

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA  
WYDZIAŁ PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW TECHNIKI  
KATEDRA FIZYKI DOŚWIADCZALNEJ

A u t o r e f e r a t  
przedstawiający opis dorobku i osiągnięć  
naukowych

---

W związku z wnioskiem o przeprowadzenie przewodu habilitacyjnego

**Mechanizmy ferroicznych przemian  
fazowych związków metalo-organicznych –  
badania dielektryczne i kalorymetryczne**

**Dr inż. Adam Sieradzki**



Wrocław, wrzesień 2017

# Spis treści

<b>1. DANE OSOBOWE I KONTAKTOWE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWEGO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. PRZEBIEG DOTYCHCZASOWYCH OSIĄGNIĘĆ .....</b>	<b>5</b>
3.1. OPIS DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA .....	5
3.2. OPIS DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA .....	6
<b>4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO WYNIKAJĄCEGO Z ART. 16 UST. 2 USTAWY Z DNIA 14 MARCA 2003 R. O STOPNIACH NAUKOWYCH I TYTULE NAUKOWYM ORAZ O STOPNIACH I TYTULE W ZAKRESIE SZTUKI (DZ.U. NR 65, POZ. 595 ZE ZM.).....</b>	<b>8</b>
4.1. PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO. ....	8
4.2. OMÓWIENIE CELU NAUKOWEGO WW. PRAC I OSIĄGNIĘTYCH WYNIKÓW ORAZ PRZEDSTAWIENIEM ICH EWENTUALNEGO WYKORZYSTANIA. ....	11
4.2.1. <i>Wprowadzenie</i> .....	11
4.2.2. <i>Omówienie wyników zawartych w pracach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego</i> .....	13
4.2.3. <i>Ferroelektryczne przejścia fazowe w związkach metalo-organicznych</i> .....	20
4.2.4. <i>Ferroelastyczne przejścia fazowe w związkach metalo-organicznych</i> .....	22
4.2.5. <i>Antyferroelektryczne przejścia fazowe w związkach metalo-organicznych</i> .....	23
4.2.6. <i>Podsumowanie</i> .....	23
<b>5. WYKAZ INNYCH (NIE WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA WYMIENIONEGO W PKT I) OPUBLIKOWANYCH PRAC NAUKOWYCH ORAZ WSKAŹNIKI DOKONAŃ NAUKOWYCH.....</b>	<b>24</b>
5.1. PUBLIKACJE NAUKOWE W CZASOPISMACH ZNAJDUJĄCYCH SIĘ W BAZIE JOURNAL CITATION REPORTS (JRC) PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA .....	24
5.2. WYNAŁAZKI ORAZ WZORY UŻYTKOWE I PRZEMYSŁOWE, KTÓRE UZYSKAŁY OCHRONĘ I ZOSTAŁY WYSTAWIONE NA MIĘDZYNARODOWYCH LUB KRAJOWYCH WYSTAWACH LUB TARGACH.....	28
5.3. MONOGRAFIE, PUBLIKACJE NAUKOWE W CZASOPISMACH MIĘDZYNARODOWYCH LUB KRAJOWYCH.....	28
5.4. UDZIAŁ W KRAJOWYCH PROJEKTACH BADAWCZYCH .....	29
5.5. KRAJOWE NAGRODY ZA DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWĄ.....	29
5.6. WYGŁOSZONE REFERATY NA MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH KONFERENCJACH TEMATYCZNYCH .....	29
5.7. UDZIAŁ I PREZENTACJA PLAKATU NA KONFERENCJI NAUKOWEJ .....	29
<b>6. DOROBEK DYDAKTYCZNY I POPULARYZATORSKI ORAZ INFORMACJA O WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ HABILITANTA .....</b>	<b>30</b>
6.1. UCZESTNICTWO W PROGRAMACH EUROPEJSKICH ORAZ INNYCH PROGRAMACH MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH .....	30
6.2. UDZIAŁ W KOMITETACH ORGANIZACYJNYCH MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH KONFERENCJI NAUKOWYCH .....	30
6.3. OTRZYMANE NAGRODY I WYRÓŻNIENIA.....	30
6.4. OSIĄGNIĘCIA DYDAKTYCZNE I W ZAKRESIE POPULARYZACJI NAUKI .....	30
6.5. PROWADZONE ZAJĘCIA DYDAKTYCZNE.....	33
6.6. OPIEKA NAUKOWA NAD STUDENTAMI .....	34
6.7. STAŻE W ZAGRANICZNYCH I KRAJOWYCH OŚRODKACH NAUKOWYCH LUB AKADEMICKICH .....	34
6.8. WSPÓŁPRACA ZAGRANICZNA I KRAJOWA .....	35
6.9. WYKONANE EKSPERTYZY LUB INNE OPRACOWANIA NA ZAMÓWIENIE .....	35
6.10. RECENZOWANIE PUBLIKACJI W CZASOPISMACH MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH.....	35
6.11. INNE OSIĄGNIĘCIA .....	36

## 1. Dane osobowe i kontaktowe

### Dane osobowe

Imię i nazwisko: Adam Sieradzki  
Data urodzenia: 09 listopada 1978  
Miejsce urodzenia: Bielawa  
Stan cywilny: żonaty

### Dane kontaktowe

Katedra Fizyki Doświadczalnej  
Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław  
e-mail: adam.sieradzki@pwr.edu.pl  
tel.: 71 320 29 55 fax: 71 328 36 96

### Wykształcenie

Czerwiec 2006	doktor nauk fizycznych. Temat pracy doktorskiej: „Wybrane właściwości fizyczne i ferroelastyczne przejście fazowe kryształów $\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$ ”, Instytut Fizyki Politechniki Wrocławskiej. Promotor: prof. dr hab. Ryszard Poprawski
2002 – 2006	studia doktoranckie: Politechnika Wrocławska, Wydział Podstawowych Problemów Techniki – kierunek Fizyka, specjalność: Fizyka Ciała Stałego.
Czerwiec 2002	magister inżynier
1997 – 2002	studia dzienne: Politechnika Wrocławska, Wydział Podstawowych Problemów Techniki – kierunek Fizyka, specjalność: Fizyka Ciała Stałego.
1997	matura w Liceum Ogólnokształcącym im. Bolesława Chrobrego w Bielawie, klasa o profilu matematyczno-fizycznym.

### Przebieg kariery zawodowej

2008 - obecnie	Adiunkt naukowo-dydaktyczny, Katedra Fizyki Doświadczalnej (wcześniej: Instytut Fizyki), Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska, Zespół Fizyki Dielektryków kierowany przez prof. dr hab. Ryszarda Poprawskiego
Luty 2007 – październik 2008	staż podoktorski w IPCMS w Uniwersytecie Ludwika Pasteura, Strasburg, Francja. Opiekun stażu: prof. Jean-Yves Bigot.
2006 - 2008	Asystent naukowo-dydaktyczny, Instytut Fizyki, Wydział Podstawowych Problemów Techniki, Politechnika Wrocławska
marzec 2004	Krótkoterminowy staż naukowy w Clarendon Laboratory, Oxford UK. Opiekun stażu: prof. Mike Glazer

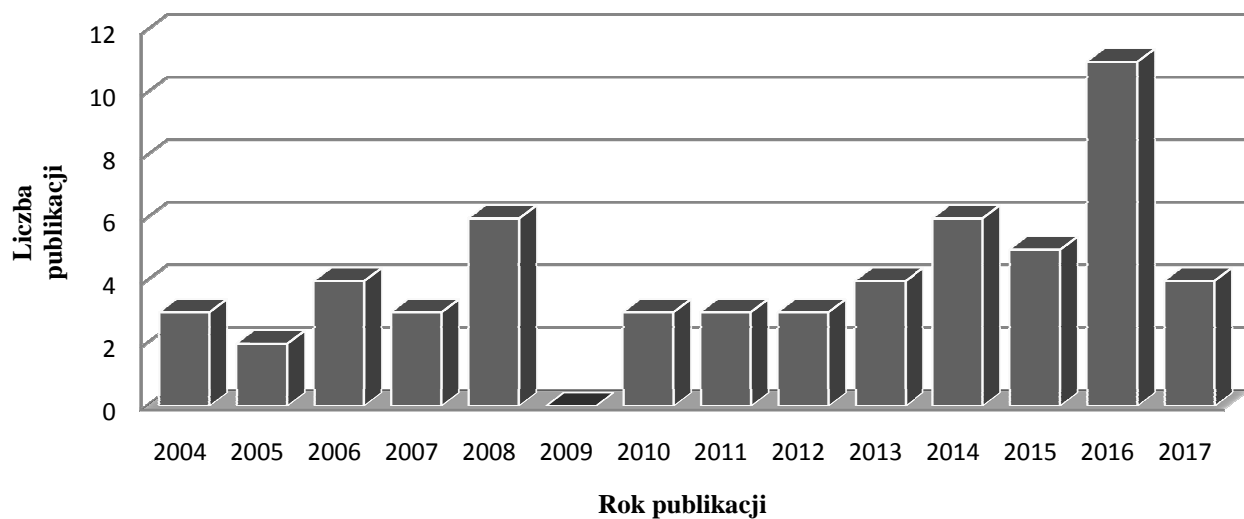
### Znajomość języków obcych

Język angielski:	dobra w mowie i piśmie
Język niemiecki:	podstawowa
Język francuski:	podstawowa

