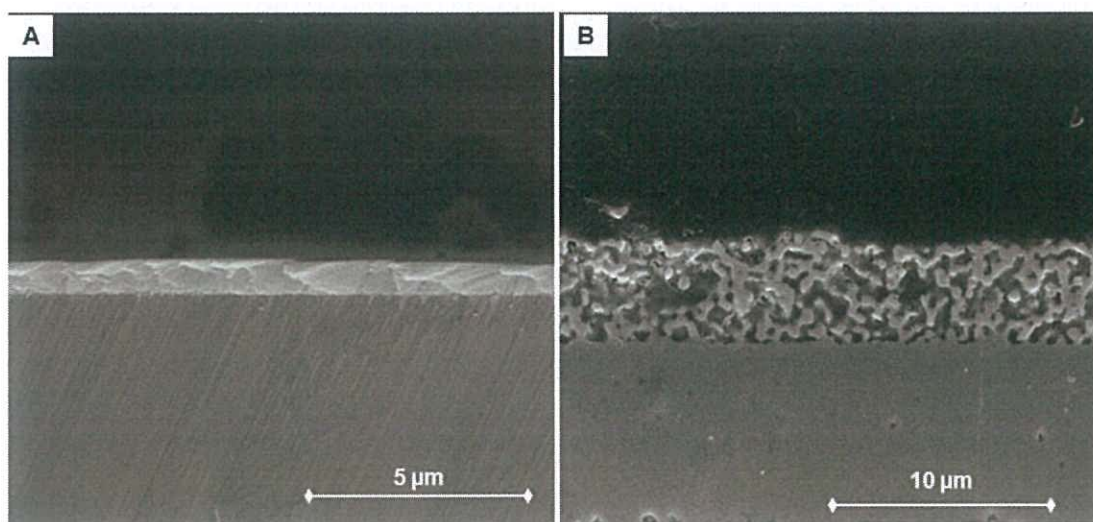
polimerowym (rysunek 6D). Te wstępne badania nad możliwością otrzymywania elektrody z wykorzystaniem metody nasączenia prekursorem polimerowym planuje kontynuować również do otrzymania elektrody paliwowej z materiałów perowskitowych.



Rysunek 6. Obrazy SEM przekroju katody otrzymanej w wyniku nasączenia szkieletu YSZ prekursorem LSCF. A) prekursor polimerowy spiekany w 600°C, B) prekursor polimerowy spiekany w 800°C, C) prekursor z wodnego roztworu azotanów spiekany w 800°C, D) porównanie powierzchniowej oporności właściwej elektrod otrzymanych z wykorzystaniem różnych prekursorów. {Rys. 6 i 8 art H8}

Kolejnym zagadnieniem dotyczącym zastosowania warstw funkcjonalnych tlenkowych ogniw paliwowych było zastosowanie bariery dyfuzyjnej pomiędzy elektrodą tlenową i elektrolitem. Zwiększenie wydajności ogniw oraz ograniczenie temperatury jego pracy jest również możliwe poprzez zastosowanie materiałów katodowych posiadających mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe [13,14]. Materiały takie jak LSCF posiadają bardzo dobre właściwości transportu ładunku oraz wysoką aktywność katalityczną, co przekłada się na znacząca poprawę sprawności ogniw [15]. Jednakże w tlenkowych ogniwach paliwowych, w których elektrolitem jest stabilizowany tlenkiem itru tlenek cyrkonu (YSZ), zastosowanie elektrod zawierających stront wiąże się z problemem dyfuzji strontu i cyrkonu prowadzącej do powstawania niepożądanego fazy cyrkonianu strontu [16,17]. O ile w temperaturze pracy ogniwa

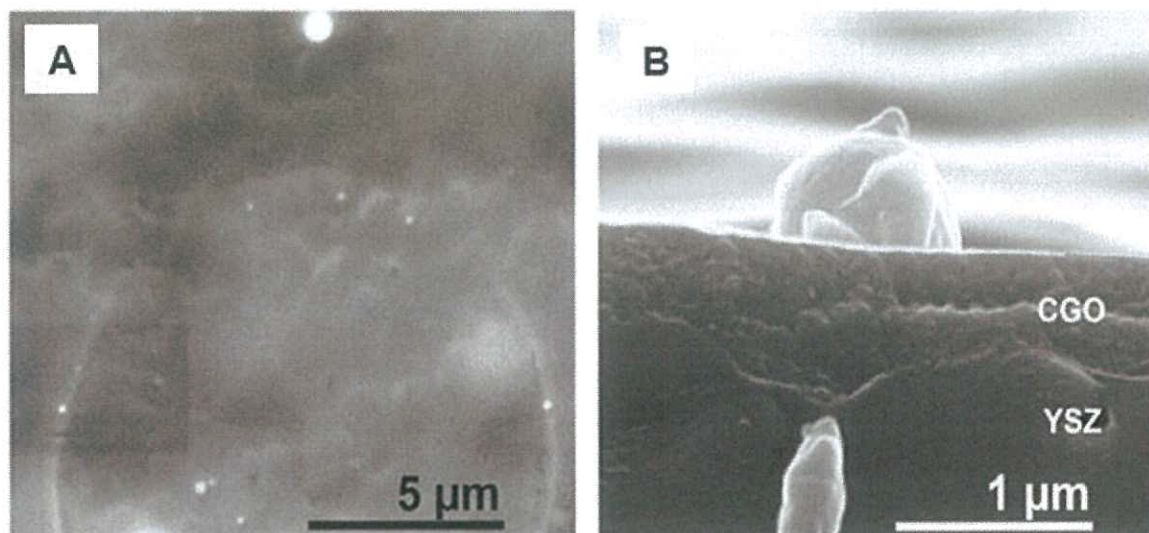
nie jest to proces kluczowy (szczególnie, że ogniwa te mogą pracować w niższych temperaturach) to staje się one niezwykle istotny w trakcie wytwarzania ogniw. Odpowiednie przygotowanie układu ogniwa paliwowego wymaga spiekania poszczególnych elementów w temperaturach powyżej 1000°C, a wówczas proces dyfuzji staje się istotnym problemem. Sposobem na zapobieganie temu procesowi jest zastosowanie dodatkowej warstwy (najczęściej z CGO) pomiędzy elektrolitem a elektrodą. Jest to metoda znana i do lat stosowana, nawet w rozwiązaniach komercyjnych [18-23]. Jednakże powszechnie stosowane metody wytwarzania bariery dyfuzyjnej prowadzą do powstawania stosunkowo grubych i porowatych warstw, co wpływa negatywnie zarówno na działanie samej warstwy jak również na wydajność całego ogniwa (rysunek 7).



Rysunek 7. Obrazy SEM przekroju warstwy bariery dyfuzyjnej CGO A) warstwa wytworzona metodą pirolizy aerozolowej, B) komercyjne ogniwo z warstwą wytworzoną metodą sitodruku.