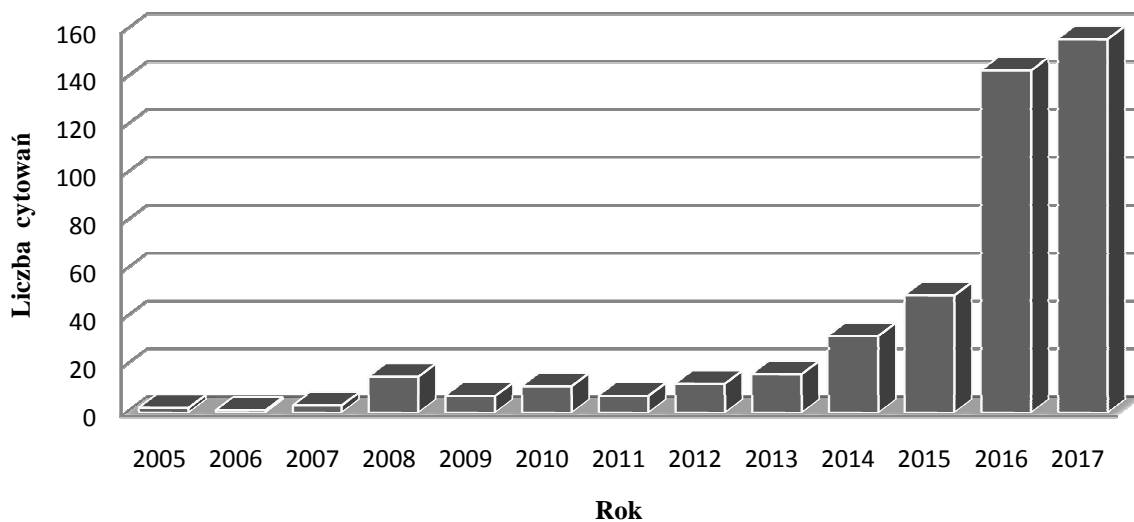
## 2. Podsumowanie dorobku naukowego

Dane bibliometryczne na dzień 10.09.2017 (wg. Web of Science)

- Liczba publikacji w czasopismach z listy filadelfijskiej **52**



- Sumaryczny Impact Factor publikacji: **~120**
- Indeks Hirsha: **12**
- Średnie cytowanie artykułu: **8.65**
- Liczba cytowań artykułów bez autocytowań wg Web of Science: **313**
- Całkowita liczba cytowań artykułów wg. Web of Science: **450**



- Liczba patentów **1**

### 3. Przebieg dotychczasowych osiągnięć

#### 3.1. Opis działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora

Studia magisterskie w Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Podstawowych Problemów Techniki na kierunku Fizyka rozpocząłem w roku 1997. Studia te ukończyłem w 2002 roku z wynikiem bardzo dobrym. W tym samym roku obroniłem pracę magisterską pt. „Struktura i własności fizyczne kryształu  $\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$ ”, która powstała pod kierownictwem prof. dra hab. Ryszarda Poprawskiego. Głównym wynikiem osiągniętym w tej pracy było wyznaczenie diagramu fazowego w płaszczyźnie temperatura - ciśnienie hydrostatyczne w kryształach  $\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$ .

Studia doktoranckie w Instytucie Fizyki, pod opieką prof. dra hab. Ryszarda Poprawskiego rozpocząłem w 2002r. W swojej pracy naukowej skupiłem się na badaniu właściwości fizycznych wybranych kryształów ferroelastycznych i ferroelektrycznych. Do pomiarów tych należały pomiary elektryczne (przenikalność dielektryczna, polaryzacja spontaniczna), dylatometryczne, kalorymetryczne, strukturalne, optyczne (dwójłomność spontaniczna, widma ramanowskie oraz podczerwieni) oraz wpływ ciśnienia hydrostatycznego na temperaturę przemiany fazowej. Większość pomiarów wykonana została w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej. Bardzo ciekawe wyniki otrzymałem z pomiarów wpływu ciśnienia na właściwości fizyczne kryształów  $\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$ , 2APP, NTGO oraz  $\text{DMACuCl}_4$ . Warto podkreślić, że pomiary ciśnieniowe należą do jednych z najtrudniejszych eksperymentów fizycznych. Wykonując pomiary przenikalności dielektrycznej w funkcji temperatury przy ustalonym ciśnieniu (izobary) oraz w funkcji ciśnienia przy ustalonej temperaturze (izotermy) było możliwe sporządzenie diagramów fazowych  $p - T$ . Wyniki tych pomiarów zostały przedstawione w kilku publikacjach z listy filadelfijskiej oraz przedstawione na konferencjach naukowych [1].

Pomiary dwójłomności spontanicznej kryształu  $\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$  zostały wykonane podczas krótkoterminowego stażu naukowym w Clarendon Laboratory w Uniwersytecie w Oxfordzie w zespole prof. M. Glazera. Pomiary te wykonano przy użyciu nowatorskiej metody obrazowania opracowanej przez grupę prof. Glazera. Wyniki te zostały opublikowane w pracy [2]. Pomiary strukturalne kryształu  $\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$  zostały wykonane przy współpracy z prof. A. Pietraszko z Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu. Na podstawie wyników pomiarów określono zmiany struktury przy przejściu fazowym z fazy wysokotemperaturowej (paraelastycznej) do fazy niskotemperaturowej (ferroelastycznej). Określono symetrię obu faz oraz wyznaczono kierunki deformacji spontanicznej w badanym materiale. Wyniki tych pomiarów okazały się na tyle interesujące, że związki te zostały włączone do projektu badań strukturalnych na synchrotronie w Niemczech. Wyniki tych badań zostały opublikowane w J. Physics and Chemistry of Solids [3]. Pomiary spektroskopii ramanowskiej oraz podczerwieni kryształu

---

<sup>1</sup> (a) A. Sieradzki, A. Pietraszko, R. Poprawski, Integ. Ferroelectrics **62** (2004) 79-82; (b) R. Poprawski, A. Sieradzki, E. B. Radojewska, Ferroelectrics **302** (2004) 293-295; (c) A. Sieradzki, A. Ciżman, J. Komar, Phase Transitions **81** (2008) 999-1004; (d) Yu. Eliyashevskyy, A. Sieradzki, R. Poprawski, Ferroelectrics **363** (2008) 245-250.

<sup>2</sup> A. Sieradzki, A. Ciżman, R. Poprawski, V. Shuvaeva, A.M. Glazer, Phase Transitions **78** (2005) 351-356.

<sup>3</sup> A. Waškowska, L. Gerward, J.S. Olsen, A. Sieradzki, W. Morgenroth, J. Phys. Chem. of Solids **69** (2008) 815-821.

$\text{Li}_2\text{TiGeO}_5$  zostały wykonane przy współpracy z dr hab. M. Mączką z INTiBS PAN we Wrocławiu [<sup>4</sup>]. Wyniki tych pomiarów pozwoliły na potwierdzenie wcześniejszych przypuszczeń, że za przemianę fazową w tym związku odpowiada porządkowanie drgań jonów litu.

Oddzielnym tematem badawczym jakim zajmowałem się od 2004 było badanie wpływu ograniczenia przestrzennego na właściwości fizyczne ferroelektryków. Problem polegał na wbudowaniu kryształu ferroelektrycznego w szklaną matrycę porowatą o ściśle określonej średnicy porów oraz zbadanie podstawowych właściwości fizycznych tj. temperatury przemiany fazowej, polaryzacji, przenikalności dielektrycznej takich kompozytów. Wykazano, że we wszystkich badanych związkach efekt rozmiarowy ma istotne znaczenie w szczególności zmienia niemonotonicznie stabilność fazy ferroelektrycznej. Trudnością w badaniach było silne rozmycie przemiany fazowej wynikającej z niewielkiej ilości (mała objętość) materiału wbudowanego i tym samym słabego sygnału. Pomimo tych utrudnień zmierzono efekty rozmiarowe wielu kompozytów w tym m. in. wbudowany kryształ siarczanu trójglicyny TGS,  $\text{KNO}_3$ , ADP [<sup>5</sup>]. Udowodniono również, że efekt ciśnieniowy wynikający z różnych współczynników rozszerzalności termicznej matrycy oraz materiału wbudowywanego ma dużo mniejszy wpływ na zachowanie materiału zbudowanego niż sam efekt rozmiarowy [<sup>6</sup>].

### **3.2. Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora**

Po obronie doktoratu zostałem zatrudniony w Instytucie Fizyki Politechniki Wrocławskiej na etacie asystenta naukowo-dydaktycznego. W lutym 2007 wyjechałem na 20 miesięczny staż naukowy w Uniwersytecie Ludwika Pasteura w Strasburgu. Prace badawczo-naukowe prowadziłem pod kierunkiem prof. J-Y. Bigot w grupie Optyki Zjawisk Nieliniowych. Tematem mojego projektu był „Własności fizyczne nanostruktur i metamateriałów fotowoltaicznych”. Przedmiotem moich badań były próbki nanostruktur krzemowych wykonane we Francji. Głównym działaniem mojej pracy było zbudowanie układu oraz pomiary dynamiczne wykonywane przy użyciu laserów femtosekundowych techniką pump-probe. Wykonałem serie pomiarów czasowych przy silnych wzbudzeniach optycznych przekraczających próg wzbudzeń plazmowych. Najważniejszym wynikiem tych pomiarów było odkrycie, że próg wzbudzeń plazmowych dla nanostruktur krzemowych jest o rząd mniejszy niż dla kryształów objętościowych. Dodatkowo wyjaśniłem w oparciu o model Druda wpływ temperatury oraz tłumienia na dynamikę czasową wzbudzanych nośników. Kolejnym ważnym osiągnięciem podczas pobytu na wyjeździe zagranicznym było zbudowanie układu do wzbudzeń ultraszybkimi impulsami optycznymi do spektralnych badanych nanostruktur. Jest to bardzo trudny i rzadko spotykany eksperyment, który w jednym czasie pozwala na przestrzenne oglądanie wzbudzeń ultraszybkimi impulsami światła. W przypadku badania nanostruktur pozwala na podgląd dynamiki

---

<sup>4</sup> M. Mączka, A. Sieradzki, R. Poprawski, K. Hermanowicz, J. Hanuza, *Journal of Physics: Condensed Matter* **18** (2006) 2137.

<sup>5</sup> (a) E. Rysiakiewicz-Pasek, R. Poprawski, J. Polanska, A. Urbanowicz, A. Sieradzki, *J. Non-cryst. Sol.* **352** (2006), 4309-4314; (b) R. Poprawski, E. Rysiakiewicz-Pasek, A. Sieradzki, A. Ciżman, J. Polańska, *J. Non-Cryst. Sol.* **353** (2007) 4457-4461; (c) A. Sieradzki, J. Komar, E. Rysiakiewicz-Pasek, A. Ciżman, R. Poprawski, *Ferroelectrics* **402** (2010) 60-65.

<sup>6</sup> T. Marcinişzyn, R. Poprawski, J. Komar, A. Sieradzki, *Phase Transitions* **83** (2010) 909-916.

wzbudzonych nośników w poszczególnych warstwach i interfacach. Wyniki pomiarów dla fotowoltaicznych nanostruktur krzemowych zostały opublikowane w czasopiśmie *Plasmonics* [<sup>7</sup>].

Po powrocie do kraju brałem udział jako wykonawca w projekcie badawczym kierowanym przez prof. R. Poprawskiego: „*Synteza i charakteryzacja ceramiek i kryształów  $M_2TiGeO_5$  czystych i domieszkowanych – nowych materiałów dla optoelektroniki*”. W ramach tego projektu brałem udział w syntezie nowych związków z grupy natisite oraz ich charakteryzacji. Wykazaliśmy, że materiał  $Na_2TiGeO_5$  jest podobnie jak jego strukturalny analog z jonem litu materiał ferroelastycznym poniżej 281K. Dla próbek ceramicznych wykazaliśmy wpływ powstawania ferroelastycznej struktury domenowej oraz rozmiaru ziaren na transport ciepła w tych materiałach. Dodatkowo wykazaliśmy, że domieszkowanie jonami ziem rzadkich powoduje wydajną emisję w tych materiałach. Wyniki tych badań zostały opublikowane w kilku czasopismach naukowych [<sup>8</sup>].

Od roku 2014 rozpocząłem badania właściwości fizycznych materiałów metalo-organicznego typu MOF w ramach współpracy z grupą prof. M. Mączki z Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu. Do moich zadań należały badania kalorymetryczne, dielektryczne oraz piroelektryczne nowych związków z ligandem mrówczanowym. Przy użyciu techniki DSC zbadałem już ponad 200 różnych związków metalo-organicznych. Po wstępnej selekcji oraz określeniu rodzaju przemiany fazowej, wybrane próbki poddawane były dalszej charakteryzacji w tym badań strukturalnych, dielektrycznych, magnetycznych oraz spektroskopii Ramana i IR. Dokonaliśmy opisu własności fizycznych dla różnych składów chemicznych w celu określenia mechanizmów decydujących o występowaniu ferroicznych przemian w badanych strukturach. Dla kilku związków wykazaliśmy współistnienie dwóch typów uporządkowania ferroicznego w tych samych temperaturach co sprawia, że materiały te mogą być potencjalnie multiferoiczne. W przeciągu trzech lat jestem współautorem 19 publikacji z tej tematyki, a dalszych kilka jest w trakcie opracowywania. Złożyliśmy 2 niezależne projekty do konkursu Opus13 będące rozwinięciem i kontynuacją badań nad tymi związkami. Wybrane z tych prac wyniki są podstawą niniejszego wniosku habilitacyjnego.

---

<sup>7</sup> (a) A. Sieradzki, Z. T. Kuźnicki, *Plasmonics* **8** (2013) 1643-1646; (b) A. Sieradzki, M. Basta, P. Scharoch, J.-Y. Bigot, *Plasmonics* **9** (2014) 545-551.

<sup>8</sup> (a) A. Sieradzki, A. Ciżman, A. Strzyp, R. Poprawski, W. Ryba-Rymanowski, *Ferroelectrics* **429** (2012) 56-61; (b) A. Sieradzki, D. Szewczyk, M. Nankiewicz, A. Jeżowski, R. Poprawski, *Phase Transitions* **86** (2013) 301-305; (c) A. Sieradzki, A. Jeżowski, R. Poprawski, *J. Thermal Analysis and Calorimetry* **115** (2014) 467-470; (d) A. Sieradzki, D. Szewczyk, A. Gągor, R. Poprawski, A. Jeżowski, *Ceramics International* **40** (2014) 8027-8031.

**4. Wskazanie osiągnięcia naukowego wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.).**

Jako osiągnięcie naukowe zgodnie z powyższą ustawą, wskazuję jednotematyczny cykl publikacji pt. "Mechanizmy ferroicznych przemian fazowych związków metalo-organicznych – badania dielektryczne i kalorymetryczne".

**4.1. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego.**

Przedstawiony cykl 11 jednotematycznych publikacji z zakresu fizyki doświadczalnej dotyczących badań oraz poznania mechanizmów ferroicznych (ferroelektrycznych, antyferroelektrycznych oraz ferroelastycznych) przemian fazowych przy zastosowaniu szerokopasmowej spektroskopii dielektrycznej, pomiarów piroelektrycznych oraz kalorymetrii różnicowej DSC w połączeniu z danymi z innych niezależnych eksperymentów.

	IF*	Punkty MNISW**	2014
A1	4.197	40	<p>M. Mączka, A. Pietraszko, L. Macalik, <b>A. Sieradzki</b>, J. Trzmiel, A. Pikul, <i>Synthesis and Order-Disorder Transition in Novel Metal Formate Framework of <math>[(CH_3)_2NH_2]Na_{0.5}Fe_{0.5}(HCOO)_3</math></i>, Dalton Trans. (2014), 43, 17075.</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych mieszanych związków mrówczanowych oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział Thermal properties). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric properties). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</i></p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 25%</p>
<b>2015</b>			
A2	1.98	30	<p><b>A. Sieradzki</b>, J. Trzmiel, M. Ptak, M. Mączka, <i>Unusual Electronic Behavior in the Polycrystalline Metal Organic Framework <math>[(CH_3)_2NH_2]Na_{0.5}Fe_{0.5}(HCOO)_3</math></i> Electronic Materials Letters (2015), 11, 1033-1039.</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu wszystkich pomiarów dielektrycznych związku mrówczanowego z wbudowanym jonem dimetyloaminy. Prowadziłem dyskusje oraz analizę otrzymanych wyników. Prowadziłem cały proces powstawania publikacji.</i></p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 70%</p>
A3	4.177	40	<p>M. Mączka, B. Bondzior, P. Dereń, <b>A. Sieradzki</b>, J. Trzmiel, A. Pietraszko, J. Hanuza, <i>Synthesis and Characterization of <math>[(CH_3)_2NH_2][Na_{0.5}Cr_{0.5}(HCOO)_6]</math>: Rare Example of Luminescent Metal-Organic Framework Based on Cr(III) Ions</i>, Dalton Trans., (2015), 44, 6871.</p> <p><i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych mieszanych związków mrówczanowych oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział Thermal properties). Przeprowadziłem pomiary</i></p>