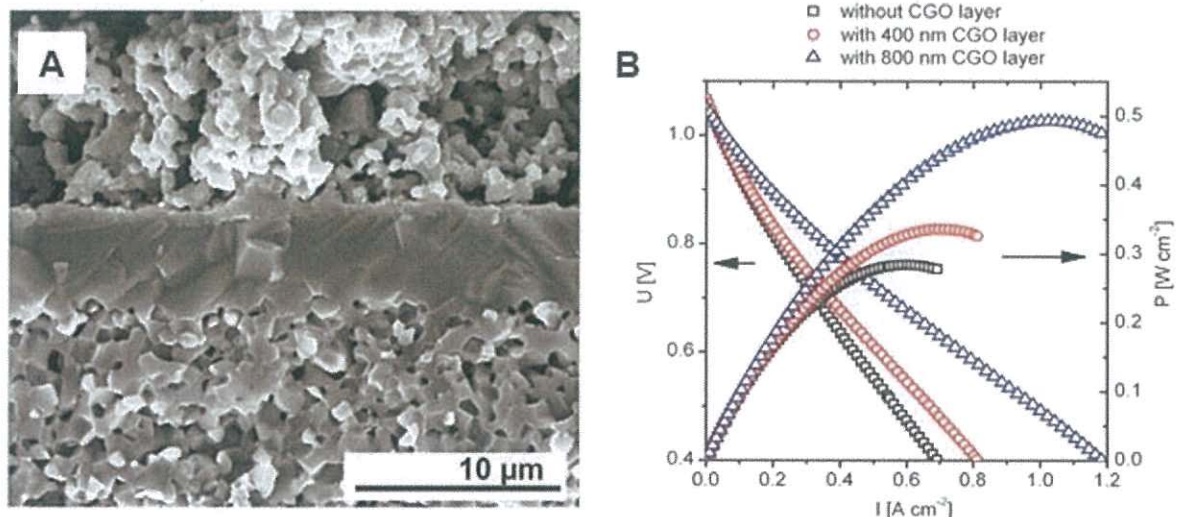
Moim celem było opracowanie metody wytwarzania cienkich i gęstych warstw CGO stanowiących barierę dyfuzyjną dla strontu. Metoda taka musi być stosunkowo tania i skalowalna, by mogła znaleźć komercyjne zastosowanie. Badanie nad takimi warstwami rozpocząłem od promotorstwa pracy magisterskiej Dagmary Szymczewskiej (obecnie Grudzień) pt.: „Domieszkowany tlenek ceru, jako przejściowa warstwa w tlenkowym ogniwie paliwowym.” Podobnie jak w poprzednim przypadku wyniki z tej pracy zostały opublikowane jako część artykułów H3 i H7, oraz były kontynuowane jako część rozprawy doktorskiej dr Szymczewskiej-Grudzień. Pierwszym etapem prac nad warstwą dyfuzyjną było zaadoptowanie metody pirolizy aerozolowej do nanoszenia prekursora polimerowego. W tym celu należało zoptymalizować szereg parametrów takich jak temperatura podłoża, szybkość nanoszenia, stężenie prekursora etc. Efekty tych prac zostały opisane w publikacji H7. W pracy wytworzono serię ogniw z elektrolitem YSZ, elektrodą tlenową LSF i barierą dyfuzyjną z CGO o różnej grubości (400, 800 i

1200nm). Przeprowadzone badania pokazały, że możliwe jest wytworzenie cienkiej litej warstwy CGO metoda pirolizy aerozolowej, jednak maksymalna grubość jaką można uzyskać w pojedynczym etapie nanoszenia nie przekracza 400nm. W celu wytworzenia warstw grubszych potrzebne jest proces wieloetapowy (rysunek 8).



Rysunek 8. Obrazy SEM A) powierzchni i B) przekroju bariery dyfuzyjnej CGO o grubości 800nm wytworzonej za wykorzystaniem metody pirolizy aerozolowej. {Rys. 4 art H7}

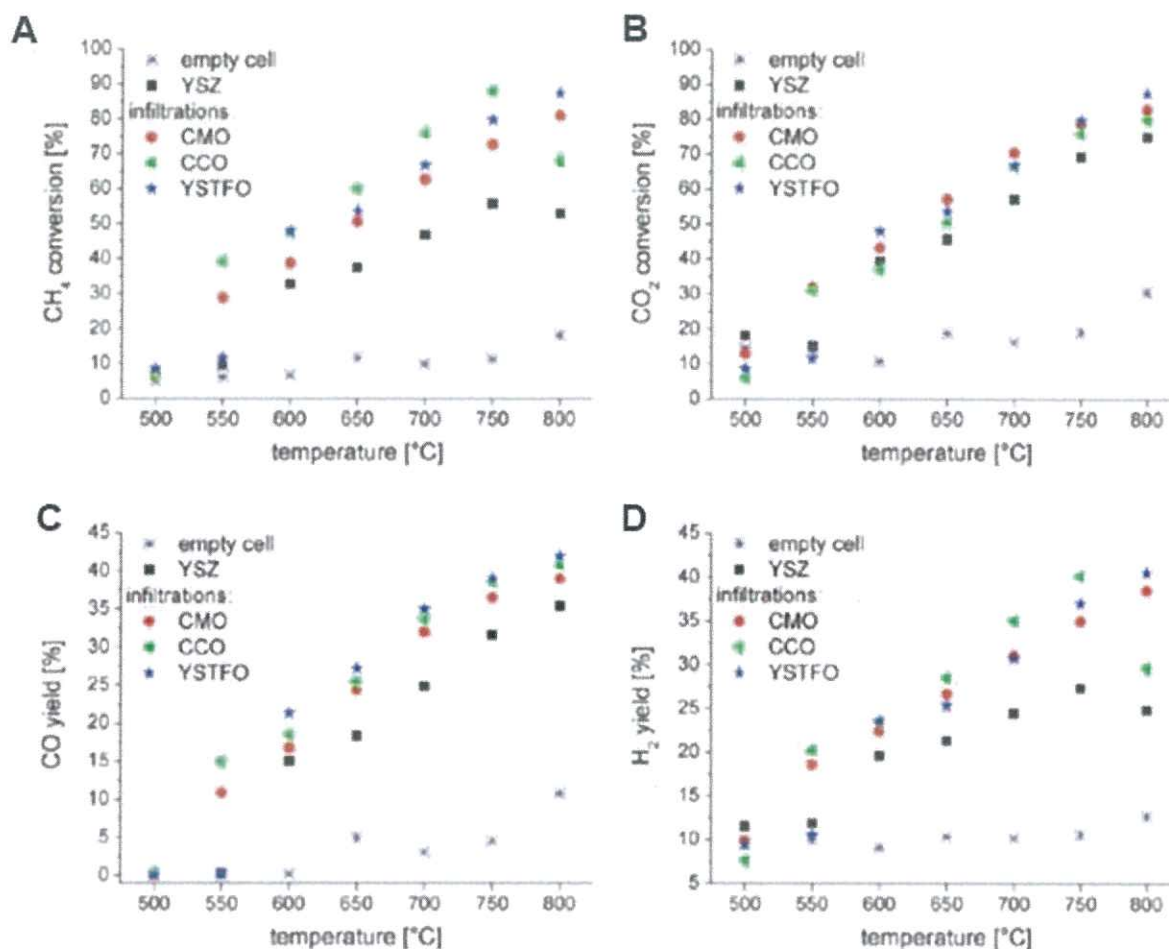
Badanie pokazały również, że już 400nm warstwa bariery dyfuzyjnej znacząco ogranicza proces dyfuzji strontu do warstwy elektrolitu, jednakże do całkowitego zablokowanie tego procesu potrzebna jest bariera o grubości, co najmniej 800nm. Zablokowanie procesu dyfuzji strontu doprowadziło do niemal dwukrotnego wzrostu mocy badanego ogniwa (rysunek 9). Dalsze zwiększanie grubości warstwy mija się już z celem, gdyż grubsza warstwa nie zwiększa skuteczności bariery dyfuzyjnej prowadzi natomiast do wzrostu rezystancji układu.



Rysunek 9. A) Obrazy SEM ogniwa z 800nm warstwą bariery dyfuzyjnej CGO, B) porównanie mocy otrzymywanych dla ogniw o różnej grubości warstwy bariery dyfuzyjnej. {Rys 8 art H7}

Wyniki badań dotyczące warstw ograniczających dyfuzję pomiędzy elektrolitem i elektrodą tlenową, oprócz wspomnianych powyżej publikacjach zostały również zaprezentowane na wygłoszonych przeze mnie referatach: „Ceria interlayer in SOFC fabricated by spray pyrolysis” na konferencji 19th International Conference on Solid State Ionics odbywającej się w 2013 roku w Kyoto, oraz “Effect of CGO thickness and preparation on the electrochemical performance of SOFC/SOEC cells” na konferencji 13th International Symposium on Systems with Fast Ionic Transport odbywającej się w 2018 roku w Mińsku.