			<p>dielektryczne w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric properties). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 25%</p>
A4	4.696	40	<p>M. Mączka, <b>A. Sieradzki</b>, B. Bondzior, P. Dereń, J. Hanuza, K. Hermanowicz, <i>Effect of aliovalent doping on the properties of perovskite-like multiferroic formates</i>, Journal of Materials Chemistry C 3 36 (2015) 9337-9345.</p> <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych związków mrówczanowych domieszkowanych chromem oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział Thermal properties). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric properties). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 30%</p>
<b>2016</b>			
A5	5.066	40	<p>M. Mączka, A. Ciupa, A. Gągor, <b>A. Sieradzki</b>, A. Pikul, M. Ptak, <i>Structural, magnetic and dielectric properties of two novel mixed-valence iron (II)–iron (III) metal formate framework</i>, Journal of Materials Chemistry C, (2016), 4, 1186-1193.</p> <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych mieszanych związków mrówczanowych oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział Thermal properties). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric studies). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 20%</p>
A6	4.19	40	<p><b>A. Sieradzki</b>, S. Pawlus, S.N. Tripathy, A. Gągor, A. Ciupa, M. Mączka, M. Paluch, <i>Dielectric relaxation behavior in antiferroelectric metal organic framework <math>[(CH_3)_2NH_2][Fe^{III}Fe^{II}(HCOO)_6]</math> single crystals</i>, Phys. Chem. Chem. Phys. (2016) 18, 8462-8467.</p> <p>Zaproponowałem przeprowadzenie badań, których wyniki zostały przedstawione w tej publikacji. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu wszystkich pomiarów dielektrycznych na niewielkich monokryształach mieszanego związku mrówczanowego. Brałem udział w analizie otrzymanych wyników. Prowadziłem cały proces powstawania publikacji.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 60%</p>
A7	4.19	40	<p>M. Mączka, N.L.M. Costa, A. Gągor, W. Paraguassu, <b>A. Sieradzki</b>, J. Hanuza, <i>Structural, thermal, dielectric and phonon properties of perovskite-like imidazolium magnesium formate</i>, Phys. Chem. Chem. Phys. (2016) 18, 13993-14000.</p> <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów</p>

			<p>kalorymetrycznych związku metalo-organicznego z wbudowanym jonem imidazolu oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział DSC). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne oraz ich pełną analizę w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości obejmującym przejścia fazowe. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric measurements). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 20%</p>
<b>A8</b>	4.177	40	<p>M. Ptak, M. Mączka, A. Gągor, <b>A. Sieradzki</b>, A. Stroppa, D. Di Sante, J. M. Perez-Mato, L. Macalik, <i>Experimental and theoretical studies of structural phase transition in a novel polar perovskite-like [C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>3</sub>][Na<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.5</sub>(HCOO)<sub>3</sub>] formate</i>, Dalton Trans., (2016), 45, 2574-2583.</p> <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych polarnych związków mrówczanowych z wbudowanym jonem etyloaminy oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział Thermal studies). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości. Nadzorowałem analizę numeryczną otrzymanych wyników. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric studies). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 20%</p>
			<b>2017</b>
<b>A9</b>	4.029	40	<p><b>A. Sieradzki</b>, S. Pawlus, S.N. Tripathy, A. Gągor, M. Ptak, M. Paluch, M. Mączka, <i>Dielectric relaxation and anhydrous proton conduction in [C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>NH<sub>3</sub>][Na<sub>0.5</sub>Fe<sub>0.5</sub>(HCOO)<sub>3</sub>] metal-organic framework</i>, Dalton Transactions, (2017) 46, 3681-3687</p> <p>Byłem pomysłodawcą tematyki zaproponowanej w tej publikacji. Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu wszystkich pomiarów dielektrycznych. Brałem udział w analizie otrzymanych wyników. Prowadziłem cały proces powstawania publikacji.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 60%</p>
<b>A10</b>	9.466	45	<p>M. Mączka, A. Gągor, M. Ptak, W. Paraguassu, T.A. da Silva, <b>A. Sieradzki</b>, A. Pikul, <i>Phase Transitions and Coexistence of Magnetic and Electric Orders in the Methylhydrazinium Metal Formate Frameworks</i>, Chemistry of Materials, (2017) 29, 2264-2275</p> <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych badanej grupy związków mrówczanowych z wbudowanym jonem metylohydrazyny, w tym wyznaczeniu ciepła właściwego, zmian entropii przy przejściach fazowych oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział DSC). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne oraz piroelektryczne 4 związków. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych oraz piroelektrycznych (podrozdział Dielectric and pyro electric measurements). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</p> <p>Mój udział procentowy szacuję na 25%</p>

A11	4.029	40	M. Mączka, J. Janczak, M. Trzebiatowska, <b>A. Sieradzki</b> , S. Pawlus, A. Pikul, <i>Synthesis and temperature-dependent studies of a perovskite-like manganese formate framework templated with protonated acetamidine</i> , Dalton Transactions, (2017) 46, 8476-8485
			<i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na wykonaniu pomiarów kalorymetrycznych badanego związku metalo-organicznego z wbudowanym jonem acetamidyny oraz analizie i opisie tych wyników (podrozdział DSC). Przeprowadziłem pomiary dielektryczne w szerokim przedziale temperatur oraz częstotliwości. Nadzorowałem analizę numeryczną otrzymanych wyników. Przygotowałem wszystkie wykresy oraz opis pomiarów dielektrycznych (podrozdział Dielectric studies). Dodatkowo brałem udział w przygotowaniu całości manuskryptu.</i>
			Mój udział procentowy szacuję na 25%

\* Impact Factor zgodny z rokiem opublikowania.

\*\* Punktacja Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zgodna z rokiem opublikowania.

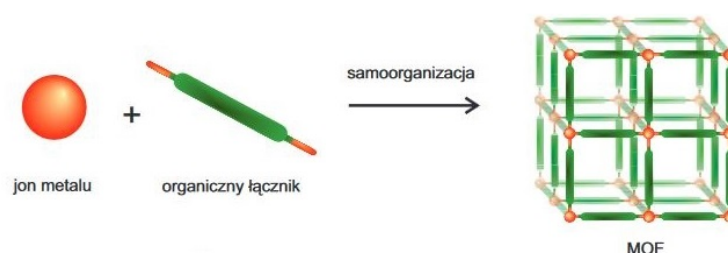
#### **4.2. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników oraz przedstawieniem ich ewentualnego wykorzystania.**

Celem naukowym cyklu prac stanowiących podstawę wniosku habilitacyjnego było poznanie mechanizmów ferroicznych przemian fazowych na podstawie wyników pomiarów kalorymetrycznych, dielektrycznych oraz piroelektrycznych w połączeniu z danymi z innych niezależnych eksperymentów.

##### **4.2.1. Wprowadzenie**

Od kilku dziesięcioleci intensywnie prowadzone są badania podstawowe polimerów koordynacyjnych, których budowa pozwala na uzyskanie jedno- dwu- i trójwymiarowych sieci, te ostatnie nazywane są związkami metalo-organicznymi typu MOF. Strukturę MOF stanowi sieć składająca się z dwóch głównych elementów: kationów metali (pełniących funkcję centrów metalicznych lub inaczej węzłów) oraz organicznych łączników połączonych ze sobą wiązaniami koordynacyjnymi. Organiczne ligandy (określane mianem łączników) zawierają co najmniej dwie grupy funkcyjne tworzące wiązania koordynacyjne z kationami. Dzięki takiej budowie możliwe jest uzyskanie krystalicznych i trójwymiarowych struktur [<sup>9</sup>]. Charakterystyczną cechą tego rodzaju struktur jest występowanie dużych przestrzeni w sieci metalo-organicznej, które mogą być puste lub obsadzone przez molekuły lub jony.

<sup>9</sup> M. Eddaoudi, J. Kim, N. Rosi, D. Vodak, J. Wachter, M. O'Keeffe, O. M. Yaghi, Science, **295** (2002), 469-472.



W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie związkami typu MOF z ligandem mrówczanowym ( $\text{HCOO}^-$ ), spowodowane ich interesującymi właściwościami multiferroicznymi. Otóż multiferroiki mogą być wykorzystane m. in. jako wyjątkowo efektywne pamięci masowe. W porównaniu ze standardowymi materiałami magnetycznymi lub ferroelektrycznymi, multiferroiki wykazują efekt magnetoelektryczny, tzn. posiadają unikatową zdolność zmiany zwrotu wektora namagnesowania polem elektrycznym jak również wektora polaryzacji elektrycznej polem magnetycznym. Istnieje wówczas wyjątkowa szansa realizacji czterech stanów logicznych <sup>[10]</sup>. Z punktu widzenia fizyki, stabilność faz ferroicznych jest kluczowym zagadnieniem naukowym w badaniu nad szeroko rozumianym tematem multiferroiczności. Tematyka ta staje się nietrywialna, jak tylko zdamy sobie sprawę z faktu, iż w zwyczajnych układach zjawiska te wzajemnie się wykluczają <sup>[11]</sup>.

Możliwe zastosowania tych kryształów są różnorodne, a ich użyteczność zależy głównie od stopnia wzajemnego sprzężenia poszczególnych stanów, w szczególności elektrycznego i magnetycznego. Stopień takiej korelacji zależy m.in. od struktury krystalicznej jak i składu chemicznego kryształu. Jednakże, żeby mówić o sprzężeniu na początek trzeba poznać mechanizmy decydujące o stabilności poszczególnych faz w szczególności ferroelektrycznej, antyferroelektrycznej oraz ferroelastycznej. Obecnie istnieje szeroka możliwość praktycznego wykorzystania tych unikalnych właściwości materiałów multiferroicznych. Można do nich zaliczyć zastosowanie w generatorach, przesuwnikach fazowych, złączach tunelowych, jednakże najbardziej realne jest wykorzystanie tych materiałów jako sensory pola magnetycznego <sup>[12]</sup>.

Ponieważ podstawowym czynnikiem decydującym o własnościach materii skondensowanej jest rodzaj oddziaływań międzycząsteczkowych, które w niej występują, dynamika oddziaływań w ciele stałym zmienia się w zależności od składu materiału. Drugim, nie mniej istotnym parametrem wpływającym na te własności jest rodzaj uporządkowania struktury krystalicznej. W rezultacie różnorodność składu wpływa na właściwości fizyczne badanego materiału np. prowadząc do pojawienia się strukturalnej przemiany fazowej typu porządek-nieporządek. Co więcej, warunki termodynamiczne w jakich własności materiału pozostają stabilne lub zachodzi przemiana fazowa również bezpośrednio zależą od budowy molekularnej substancji oraz jej uporządkowania dalekozasięgowego. A przecież to właśnie określone własności materiału, w zadanych warunkach temperaturowo-ciśnieniowych decydują o jego wykorzystaniu do konkretnych celów aplikacyjnych. Z tego względu poznanie mechanizmów przemian fazowych,

<sup>10</sup> J. F. Scott, *Nature Materials* **6** (2007) 256 – 257.

<sup>11</sup> D. I. Khomskii, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* **306** (2006) 1.

<sup>12</sup> M. M. Vopson, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences* **40** (2015) 223-250.

w szczególności wpływu oddziaływań międzymolekularnych i budowy krystalicznej na własności materiałów, jest kwestią o kardynalnym znaczeniu dla projektowania substancji o pożądanych własnościach. Drugim zaś, nie mniej ważnym kierunkiem badań, jest określenie jak zmiana warunków termodynamicznych wpływa na te własności, np. poprzez zmianę temperatury w której przejście zachodzi oraz rodzaju przejścia fazowego, powodowanych np. w wyniku niewielkiego domieszkowania.

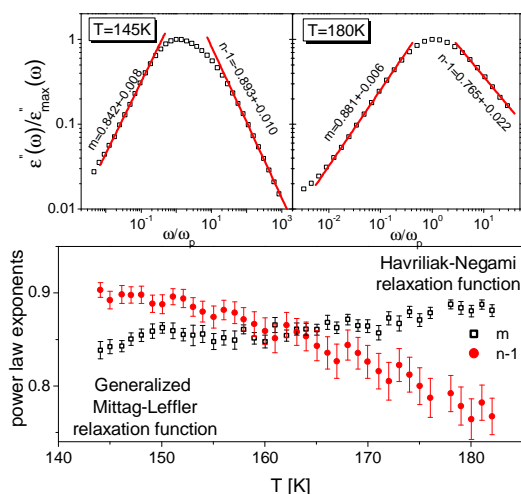
Poznanie ferroicznych własności nowych związków metalo-organicznych oraz opisanie mechanizmów decydujących o stabilności poszczególnych faz jest zadaniem nietrywialnym ze względu na złożoność struktury krystalicznej. Cechą, która utrudnia wiele pomiarów jest fakt, iż związki metalo-organiczne z ligandem mrówczanowym z reguły trudno jest otrzymać w postaci dużych monokryształów, stąd nie możliwe jest wykonanie pomiarów anizotropowych. Jednakże wykorzystanie wielu niezależnych technik eksperymentalnych pozwala na dokładne określenie właściwości fizycznych oraz opisanie mechanizmów przemian fazowych. Spośród wielu technik pomiary kalorymetryczne przy użyciu techniki DSC oraz pomiary dielektryczne i piroelektryczne pozwalają na określenie temperatur przemian fazowych, rodzaju przemiany oraz mechanizmów decydujących o określonych właściwościach fizycznych.

#### 4.2.2. *Omówienie wyników zawartych w pracach wchodzących w skład osiągnięcia naukowego*

**A1.** W tej pracy zaprezentowano opis syntezy oraz wyniki badań strukturalnych nowego związku metalo-organicznego zawierającego jony  $\text{Na}^{\text{II}}$  i  $\text{Fe}^{\text{III}}$  z wbudowanym kationem dimetyloamoniowym  $\text{DMA}^+$  -  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Na}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(\text{HCOO})_3]$ . Na podstawie wyników badań kalorymetrycznych zaobserwowano strukturalne przejście fazowe drugiego rodzaju w temperaturze 167K. W oparciu o wyniki badań dyfrakcji rentgenowskiej wykazano zmianę symetrii z układu trygonalnego  $R\bar{3}$  w 293K do układu trójskośny  $P\bar{1}$  w 110K. Nieuporządkowanie położenia kationów  $\text{DMA}^+$  w szerokim przedziale temperatur prowadzi do silnych własności relaksorowych obserwowanych w pomiarach dielektrycznych, nie obserwowanych dotychczas w ferroelastycznych związkach metalo-organicznych. Na podstawie obserwacji pod mikroskopem polaryzacyjnym jednoznacznie wykazano, że przejście to jest do fazy ferroelastycznej. W oparciu o analizę wyników pomiarów dielektrycznych, strukturalnych oraz rozpraszania Ramana i spektroskopii IR wywnioskowano, że przemiana fazowa w tym związku związana jest przede wszystkim z porządkiem kationów dimetyloamoniowych. Jednakże, w wyniku przemiany zachodzi również deformacja szkieletu metalo-organicznego. W oparciu o wyniki badań spektroskopii dielektrycznej wyznaczono energie aktywacji ruchów związanych z reorientacją  $\text{DMA}^+$ . Dodatkowo w oparciu o wyniki badań magnetycznych stwierdzono, że w temperaturze 8.5K materiał staje się słabym ferromagnetykiem. Brak dowodów na dodatkowe przejścia fazowe pomiędzy ferroelastycznym a ferromagnetycznym przejściem fazowym dowodzi, że materiał ten wykazuje współistnienie właściwości ferroelastycznych i ferromagnetycznych poniżej 8.5 K.

**A2.** Praca A2 jest kontynuacją badań nad związkiem z pracy A1. Przedstawiono w niej dogłębną analizę procesów relaksacyjnych obserwowanych za pomocą techniki szerokopasmowej spektroskopii dielektrycznej. Na podstawie wyników badań zaobserwowano silne dyspersyjne

proces dipolowy, który zanikł zgodnie z modelem Vogela-Fulchera w temperaturze 98K. Stwierdzono, że proces ten jest związany z „zamarzaniem” ruchów reorientacyjnych DMA<sup>+</sup> spójnych z wynikami badań widm IR. Analiza wyników w domenie częstotliwościowej wykazała podwójne prawo potęgowe procesu relaksacyjnego wykazujące tworzenie klastrów oddziaływań w materiale badanym. W oparciu o analizę stochastyczną wywnioskowano, że powstające klastry są podobnych rozmiarów mikroskopowych. Dodatkowo, zaobserwowano dalekozasięgowe oddziaływanie pomiędzy klastrami. Zauważono, że przy ferroelastycznym przejściu fazowym następuje rzadko spotykana w ciele stałym zmiana procesu relaksacyjnego opisanego uogólnioną funkcją Mittag-Lefflera (GML) na Havriliak-Negami (HF).