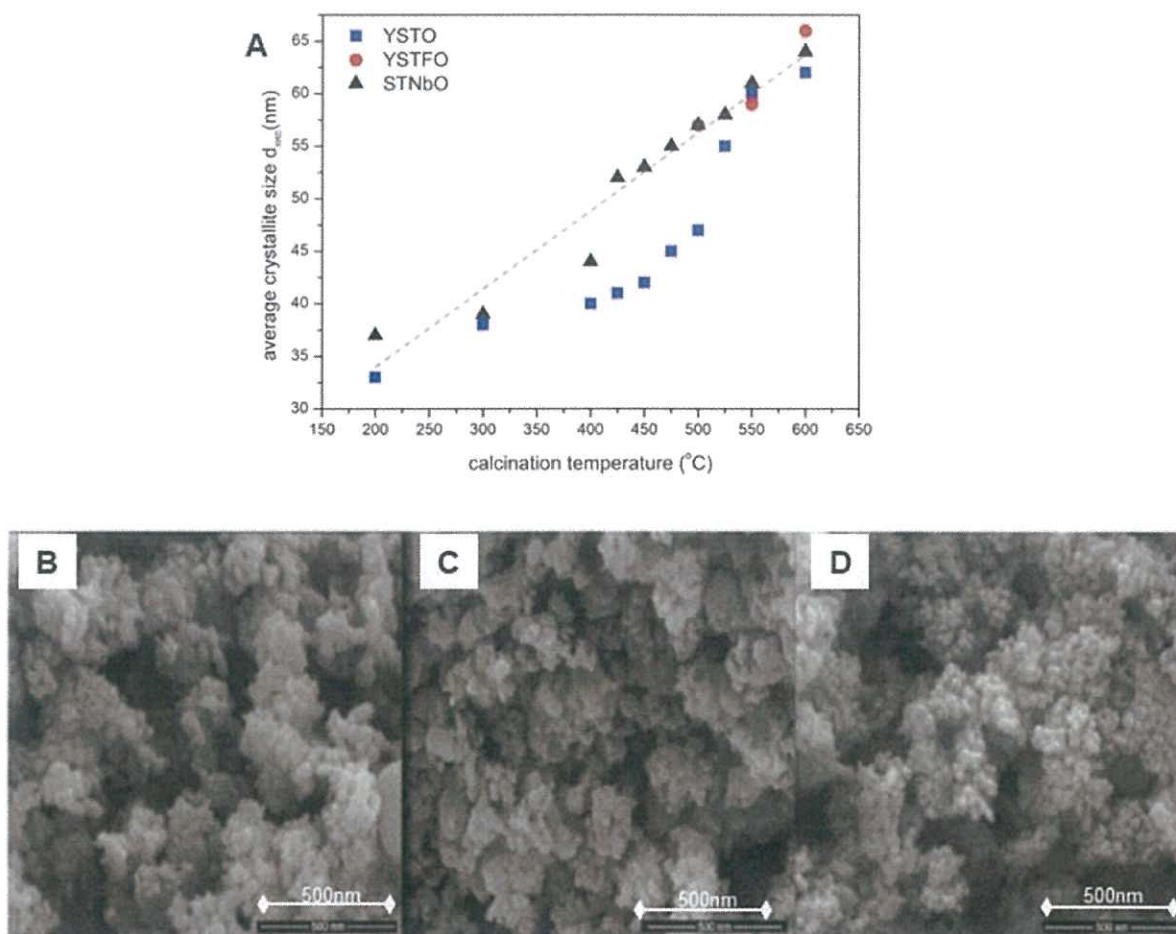
Drugi obszar moich badań nad układami ogniw paliwowych i elektrolizerów związany jest z nanostrukturami elektrod paliwowych. Badanie te są bezpośrednią kontynuacją prac jakie prowadziłem w ramach swojej rozprawy doktorskiej. Jednym z wniosków wynikających z mojej pracy doktorskiej było wykazanie, że zastosowanie materiałów perowskitowych jako elektrody paliwowej ograniczone jest głównie ze względu na ich niską aktywność katalityczną. Jest to jedna z kluczowych przyczyn, dla których zastąpienie cermetu niklowego materiałem perowskitowym na szeroką, komercyjną skalę jest mocno wątpliwe, szczególnie w przypadku, kiedy ogniwo pracuje z czystym wodorem. Jednakże badania prowadzone w ramach projektu WFOŚ/D/201/174/2011 - „Tlenkowe ogniwa paliwowe zasilane biogazem”, w którym byłem jednym z wykonawców. Wyniki prowadzonych badań opublikowane w publikacji H1 pokazały, że zastosowanie warstwy funkcjonalnej z domieszkowanego tytanianu strontu $\text{Y}_{0.08}\text{Sr}_{0.92}\text{Ti}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_3$ (YSTFO), naniesionej na anodę wytworzoną z cermetu niklowego, pozytywnie wpłynęło na wydajność procesu uzyskiwania wodoru z reformingu biogazu, w szczególności obecność warstwy YSTFO znacząco poprawiła konwersję metanu w temperaturach powyżej 600°C (rysunek 10).



Rysunek 10. Konwersja metanu i dwutlenki węgla, oraz ilość uzyskanego tlenku węgla i wodoru w funkcji temperatury dla ogniw paliwowych z dodatkową funkcjonalną warstwą katalityczną zasilanych biogazem. {Rys. 7 art H1}

Te obserwacje skłoniły mnie do skupienia uwagi na badaniach, których celem jest opracowanie materiału elektrody paliwowej do ogniw i elektrolizerów pracujących z paliwami innymi niż czysty wodór. Przyczyniły się też do napisania projektu „Nowe elektrody paliwowe dla tlenkowych elektrolizerów wykorzystywanych do produkcji gazu syntezowego”, który obecnie realizuję jako kierownik. Badania nad opracowaniem nowej elektrody paliwowej odbywają się równolegle w kilku różnych zagadnieniach. Jednym z kluczowych zagadnień było opracowanie nowej metody syntezy materiałów perowskitowych na bazie tytanianu strontu, który pozwoli uzyskać materiał o jak najmniejszej wielkości ziaren. Efektem tych prac są dwie publikacje wchodzące w skład cyklu publikacji H4 i H9. W pierwszej z nich udało się opracować nową, niskotemperaturową metodę syntezy wykorzystującą kompleksy polimerowe. Metoda ta, powstała w wyniku modyfikacji sposobu wytwarzania tytanianu strontu zaproponowanego przez

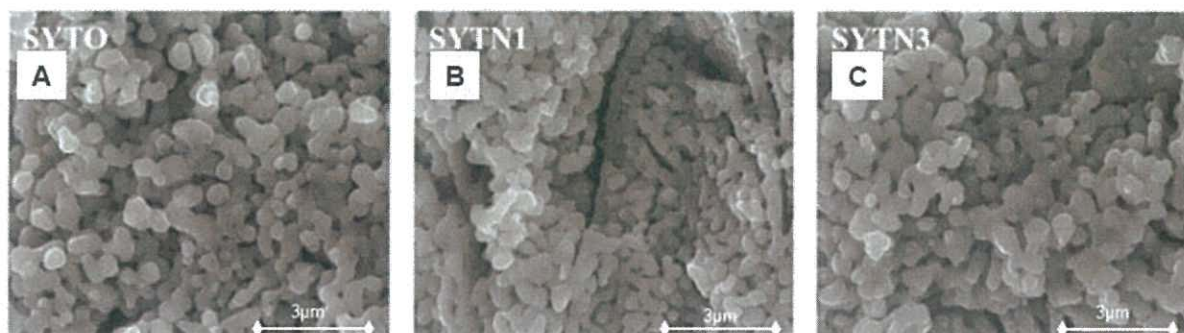
Qi-An Zhu i współpracowników [24], umożliwia otrzymywanie fazy perowskitowej już w temperaturze rzędu 200°C, a w niektórych przypadkach widoczne są ślady jej powstawania w temperaturze poniżej 100°C. Pominiecie procesu wysokotemperaturowego spiekania skutkuje otrzymaniem jednofazowego materiału o wielkości ziaren poniżej 50nm, co daje ogromną swobodę w wytwarzaniu dowolnej, pożądanej mikrostruktury elektrody (rysunek 11).



Rysunek 11. A) wielkość krystalitów $Y_{0.07}Sr_{0.93}TiO_{3-\delta}$ (YSTO), $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ (YSTFO), $SrTi_{0.98}Nb_{0.02}O_{3-\delta}$ (STNbO) wytworzonych niskotemperaturową metodę syntezy wykorzystującą kompleksy polimerowe w funkcji temperatury spiekania, Obrazy SEM B) $Y_{0.07}Sr_{0.93}TiO_{3-\delta}$ (YSTO), C) $Y_{0.07}Sr_{0.93}Ti_{0.8}Fe_{0.2}O_{3-\delta}$ (YSTFO), D) $SrTi_{0.98}Nb_{0.02}O_{3-\delta}$ (STNbO) w temperaturze 600°C. {Rys. 3 i 7 art H4}

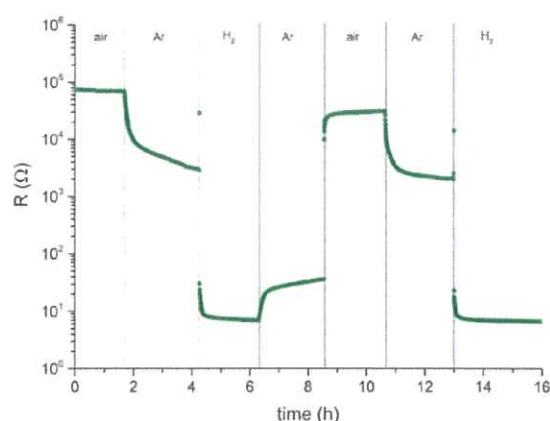
Druga metoda otrzymywania nanostrukturalnego, domieszkowanego tytanianu strontu została opracowana w ramach mojej współpracy z dr hab. Ewa Drożdż z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Wyniki opisujące otrzymywanie i charakterystykę współdomieszkowanego (itrem i niobem) tytanianu strontu, otrzymanego modyfikowaną metodą zol-żel przedstawiono w

publikacji H9. Otrzymany tą metodą materiał również posiada nanometrycznej wielkości ziarna ($<100\text{nm}$), a spiekany w temperaturze 1200°C nadal charakteryzuje się wysoką porowatością wynoszącą ok 50% (rysunek 12).



Rysunek 12. Obrazy SEM materiału $\text{Y}_{0.04}\text{Sr}_{0.96}\text{Ti}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_{3-\delta}$ A) $x=0$, B) $x=0.01$ C), $x=0.03$, otrzymanego modyfikowana metodą zol żel, wypiekanego w temperaturze 1200°C . {Rys. 2 art H9}

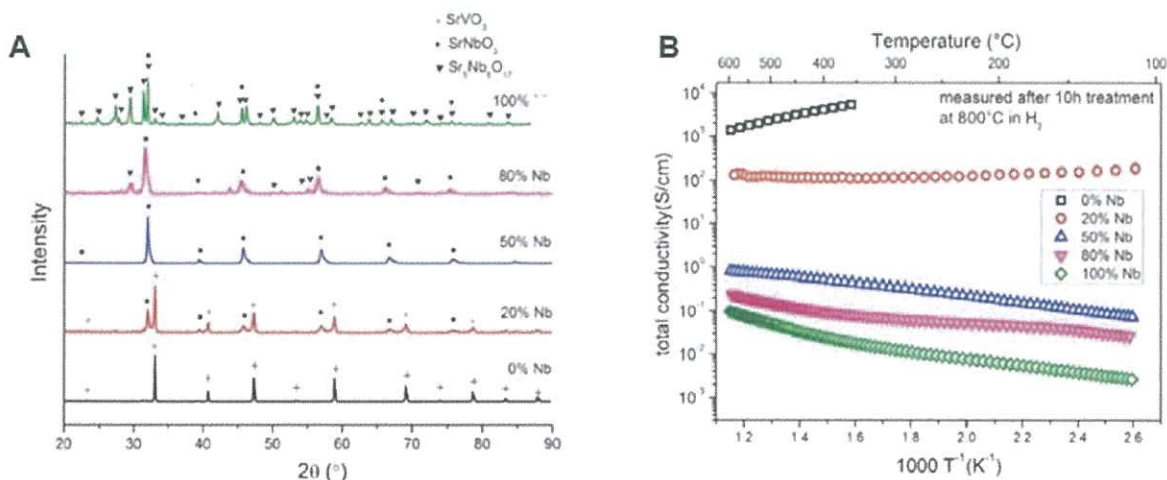
Taka struktura materiału sprawia, że znacznie łatwiej i w niższej temperaturze w stosunku do materiałów syntezowanych tradycyjną metodą syntezy w fazie stałej, ulega on redukcji w czasie wygrzewania w wodorze, co jest bardzo pożądane w kontekście zastosowania materiału, jako elektrody paliwowej (rysunek 13).



Rysunek 13. Pomiar zmiany oporności elektrycznej materiału $\text{Y}_{0.04}\text{Sr}_{0.96}\text{Ti}_{0.98}\text{Nb}_{0.02}\text{O}_{3-\delta}$ w funkcji czasu w zmiennej atmosferze powietrza, argonu i wodoru. {Rys. 6 art H9}

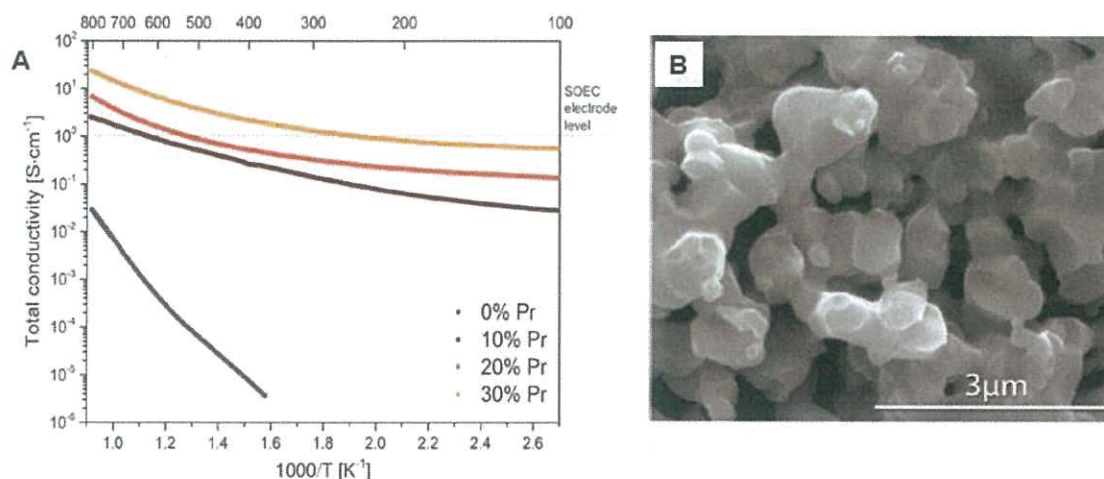
Równolegle z pracami nad opracowaniem nowej metody syntezy materiałów perowskitowych, prowadzone były badania nad opracowaniem nowych materiałów, których właściwości będą spełniały wymagania stawiane materiałom elektrodowym. Wśród nich do najbardziej kluczowych zaliczyć trzeba wysoką przewodność elektronową, stabilność i aktywność katalityczną. W toku prowadzonych prac zbadano pod tym kątem domieszkowany niobem wanadian strontu (wyniki opisane w publikacji H10) oraz domieszkowany kobaltom i

prazeodymem tytanian strontu (wyniki opisane w publikacji H11). Wanadian strontu, syntezowany w atmosferze redukującej wykazuje bardzo wysokie przewodnictwo elektronowe ($>1000 \text{ Scm}^{-1}$), jednakże jest on bardzo niestabilny w atmosferze utleniającej.