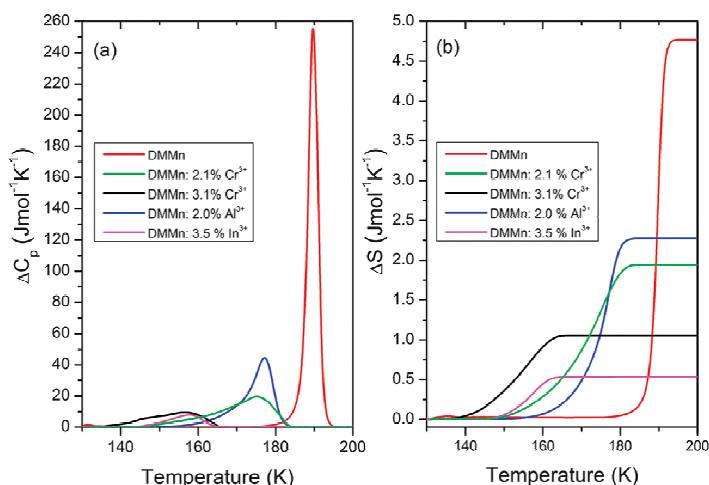


**Rys. 1. Zależność wykładników praw potęgowych z funkcji temperatury obejmujące ferroelastyczne przejście fazowe w  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Na}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(\text{HCOO})_3]$ .**

**A3.** W pracy A3 przedstawiono wyniki syntezy oraz podstawowych badań wielkości fizycznych dla analogu strukturalnego z prac A1 i A2, gdzie w miejsce Fe<sup>III</sup> podstawiono Cr<sup>III</sup>. Pierwszym wnioskiem wynikającym z badań kalorymetrycznych, jest fakt, że podstawienie chromu w miejsce żelaza spowodowało zanik ferroelastycznego przejścia fazowego. Dodatkowo na podstawie wyników pomiarów dielektrycznych, zaobserwowano, że obserwowany proces relaksacji dipolowej związany jest z ruchami reorientacyjnymi kationów DMA<sup>+</sup>, podobnie jak dla analogów z żelazem (A1, A2). Jednakże w przypadku badanego związku „zamarzanie” ruchów reorientacyjnych DMA<sup>+</sup> nie prowadzi do zmiany struktury, co dowiodło, że w mechanizmach ferroicznych przemian fazowych związków mrówczanowych istotne znaczenie ma szkielet metalo-organiczny, a dokładniej jego elastyczność, oraz siła oddziaływań międzymolekularnych, przede wszystkim siła wiązań wodorowych. Ten wynik okazał się ważnym, gdyż do tej pory we wszystkich publikacjach porządkowanie wbudowanego kationu podawano jako jedyny mechanizm obserwowanych przemian fazowych. Dodatkowo wyniki badań fotoluminescencji wykazały, że w niskich temperaturach materiał ten wykazuje wydajną fotoluminescencję związaną z obecnością jonów chromu.

**A4.** Praca A4 jest rozszerzeniem badań, wynikających z wniosków z pracy A3, gdzie podstawienie chromu spowodowało zanik przejścia fazowego. W pracy A4 przedstawiono opis syntezy, wyniki badań strukturalnych oraz właściwości fizycznych ferroelektrycznego związku metalo-organicznych o strukturze perowskitu  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Mn}(\text{HCOO})_3]$  domieszkowanego różnymi

jonami trójwartościowymi  $M = Cr, Al, In, Eu$  oraz  $Er$ . Zaobserwowano, iż niewielkie domieszkowanie  $[(CH_3)_2NH_2][Mn_{1-x}Cr_x(HCOO)_3]$  ( $x=2.1$ ) powoduje znaczne obniżenie ferroelektrycznej temperatury przemiany fazowej. Podczas zwiększania ilości domieszki temperatura przemiany znacząco maleje, a charakter przemiany ulega zmianie z pierwszego rodzaju dla próbki niedomieszkowanej na silnie rozmytą przemianę fazową dla próbki z domieszką chromu  $x=3.1$ . Takie zachowanie jest podobne do tych obserwowanych z nieorganicznych ferroelektrykach o strukturze perowskitu. Wykazano również, że nieznaczne podstawienie innym kationem trójwartościowym, np.  $Al^{3+}$  czy  $In^{3+}$ , także wpływa na obniżenie temperatury ferroelektrycznej przemiany fazowej. Przesunięcia temperatury przemiany zależą nie tyle od rodzaju domieszki, lecz bardziej od zmiany ilości domieszki (Rys. 2). Już niewielka ilość domieszki powoduje zaburzenie oddziaływań daleko zasięgowych, będących odpowiedzialnych za porządek ferroelektryczny w badanych strukturach. Zmiana siły oddziaływań widoczna jest również na widmach dielektrycznych, w których dla próbek domieszkowanych pojawia się dodatkowy proces relaksacyjny oraz zmienia się wartość wykładników w prawach potęgowych opisujących przemianę fazową. Dodatkowo wykazano, że próbki domieszkowane chromem oraz europem wykazują wydajną luminescencję. Wyniki tej pracy są bardzo ważne ponieważ pokazują, że można w łatwy sposób modyfikować przedział temperaturowy fazy ferroelektrycznej poprzez niewielkie domieszkowanie.

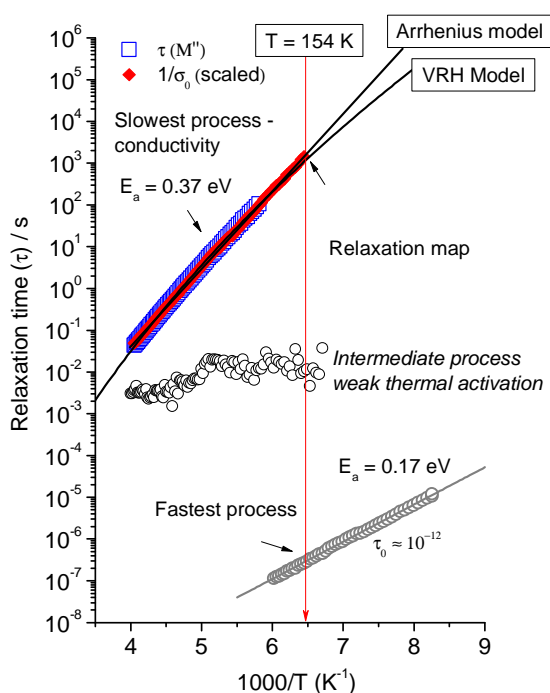


**Rys. 2. a) Anomalne ciepło właściwe oraz b) zmiana entropii w funkcji temperatury dla próbek domieszkowanych różnymi atomami trójwartościowymi.**

**A5.** W pracy A5 kontynuowano badania nad mieszanymi związkami metalo-organicznymi z wbudowanymi po raz pierwszy kationami etyloamoniowymi  $C_2H_5NH_3^+$  oraz dietyloamoniowymi  $(C_2H_5)_2NH_2^+$ . Przedstawiono opis syntezy oraz wyniki badań strukturalnych nowych związków z równą zawartością żelaza  $Fe^{II}$  oraz  $Fe^{III}$  oraz ich podstawowych właściwości fizycznych. Na podstawie wyników pomiarów kalorymetrycznych wykazano, że w kryształach  $[(C_2H_5)_2NH_2][Fe^{III}Fe^{II}(HCOO)_6]$  następuje strukturalne antyferroelektryczne przejście fazowe drugiego rodzaju w temperaturze 240K. Na podstawie wyników badań strukturalnych określono zmianę symetrii przy przejściu fazowym z układu trygonalnego do trójskośnego. Zaobserwowano anomalie zależności przenikalności dielektrycznej w funkcji temperatury dla szerokiego przedziału częstotliwości z niewielką dyspersją. Dodatkowo wykazano porządkowanie magnetyczne w temperaturze 39K. Co ciekawe, związek ten jest rzadkim przykładem związku, wykazującego silną

ujemną magnetyzację. Potencjalnie materiał ten jest kolejnym materiałem metalo-organicznym o własnościach multiferroicznych.

**A6.** W pracy A6 dokonano pełnej analizy procesów relaksacyjnych występujących w pomiarach dielektrycznych dla ferroicznych monokryształów  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Fe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{HCOO})_6]$  oraz wyjaśniono ich pochodzenie w oparciu o dane strukturalne. Potwierdzono istnienie przejścia fazowego w temperaturze 154K z fazy antyferroelektrycznej (niskotemperaturowej) do paraelektrycznej (wysokotemperaturowej). Zaobserwowano pojawienie się trzech procesów relaksacyjnych. Najszybszy proces relaksacyjny o charakterze dipolowych i energii aktywacji 0.17eV związany jest z porządkowaniem ruchów reorientacyjnych kationu  $\text{DMA}^+$ . Stabilność parametrów tego procesu w szerokim przedziale temperatur, obejmującym temperaturę przemiany fazowej świadczy o tym, iż w wyniku przemiany fazowej zachodzi bardzo mała zmiana siły oddziaływań pomiędzy  $\text{DMA}^+$  a szkieletem żelazo-mrówczanowym. Relaksacyjny proces pośredni, który prawie nie zależy od temperatury nie został zidentyfikowany, ze względu na zbyt słaby sygnał w wynikach pomiarów spektroskopii dielektrycznej. Najwolniejszy proces z energią aktywacji 0.37eV związany z przewodnictwem ma charakter niewykładniczy i został przypisany jako proces hoppingowy związany z małymi polaronami.