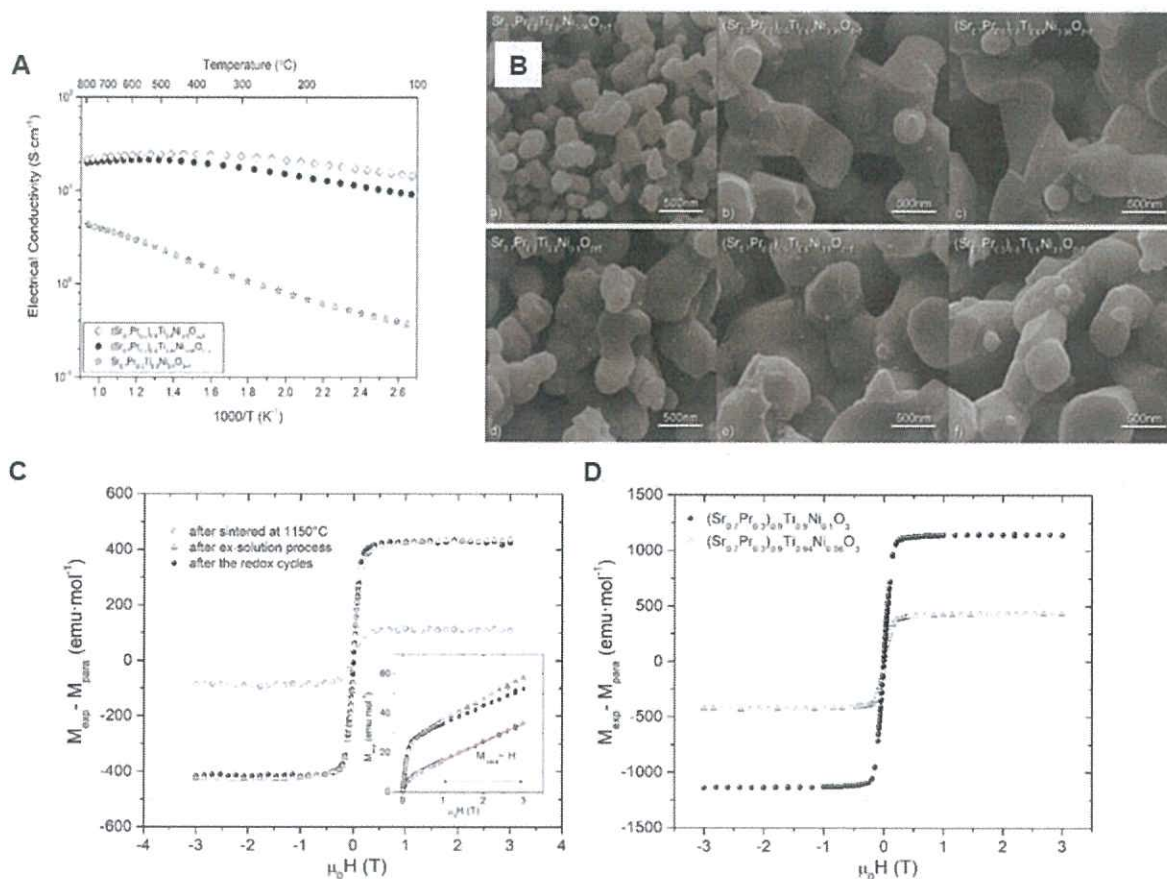
Rysunek 14 wyniki pomiarów A) dyfrakcji rentgenowskiej, B) przewodności elektrycznej w funkcji temperatury domieszkowanego niobem wanadianu strontu. {Rys. 1a i 6a art H10}.

Domieszkowanie niobem miało na celu poprawienia stabilności układu. Przeprowadzone badania pokazały, że wprowadzenie do struktury niobu tworzy układ dwufazowy wanadianu i niobianu strontu, który nie wpływa znacząco na poprawę stabilności materiału, co znacząco ogranicza możliwości zastosowania go jako materiał elektrodowy. Konieczne więc było opracowanie innego, bardziej odpowiedniego materiału. Z wcześniejszych doświadczeń i analizy literaturowej wynikało, że dobrym kandydatem może być domieszkowany kobaltiem tytanian strontu [25,26]. W celu zwiększenia przewodności jonowej oraz aktywności katalitycznej materiału zdecydowano się zbadać układ współdomieszkowany prazeodymem i kobaltiem. Udało się uzyskać jednofazowy materiał zawierający 30% prazeodymu, którego poziom przewodności elektrycznej wynoszący powyżej 10 Scm^{-1} w temperaturze 700°C wydaj się być wystarczający do zastosowań jako materiał elektrodowy (rysunek 16). Szczególnie że zachowywał on dużą stabilność w czasie pomiarów w zmiennej atmosferze redukcyjno-utleniającej.



Rysunek 15 Wyniki pomiarów A) przewodności elektrycznej w funkcji temperatury, B) obraz SEM mikrostruktury domieszkowanego prazeodymem i kobaltom tytanianu strontu. {Rys. 3 i 9 art H11}

Dokładana analiza strukturalna materiału syntezowanego w warunkach redukcyjnych ukazała występowanie wytrąceń metalicznego kobaltu w strukturze, co przyczyniło się do powstania pomysłu wykorzystania tego zjawiska w otrzymaniu układu nanostruktur metalicznych na powierzchni materiału elektrodowego zapewniających zwiększenie aktywności katalitycznej elektrody. Powstawanie nanostrukturalnych cząstek metalicznych w wyniku procesu zwanego „ex-solution” zostało już zaobserwowane wcześniej dla różnych materiałów [27-29]. Ja zaproponowałem zmodyfikowanie domieszkowanego prazeodymem i niklem tytanianu strontu, tak, aby uzyskać efekt aktywnych katalitycznie nanocząstek niklu na powierzchni stabilnego i charakteryzującego się wysokim przewodnictwem elektronowym materiału perowskitowego. W efekcie prowadzonych w tym kierunku badań powstała publikacja H12. Badania pokazały, że powstanie nanostrukturalnych cząsteczek niklu na powierzchni materiału perowskitowego jest łatwiejsze, jeżeli wprowadzi się do materiału odstępstwo od stechiometrii w podsieci strontu.



Rysunek 16 Wyniki pomiarów A) przewodności elektrycznej w funkcji temperatury, B) obrazy SEM mikrostruktury materiałów z różnym stopniem domieszkowania niklem przed (górny rzęd) i po (dolny rzęd) procesie „ex solution”, C) i D) wyniki pomiarów właściwości magnetycznych domieszkowanego przeodymem i niklem tytanianu strontu. {Rys. 3, 5 i 6 art H12}

Dodatkowo, jako pierwszemu udało mi się zaproponować metodę określenia ilości metalicznego niklu na powierzchni za pomocą badań magnetycznych. Jak wynika z przeprowadzonych analiz tylko część wprowadzonego do struktury niklu tworzy na powierzchni metaliczne granule, reszta stanowi domieszkę akceptorową wpływającą na właściwości materiału. Rezultaty przedstawione w tej pracy wydają się być niezmiernie obiecujące w kontekście wykorzystania opracowanego materiału jako elektrody paliwowej w układzie ogniwa paliwowego/elektrolizer pracującego z gazem syntezowym. Oprócz wspomnianych powyżej publikacji wyniki te zostały również zaprezentowane na wygłoszonym przeze mnie referacie „Nowe elektrody paliwowe dla tlenkowych elektrolizerów wykorzystywanych do produkcji gazu syntezowego” na konferencji XV Sympozjum Przewodniki Szybkich Jonów odbywającej się w 2018 roku w Gdańsku.

Podsumowując wszystkie przedstawione powyżej wyniki badań, do swoich najważniejszych i oryginalnych osiągnięć przedstawionego dzieła zaliczam:

- opracowanie i zoptymalizowanie taniej i efektywnej metody otrzymywania cienkich i gęstych warstw bariery dyfuzyjnej CGO wykorzystując technikę pirolizy aerozolowej i prekursor polimerowy,
- wykazanie wpływu cienkiej i gęstej warstwy elektrody tlenowej na zmniejszenie oporów polaryzacyjnych ogniwa, oraz powtarzalność uzyskiwanych wyników pomiarowych,
- opracowanie metody wytwarzania elektrod z wykorzystaniem techniki nasączenia szkieletu elektrolitowego prekursorem polimerowym,
- wykazanie, że zastosowanie warstwy funkcjonalnej z domieszkowanego tytanianu strontu $Y_{0.08}Sr_{0.92}Ti_{0.8}Fe_{0.2}O_3$ (YSTFO), naniesionej na anodę wytworzoną z cermetu niklowego, poprawiło wydajność uzyskiwania wodoru w procesie reformingu biogazu,
- opracowanie niskotemperaturowej metody wytwarzania materiałów perowskitowych umożliwiających kontrolę otrzymywanej mikrostruktury materiału,
- opracowanie domieszkowanego prazeodymem i niklem tytanianu strontu, którego właściwości są odpowiednie do zastosowania go, jako materiału na elektrodę paliwową ogniwa SOEC pracującego w trybie elektrolizy wody i ditlenku węgla,
- opracowanie metody określania ilości nanocząstek metalicznego niklu powstałych w procesie „ex-solution” z wykorzystaniem wyników badań magnetycznych.