**Rys. 3.** Mapa relaksacyjna procesów obserwowanych w pomiarach dielektrycznych dla  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Fe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{HCOO})_6]$ .

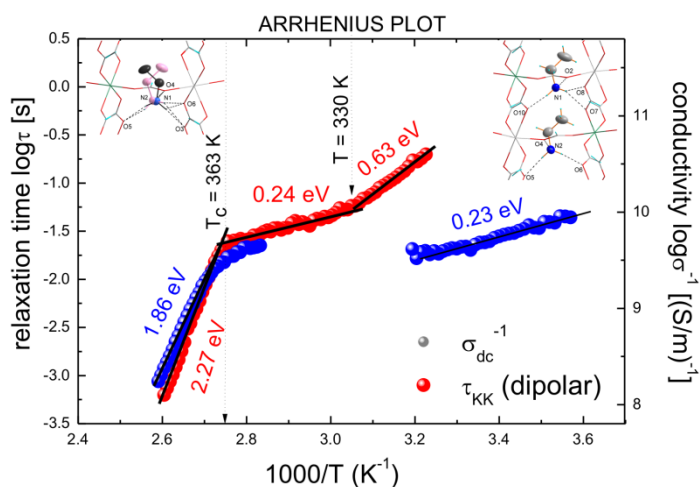
**A7.** W pracy A7 dokonano charakteryzacji dwóch analogów strukturalnych związków mrówczanowych z wbudowanym kationem imidazolu. Na podstawie wyników badań kalorymetrycznych zaobserwowano strukturalne przejście fazowe drugiego rodzaju w temperaturze 451K. Na podstawie wyników badań strukturalnych określono antyferroelektryczne uporządkowanie fazy w temperaturze pokojowej o symetrii  $\text{P2}_1/\text{n}$ . Powyżej temperatury przemiany fazowej porządek antyferroelektryczny zanika, symetria zmienia się, ale układ pozostaje dalej



jednoskośny. Na podstawie wyników pomiarów dielektrycznych zaobserwowano dominujący proces relaksacyjny związany z przewodnictwem, często spotykanym w literaturze dla związków z imidazolem, w szczególności w wyższych temperaturach. Mechanizmy tego przewodnictwa wymagają jednak rozszerzenia badań. Zaobserwowano, że zmiana symetrii układu wpłynęła na wartość energii aktywacji procesów przewodnictwa, co związane jest ze zmianą długości wiązań wodorowych wiążących molekułę imidazolu ze szkieletem metalo-organicznym, a tym samym zmianę siły tych wiązań. Wynik ten zapoczątkował nowy pomysł na badania, mianowicie jaki jest wpływ siły wiązań wodorowych na obserwowane w strukturach związków metalo-organicznym procesy przewodnictwa stałoprądowego.

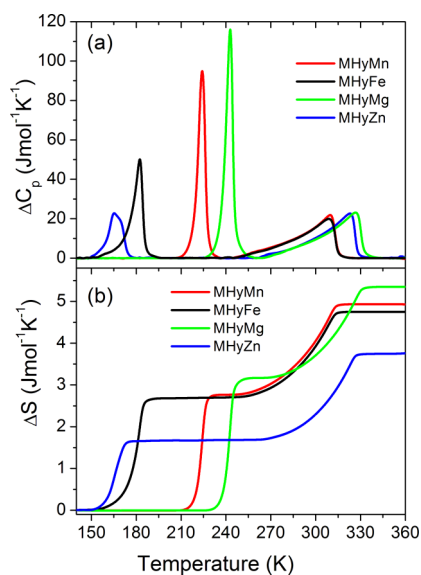
**A8.** Wyniki badań eksperymentalnych oraz obliczeń teoretycznych potwierdzające właściwości ferroelektryczne nowego mieszanego związku metalo-organicznego  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3][\text{Na}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(\text{HCOO})_3]$  powyżej temperatury pokojowej przedstawiono w pracy A8. Na podstawie wyników badań kalorymetrycznych określono temperaturę przemiany fazowej drugiego rodzaju w 360K z fazy wysokotemperaturowej o symetrii  $P2_1/n$  do fazy niskotemperaturowej o symetrii  $Pn$ . Powyżej temperatury przemiany fazowej dynamiczne nieuporządkowanie kationów etyloamoniowych  $\text{EtA}^+$  nie powoduje znaczącej dyspersji w widmach dielektrycznych. Zależność przenikalności dielektrycznej w funkcji temperatury wykazuje silne zmiany w okolicy temperatury przemiany fazowej, co jest charakterystyczne dla materiałów ferroelektrycznych. Korzystając z prawa Curie-Weissa wyznaczono stałe Curie w obu fazach. Wyniki obliczeń z zasad pierwszych opartych na funkcjonale gęstości potwierdziły jednoznacznie, że faza niskotemperaturowa jest ferroelektryczna. Na podstawie zarówno wyników badań strukturalnych jak i obliczeń teoretycznych pokazano, że polaryzacja spontaniczna w fazie ferroelektrycznej wynika z porządkowania kationów  $\text{EtA}^+$ . Jednakże zauważono, że przejściu fazowemu towarzyszy także deformacja szkieletu metalo-organicznego, co prowadzi do wniosku, że porządkowanie  $\text{EtA}^+$  jest wynikiem zmiany siły oddziaływań międzycząsteczkowych w całej komórce elementarnej.

**A9.** Ta publikacja jest kontynuacją badań nad ferroelektrycznym związkiem  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3][\text{Na}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(\text{HCOO})_3]$ . Przeprowadzono w niej szczegółową analizę procesów relaksacyjnych obserwowanych w wynikach pomiarów szerokopasmowej spektroskopii dielektrycznej i wyjaśniono obserwowane procesy w oparciu o dane strukturalne. Zaobserwowano, że porządkowanie kationów  $\text{EtA}^+$  z temperaturą następuje dwustopniowo. Przy przejściu z fazy paraelektrycznej do ferroelektrycznej ( $T_c = 363\text{K}$ ) następuje częściowe uporządkowanie z dużą zmianą energii aktywacji o ok.  $2\text{eV}$ . Przy dalszym chłodzeniu w temperaturze  $330\text{K}$  następuje dalsze uporządkowanie i finalnie w fazie niskotemperaturowej energia aktywacji wynosi  $0.63\text{eV}$ . Wykazano, że długość wiązań wodorowych, a także najprawdopodobniej ich siła, decydują o daleko zasięgowym porządkowaniu ferroelektrycznym w badanym związku. Dodatkowo, po raz pierwszy w strukturach związków metalo-organicznym z ligandem mrówczanowym zaobserwowano rzadki proces bezwodnego przewodnictwa w fazie ferroelektrycznej z energią aktywacji  $0.23\text{eV}$ . Zaproponowano mechanizm Grotthussa do wyjaśnienia obserwowanego przewodnictwa protonowego.



Rys. 4. Zależność czasów relaksacji od odwrotności temperatury procesów relaksacyjnych dla  $[\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_3][\text{Na}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(\text{HCOO})_3]$

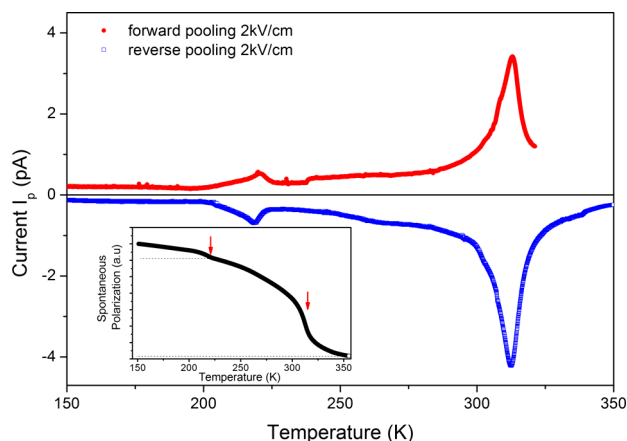
**A10.** W pracy A10 przedstawiono wyniki syntez nowej grupy związków metalo-organicznych z ligandem mrówczanowym z wbudowanym po raz pierwszy jonem metylohydrazyniowym  $[\text{CH}_3\text{NH}_2\text{NH}_2][\text{M}(\text{HCOO})_3]$  gdzie  $\text{M} = \text{Mn}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Zn}$ . Na podstawie pomiarów kalorymetrycznych zaobserwowano, że niezależnie od rodzaju podstawionego metalu, każdy kryształ wykazuje dwie przemiany fazowe.