Obecnie prowadzę prace nad połączeniem wszystkich przeprowadzonych do tej pory badań i wytworzeniem ogniwa zbudowanego na elektrodzie paliwowej wykonanej z $(Sr_{0.7}Y_{0.3})_{0.9}Ti_{0.94}Ni_{0.06}O_{3-6}$, wytworzonego nowo opracowaną metodą umożliwiającą uzyskanie nanostrukturalnego materiału. Ogniwo te będzie posiadać odpowiednie warstwy funkcjonalne zarówno bariery dyfuzyjnej jak i gęstych funkcjonalnych warstw elektrodowych, co powinno przyczynić się do zmniejszenia oporów polaryzacyjnych i w efekcie do zwiększenia wydajności i stabilności ogniwa. W dalszej perspektywie planuje kontynuację prac nad nowymi materiałami elektrodowymi, w szczególności chciałbym dokładnie przebadać i zoptymalizować układy, w których zachodzi zjawisko „ex-solution”. Innym z planów jest opracowanie elektrody perowskitowej metodą nasączenia szkieletu elektrolitowego.

2.4. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

2.4.1 Okres przed uzyskaniem stopnia doktora

W latach 2001-2006 studiowałem na wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej na kierunku Fizyka Techniczna. Studia ukończyłem 13.07.2006 z wynikiem bardzo dobrym broniąc pracę magisterską pt.: "Badanie właściwości elektrycznych tlenków ołowiu domieszkowanych srebrem." Swoją pracę magisterską przygotowywałem pod kierunkiem dr hab. inż. Bogusława Kusza prof. nadzw. PG w Katedrze Fizyki Ciała Stałego. W ramach tej pracy starałem się potwierdzić wcześniejsze doniesienia grupy D.Djureka, którzy zaobserwowali zjawisko nadprzewodnictwa w domieszkowanym srebrem tlenku ołowiu [30]. Wykonana przeze mnie synteza oraz pomiary elektryczne związków $\text{Ag}_x\text{Pb}_{1-x}\text{O}_{3-y}$ dla zakresu domieszkowania srebrem $0,08 \leq x \leq 0,6$, nie potwierdził istnienia zjawiska nadprzewodnictwa w tych materiałach, natomiast zaobserwowano w nich nietypowa zależność oporności od temperatury $\rho(T)$ proporcjonalna do T^2 . Częściowo badania do pracy magisterskiej wykonywałem na Università di Camerino we Włoszech gdzie przebywałem między październikiem 2005 a lutym 2006 w ramach programu SOCRATES-ERASMUS Otrzymałem wyniki zaprezentowałem w formie plakatu „Badanie struktury i właściwości elektrycznych tlenków ołowiu Pb_3O_4 domieszkowanych Ag” na XI Krajowej Szkole Nadprzewodnictwa: Zjawiska kolektywne i ich współzawodnictwo (Kazimierz Dolny, 25-29 września 2005 r.) Jeszcze w czasie trwania moich studiów zacząłem pracę nad materiałami do tlenkowych ogniw paliwowych w tworzącej się wówczas międzywydziałowej grupie pod kierownictwem prof. Jasińskiego z Wydziału Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki PG oraz prof. Kusza z wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej. Zawiązana wówczas współpraca trwa do dzisiaj.

Po obronie pracy magisterskiej, w 2006 roku rozpocząłem studia doktoranckie w Środowiskowym Studium Doktoranckim wydziału Mechanicznego Politechniki Gdańskiej. Rozprawę doktorską pt.: "Badanie modyfikowanych struktur SrTiO_3 pod względem możliwości wykorzystania jako anody w tlenkowych ogniwach paliwowych" realizowałem pod opieką dr hab. inż. Bogusława Kusza prof. nadzw. PG. Stopień naukowy doktora Nauk Fizycznych otrzymałem decyzją Rady Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej 20.05.2011 roku.

Głównym celem mojej rozprawy doktorskiej była modyfikacja tytanianu strontu prowadząca do otrzymania materiału o określonych właściwościach umożliwiających jego zastosowanie jako materiał anodowy dla tlenkowych ogniw paliwowych. Modyfikacja polegała na domieszkowaniu lantanem i itrem podsieci A, niobem podsieci B oraz wprowadzeniu azotu w podsieć tlenową struktury ABO_3 . Otrzymane materiały poddano analizie właściwości strukturalnych i elektrycznych. Na podstawie otrzymanych rezultatów wytypowano materiał $\text{SrTi}_{0,98}\text{Nb}_{0,02}\text{O}_{3-\delta}$, którego właściwości elektryczne najbardziej odpowiadały wymaganiom

stawianym materiałom anodowym tlenkowych ogniw paliwowych. W ramach pracy wytworzono ogniwo z elektrodą paliwową wykonaną z wytypowanego materiału. Ogniwo to charakteryzowało się stosunkowo niewielką mocą. Po modyfikacji elektrody, którą wykonano, jako kompozyt materiału perowskitowego z materiałem elektrolitowym, który następnie nasączono niklem uzyskano znaczącą poprawę wydajności ogniwa.

Badania, które prowadziłem w ramach swojej pracy doktorskiej były częścią projektu „Nowe anodowe materiały perowskitowe do konstrukcji średnio-temperaturowych tlenkowych ogniw paliwowych” N 511 005 31/0576, realizowanego na Politechnice Gdańskiej w latach 2006-2009, którego byłem głównym wykonawcą.

Uzyskane w ramach badań wyniki zostały opublikowane w 3 publikacjach z listy JCR:

„*Electrical properties of $Y_{0.08}Sr_{0.92}Ti_{0.92}Nb_{0.08}O_{3-\delta}$ after reduction in different reducing conditions*”, J.Karczewski, B.Riegel, S.Molin, M.Gazda, P.Jasinski, L.Murawski, B.Kusz, *Journal of Alloys and Compounds* 473 (2009) 496–499

„*Electrical and structural properties of Nb-doped $SrTiO_3$* ”, J.Karczewski, B.Riegel, M.Gazda, P.Jasinski, B.Kusz, *Journal of Electroceramics* 24 (2010) 326-330,

„*Solid Oxide Fuel Cells with Ni infiltrated perovskite anode*”, J.Karczewski, B.Bochentyn, S.Molin, M.Gazda, P.Jasinski, B.Kusz, *Solid State Ionics*, 221 (2012) 11–14 (ukazała się już po obronie pracy),

Oraz zostały zaprezentowane przeze mnie na dwóch konferencyjnych wystąpieniach ustnych :

„*Structure and electric properties of nitrogen-doped titanate*” - X Symposium on Fast Ionic Conductors (Augustów 13-17 września 2006)

" *Doped strontium titanate as a potential SOFC anode material*" XI międzynarodowa studencka sesja naukowa „*Materiały i technologie XXI wieku*” (Katowice 14 maja 2009)

oraz w formie plakatów na pięciu konferencjach:

J.Karczewski, B.Riegel S.Molin, M.Gazda, P.Jasinski, B.Kusz “*Structural and electrical properties of Nb doped $SrTiO_3$* ” XI Symposium on Fast Ionic Conductors (14-17 września 2008, Grybów)

B.Riegel, J.Karczewski, S.Molin, M.Gazda, P.Jasinski, B.Kusz, “*Characterization of $SrTi_{0.98}Nb_{0.02}O_{3-\delta}$ – CeO_2 composite as a potential anode for solid oxide fuel cell*” 11th Conference of the European Ceramic Society (21-25 czerwca 2009, Kraków)

J.Karczewski, B.Riegel, S.Molin, M.Gazda, P.Jasinski, B.Kusz, "Electrochemical performance of $\text{SrTi}_{0.98}\text{Nb}_{0.02}\text{O}_{3-\delta}$ – CeO_2 composite material for solid oxide fuel cell anode" Second Polish Forum Fuel Cells and Hydrogen Technologies (07-10 września 2009, Kocierz)

J.Karczewski, B.Bochentyń, P.Gdaniec, M.Gazda, S.Molin, P.Jasinski, B.Kusz, „Fabrication and performance of a perovskite $\text{SrTi}_{0.98}\text{Nb}_{0.02}\text{O}_{3-\delta}$ anode-supported solid oxide fuel cell" XII Krajowego Symposium „Przewodniki Szybkich Jonów" (01-04 grudnia 2010, Ustroń)

P.Gdaniec, J.Karczewski, B.Bochentyń, M.Gazda, S.Molin, P.Jasinski, B.Kusz, "Fabrication and performance of an anode-supported solid oxide fuel cell with a perovskite $\text{SrTi}_{0.98}\text{Nb}_{0.02}\text{O}_{3-\delta}$ anode" 18th International Conference on Solid State Ionics (03-08 lipca 2011, Warszawa)

2.4.2 Okres po uzyskaniu stopnia doktora

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora nauk fizycznych kontynuowałem swoją działalność naukową w ramach działalności zespołu zajmującego się szeroko pojętą problematyką ogniw paliwowych pod kierownictwem prof. Jasińskiego. W ramach tej działalności powstało opisane powyżej osiągnięcie naukowe, które stanowi podstawę mojego wniosku habilitacyjnego. Badanie te wykonywane były między innymi w ramach projektów w których byłem wykonawcą:

WFOŚ/D/201/174/2011 - „Tlenkowe ogniwa paliwowe zasilane biogazem”, realizowanego w latach 2011-2014

OPUS 2012/05/B/ST7/02153 – „Warstwy funkcjonalne tlenkowych ogniw paliwowych” - realizowanego w latach 2013-2016

OPUS 2017/25/B/ST8/02275 – „Badanie oraz minimalizacja omowych i polaryzacyjnych strat w tlenkowych ogniwach elektrochemicznych przez zastosowanie nanokrystalicznych warstw ceramicznych.” realizowanego od roku 2018 (planowane zakończenie projektu 2021)

Od roku 2015 została nawiązana bardzo owocna współpraca pomiędzy Politechniką Gdańską a National Taipei University of Technology na Tajwanie, która doprowadziła do realizacji dwóch projektów badawczych w których brałem aktywny udział jako wykonawca:

DZP/PL-TW2/6/2015 - Polish-Taiwanese/Taiwanese-Polish Joint Research project "Innovative Solid Oxide Electrolyzers for Storage of Renewable Energy"- realizowany w latach 2013-2018

DZP/PL-TWV/47-2018 Polish-Taiwanese/Taiwanese-Polish Joint Research project "Materials for Direct Power-to-Hydrocarbon Conversion"- realizowanego od roku 2018 (planowane zakończenie projektu 2021).

Dodatkowo w ramach swojej działalności naukowej w dziedzinie tlenkowych ogniw paliwowych nawiązałem współpracę z dr inż. Sebastianem Molinem pracującym wówczas w Technical University of Denmark (obecnie pracuje na wydziale W Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej). Badania prowadzone z dr Molinem skupiają się przede wszystkim na problemie korozji i sposobach jej zapobiegania w stalowych interkonektorach stosowanych w stosach ogniw SOFC. Prace te prowadzone są między innymi w ramach projektu Harmonia UMO-2017/26/M/ST8/00438 „Nowe materiały na warstwy ochronne dla stalowych interkonektorów tlenkowych ogniw” realizowanego od roku 2018 (planowane zakończenie projektu 2021) wspólnie z Instytutem Energetyki z udziałem Technical University of Denmark. Oprócz wspomnianej powyżej współpracy, od roku 2016 jestem kierownikiem projektu SONATA UMO-2015/19/D/ST8/02783 „Nowe elektrody paliwowe dla tlenkowych elektrolizerów wykorzystywanych do produkcji gazu syntezowego” realizowanego na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej. Realizacja tego projektu pozwoliła mi na stworzenie własnego, niewielkiego zespołu, który realizuje samodzielnie badania, będąc jednocześnie częścią większej grupy tworzących zespół ogniw paliwowych na Politechnice Gdańskiej. W ostatnim czasie nawiązałem również obiecująco zapowiadającą się współpracę z grupą dr hab. Ewy Drożdż z Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Oprócz badań nad tlenkowymi ogniwami paliwowymi i elektrolizerami, które stanowią główny obszar moich zainteresowań, prowadzę również współpracę z dr hab. inż. Katarzyną Siuzdak i dr inż. Katarzyną Grochowską z Instytutu Maszyn Przepływowych im. Roberta Szwalskiego Polskiej Akademii Nauk. Badania prowadzone w ramach tej współpracy dotyczą zastosowania nanostruktur metali szlachetnych (w szczególności złota) osadzonych na strukturach nanorurek tlenku tytanu. Efektem tej jest wiele publikacji, jestem również jednym z wykonawców w projekcie LIDER „Innowacyjny, biokompatybilny czujnik do bezinwazyjnego oznaczania poziomu glukozy” kierowanym przez dr inż. Katarzyną Grochowską (projekt ten realizowany jest od 2018 roku, jego zakończenie planowane jest w roku 2020).

Ostatnią z dziedzin moich zainteresowań jest mikroskopia elektronowa i mikroskopia sił atomowych. Jako opiekun Laboratorium Mikroskopii Elektronowej oraz Pracowni mikroskopii AFM/STM Centrum Nanotechnologii Politechniki Gdańskiej współpracuje z wieloma ośrodkami i grupami badawczymi na Politechnice Gdańskiej jak również Uniwersytety Gdańskiego i Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego.

W ramach swojej działalności naukowej zostałem zaproszony do wygłoszenia czterech referatów jako „invited lecture”, wygłosiłem również sześć referatów ustnych, oraz szesnaście wystąpień plakatowych na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych. W ramach swojej działalności naukowej wykonałem też kilkanaście recenzji do czasopism z listy JCR

Dane bibliometryczne (na dzień 15.04.2019)

Liczba publikacji według bazy Web of Science: **100** (w tym 2 przed doktoratem)

Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science: **597** (w tym 3 przed doktoratem)

Indeks Hirscha według bazy Web of Science: **13**

Liczba publikacji według bazy Scopus: **100**

Liczba cytowań publikacji według bazy Scopus: **632**

Indeks Hirscha według bazy Scopus: **13**

2.5. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

W roku 2008 zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Fizyki Ciała Stałego na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej. W pierwszych latach mojej pracy dydaktycznej prowadziłem zajęcia rachunkowe i laboratoryjne z fizyki podstawowej dla studentów wydziałów Oceanotechniki i Okrętownictwa, Inżynierii Lądowej i Środowiska, jak również międzywydziałowego kierunku Inżynierii Materiałowej. Po uzyskaniu tytułu doktora zostałem zatrudniony w tej samej jednostce na stanowisku adiunkta. W latach 2012-2014 prowadziłem wykłady z Fizyki (zajęcia uzupełniające) na wydziale Oceanotechniki i Okrętownictwa. Od roku 2014 prowadzę wykłady z Fizyki (dwusemestralny kurs podstaw fizyki) dla międzywydziałowego kierunku Inżynierii Materiałowej, oraz swój autorski wykład „Metody mikroskopowe w Nanotechnologii” dla kierunku Nanotechnologia na wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej. Oprócz wykładów prowadziłem również zajęcia rachunkowe z „Fizyki fazy skondensowanej”. Dodatkowo od 2011 prowadzę zajęcia laboratoryjne „Nanotechnologii eksperymentalnej” i „Podstaw Nanotechnologii” – oba te zajęcia laboratoryjne zostały wymyślone i przygotowane przeze mnie. Od 2012 prowadzę również laboratorium „Nanotechnologia w Medycynie” na międzywydziałowym kierunku Inżynieria Biomedyczna. Kursu został przygotowany przeze mnie we współpracy z prof. Bogusławem Kuszem w ramach projektu „Przygotowanie i realizacja kierunku inżynieria biomedyczna – studia międzywydziałowe” POKL.04.01.01-00-236/08. W ramach swojej działalności dydaktycznej prowadziłem również w roku akademickim 2012/2013 zajęcia rachunkowe z fizyki na kierunku zamawianym Inżynieria Materiałowa w ramach projektu „Inżynieria materiałowa – przyszłość gospodarki” POKL.04.01.02-00-04/09-00, oraz w roku akademickim 2014/2015 prowadziłem kurs dla doktorantów „Zaawansowane techniki obrazowania” w ramach projektu „Rozwój interdyscyplinarnych studiów doktoranckich na Politechnice Gdańskiej w zakresie nowoczesnych technologii” POKL.04.01.01-00-368/09. Od roku 2018 prowadzę zajęcia „Microscopy methods in

nanotechnology” na anglojęzycznej specjalności „Nanostructures and computer simulations in material science” prowadzonej w ramach projektu „ Nanostruktury i symulacje komputerowe w inżynierii materiałowej” POWR.03.03.00-00-M056/16-00.

Jestem promotorem pomocniczym dwóch rozpraw doktorskich (dr inż. Tadeusza Miruszewskiego, tytuł rozprawy „Zbadanie właściwości strukturalnych i elektrycznych niestechiometrycznych, domieszkowanych związków typu $Sr_x(Ti, Fe) O_{3-\delta}$ ” – data nadania stopnia naukowego 27.01.2017 oraz dr inż. Aleksandra Chrzana tytuł rozprawy „Nanostruktury w katodach tlenkowych ogni paliwowych” – data nadania stopnia naukowego 12.12.2017), 10 prac magisterskich i 19 prac inżynierskich. Jedną z prac magisterskich, której byłem promotorem - praca Pana Aleksandra Chrzana pt. „Funkcjonalne warstwy pomiędzy katoda a elektrolitem ogniwa SOFC” została nagrodzona w konkursie na najlepszą pracę magisterską i doktorską w dziedzinie ogniwa paliwowe i technologie wodorowe, organizowanym przez Polskie Stowarzyszenie Wodoru i Ogni Paliwowych, oraz w konkursie im. Prof. Jerzego Skowrońskiego w zakresie elektrotechnologii i techniki wysokich napięć organizowanym przez Polski Komitet Materiałów Elektrotechnicznych Stowarzyszenia Elektryków Polskich

W ramach swojej działalności dydaktycznej od 2012 prowadzę również zajęcia oraz opiekę mentorską w ramach programu „Zdolni z Pomorza”, a od roku 2017 współpracuję w ramach programu „Laboratorium Kompetencji - Podniesienie jakości edukacji ogólnej wiejskiej Gminy Sadlinki poprzez wsparcie uczniów oraz nauczycieli w rozwijaniu kompetencji kluczowych wymaganych na rynku pracy” RPPM.03.02.01-22-0012/15-00 – 2014-2020.

W Centrum Nanotechnologii Politechniki Gdańskiej, które podlega Wydziałowi Fizyki Technicznej i Matematyki stosowanej pełnię funkcje opiekuna Laboratorium Mikroskopii Elektronowej oraz Pracowni mikroskopii AFM/STM. Od roku od roku 2013 pełnię funkcję kierownika Laboratorium Nanomateriałów działającego na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej w ramach Centrum Zaawansowanych technologii POMORZE. Od 2016 roku jestem również opiekunem Koła Naukowego Studentów Fizyki.

Od 2009 aktywnie uczestniczę w organizowanym corocznie przez Politechnikę Gdańską, wraz z innymi ośrodkami naukowymi Pomorza, Bałtyckim Festiwalu Nauki.



Literatura:

- [1] E.Ivers-Tiffée E, A.Weber, D. Herbstritt D J. Eur Ceram Soc 21(2001) 1805–1811
- [2] E.V.Tsipis, V.VKharton, J. Solid State Electrochem 12(2008) 1039–1060
- [3] E.V.Tsipis, V.VKharton, J. Solid State Electrochem 12(2008) 1067–1091
- [4] E.V.Tsipis, V.VKharton, J. Solid State Electrochem 15(2011) 1007–1040
- [5] C.F.Setevich, L.V.Mogni, A.Caneiro, F.D.Prado, Int. J. Hydrog Energy 37 (2012) 4895–4901
- [6] J.McCoppin, D.Young, T.Reitz, A.Maleszewski, S.Mukhopadhyay, J. Power Sources 196 (2011) 3761–3765
- [7] J. Van Herle, A.J. McEvoy, K. Ravindranathan Thampi, Electrochimica Acta 39 (11/12) (1994) 1675–1680.
- [8] P.Jasinski, S.Molin, M.Gazda, V.Petrovsky, H.U.Anderson J. Power Sources 194 (2009) 10–15
- [9] M. Shah, S.A. Barnett, Solid State Ionics 179 (2008) 2059–2064
- [10] A.J. Samson, M. Sjøgaard, R. Knibbe, N. Bonanos, J. Electrochem. Soc. 158 (2011) B650
- [11] T. Klemensø, C. Chatzichristodoulou, J. Nielsen, F. Bozza, K. Thydén, R.Kiebach, S. Ramousse, Solid State Ionics 224 (2012) 21–31
- [12] C. Nicollet, A. Flura, V. Vibhu, A. Rougier, J.-M. Bassat, J.-C. Grenier, Int. J. Hydrogen Energy 41 (2016) 15538–15544
- [13] H.U.Anderson, Solid State Ionics 52 (1992) 33–41
- [14] A.Morán-Ruiz, K.Vidal, M.A.Laguna-Bercero, A. Larrañaga, J. Power Sources 248 (2014) 1067–1076
- [15] L. Kindermann, D. Das, H. Nickel, K. Hilpert, Solid State Ionics 89 (1996) 215–220.
- [16] M. Gazda, P. Płonczak, S. Molin, B. Kusz, P. Jasinski, Acta Physica Polonica A 114 (2008) 135–141.
- [17] M.D. Anderson, J.W. Stevenson, S.P. Simner, Journal of Power Sources 129 (2004) 188–192.
- [18] G. Nurk, M. Vestli, P. Möller, R. Jaaniso, M. Kodu, H. Mändar, T. Romann, R. Kanarbik, E. Lust, J. Electrochem. Soc. 163 (2016) 88–96
- [19] F.C. Fonseca, S. Uhlenbruck, R. Nedélec, H.P. Buchkremer, J. Power Sources 195 (2010) 1599–1604;
- [20] A. Mai, V.A.C. Haanappel, F. Tietz, D. Stöver, Solid State Ionics 177 (2006) 2103–2107
- [21] G. Constantin, C. Rossignol, J.-P. Barnes, E. Djurado, Solid State Ionics 235 (2013) 36–41,
- [22] G. Laukaitis, D. Virbukas Solid State Ionics 247–248 (2013) 41–47,
- [23] J. Hierso, P. Boy, K. Vallé, J. Vulliet, F. Blein, C. Laberty-Robert, C. Sanchez, J. Solid State Chem. 197 (2013) 113–119
- [24] S. Uhlenbruck, N. Jordan, D. Sebold, H.P. Buchkremer, V.A.C. Haanappel, D. Stöver, Thin Solid Films 515 (2007) 4053–4060
- [25] A.Murashkina, V.Maragou, D.Medvedev, V.Sergeeva, A.Demin, P.Tsiakaras, J. Power Sources 210 (2012) 339–344
- [26] X. Li, H. Zhao, N. Xu, X. Zhou, C. Zhang, N. Chen, Int. J. Hydrog. Energy 34 (2009) 6407–6414
- [27] D.Neagu, G. Tsekouras, D. Miller, H. Menard, J.T.S. Irvine, Nat Chem 5 (2013) 916–923
- [28] L.Yang, K.Xie, S.Xu, T.Wu, Q.Zhou, T.Xie, Y.Wu, Dalton Trans 43 (2014) 14147–14157
- [29] Y.Gao, D.Chen, M.Saccoccio, Z.Lu, F.Ciucci Nano Energy 27 (2016) 499–508
- [30] D. Djurek, Z. Mdunić, A. Tonejc, M. Paljević, Croatica Chemica Acta (1998) 71 81–86