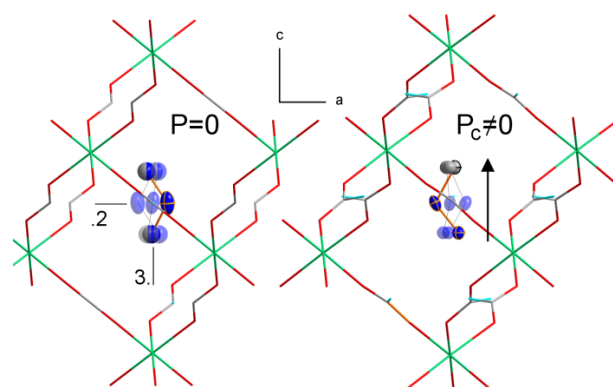
Rys. 5. Zmiany ciepła właściwego oraz entropii podczas przemian fazowych

Wysokotemperaturowe przemiany fazowe (drugiego rodzaju) występują w przedziale temperatur 310-327K z niepolarniej fazy  $R\bar{3}c$  do polarnej  $R3c$  i są związane z częściowym porządkiem kationów metylohydrazyniowych. Na podstawie wyników pomiarów piroelektrycznych jednoznacznie wykazano, że przejście to zachodzi do fazy ferroelektrycznej. Makroskopowa polaryzacja spontaniczna w temperaturze pokojowej jest pożądaną własnością możliwą do wykorzystania przy budowie nieulotnych pamięci ferroelektrycznych. Niskotemperaturowe przejścia fazowe pierwszego rodzaju są związane z dalszym porządkiem kationów metylohydrazyniowych oraz deformacją szkieletu metalo-organicznego. Podobnie jak w przypadku przejść wysokotemperaturowych wykazano, że jest to przejście do fazy

ferroelektrycznej o innej symetrii. W oparciu o analizę wyników pomiarów dielektrycznych zaobserwowano silny relaksorowy typ przemiany wysoko temperaturowej co mogłoby wskazywać, że materiał ten to ferroelektryk niewłaściwy. Dodatkowo na podstawie pomiarów magnetycznych próbek z Mn oraz Fe wykazano uporządkowanie magnetyczne w niskich temperaturach. Współistnienie uporządkowania elektrycznego i magnetycznego stwarza możliwość sprzężenia tych dwóch własności i w konsekwencji uzyskania nowej generacji multiferroicznych pamięci czterobitowych.



Rys. 7. Zależność piroprądu od temperatury dla pól polaryzujących  $\pm 2\text{kV/cm}$  podczas grzania z szybkością  $1\text{K/min}$



Rys. 6. Nieuporządkowanie jonu metylohydrazyny w fazie wysokotemperaturowej oraz polarne uporządkowanie w kierunku krystalograficznej osi c w temperaturze  $230\text{K}$

**A11.** W pracy A11 przedstawiono wyniki syntezy nowego związku metalo-organicznego z ligandem mrówczanowym z wbudowanym po raz pierwszy jonem acetamidynowym  $[\text{CH}_3\text{C}(\text{NH}_2)_2][\text{Mn}(\text{HCOO})_3]$ . Przeprowadzono szereg badań w celu scharakteryzowania otrzymanego związku (strukturalne, kalorymetryczne, dielektryczne, spektroskopii Ramana i IR oraz magnetyczne). Wykazano, że w temperaturze pokojowej związek ten posiada perowskitową strukturę ortorombową o symetrii  $\text{Imma}$ . Na podstawie pomiarów kalorymetrycznych wykazano, że w temperaturze  $304\text{K}$  następuje przejście fazowe drugiego rodzaju typu porządek-nieporządek do antyferroelektrycznej fazy jednoskośnej o symetrii  $\text{P2}_1/\text{n}$ . Na podstawie wyników badań dielektrycznych w połączeniu z danymi strukturalnymi oraz widm Ramana i IR wykazano, że porządkowanie ruchów kationu acetamidyny jest odpowiedzialne za wysokotemperaturowe przejście fazowe. Ważnym wnioskiem wynikającym z pomiarów dielektrycznych jest fakt, że porządkowanie wbudowanych kationów zależy nie od wielkości jonu, ale od liczby i siły wiązań wodorowych. Ze względu na brak dużych monokryształów nie udało się jednoznacznie określić charakteru tej przemiany. Jednakże brak sygnału piroprądu wskazał, że nie jest to materiał ferroelektryczny. Dodatkowo wykazano, że materiał ten poniżej temperatury  $9\text{K}$  wykazuje słabe własności ferromagnetyczne.

#### 4.2.3. Ferroelektryczne przejścia fazowe w związkach metalo-organicznych

Najciekawszą ze względów aplikacyjnych pożądaną właściwością fizyczną badanych struktur metalo-organicznych jest ferroelektryczność [<sup>13</sup>, <sup>14</sup>, <sup>15</sup>]. Jak wiadomo ferroelektryki są podgrupą materiałów piroelektrycznych, dla których polaryzacja elektryczna  $P$  może być zmieniona poprzez przyłożenie zewnętrznego pola elektrycznego  $E$ . Stąd, ferroelektryki posiadają trwały moment dipolowy w komórce elementarnej, którego orientacja może zostać zmieniona poprzez przyłożenie zewnętrznego pola elektrycznego, co charakteryzuje się występowaniem pętli histerezy  $P - E$ . W celu określenia ferroelektryczności w nowym związku, istnieje możliwość wykorzystania kilku technik pomiarowych.

Pierwszym sposobem są pomiary strukturalne, które mają za zadanie wykazanie zmiany symetrii oraz niecentrosymetryczności struktury krystalicznej. Określenie symetrii fazy wysoko- oraz niskotemperaturowej pozwala na określenie potencjalnych właściwości ferroelektrycznych zgodnie z klasyfikacją Aizu [<sup>16</sup>]. Wyznaczenie trwałego momentu dipolowego w dwóch możliwych stanach w komórce elementarnej jest dowodem na występowanie ferroelektryczności w badanych związkach metalo-organicznych (A8). Jednakże, ze względu na złożoność chemiczną i geometryczną struktur związków metalo-organicznych, dokładne określenie symetrii w poszczególnych fazach jest kłopotliwe, a czasami wręcz niemożliwe (A10).

Bezpośredni dowód można uzyskać mierząc pętlę histerezy  $P - E$  przy użyciu np. mostka Sawyera-Towera. Jednakże do tych pomiarów próbka musi być zorientowana wzdłuż osi polarnej, co w przypadku wielu związków metalo-organicznych jest niemożliwe, ponieważ monokryształy są zbyt małe. Dodatkowo, należy pamiętać, że technika ta wymaga umiejętności interpretacji otrzymanych wyników, gdyż niejednokrotnie, ze względu na tzw. efekt banana, ferroelektryczność została źle zinterpretowana [<sup>17</sup>]. Alternatywą, do bezpośredniego udowodnienia ferroelektryczności są pomiary prądu piroelektrycznego w funkcji temperatury, gdyż jest to bezpośredni pomiar pochodnej polaryzacji po temperaturze. Dla grupy związków z kationem metylohydrazynowym, dla których nie udało się uzyskać pętli histerezy, metoda ta okazała się bardzo przydatna w celu określenia ferroelektryczności (A10). Metoda ta dla próbek polikrystalicznych, ze względu na uśrednienie składowej wektora polaryzacji, nie pozwala na precyzyjne określenie wartości polaryzacji spontanicznej, jednakże daje obraz zmian tej wielkości w funkcji temperatury. Dla niewielkich wartości polaryzacji spontanicznej, spolaryzowanie próbki polikrystalicznej do pomiarów piroelektrycznych wymaga użycia bardzo dużych wartości pól elektrycznych, co dla próbek organicznych może okazać się destrukcyjne. W przypadku związku z kationem etyloamoniowym, którego temperatura częściowego rozkładu jest w ok. 100°C, pomiary zarówno pętli histerezy jak i piroprądu okazały się nieskuteczne w celu udowodnienia ferroelektryczności (A8).

---

<sup>13</sup> W. Zhang, R.-G. Xiong, Chem. Rev., 2012, 112, 1163-1195.

<sup>14</sup> K. Asadi, M. A. van der Venn, Eur. J. Inorg. Chem., 2016, 4332-4344.

<sup>15</sup> P. Jain, A. Stroppa, D. Nabok, A. Marino, A. Rubano, D. Paparo, M. Matsubara, H. Nakotte, M. Fiebig, S. Picozzi, E. Sang Choi, A. K. Cheetham, C. Draxl, N. S. Dalal, V. S. Zapf, Quantum Materials, 2016, 1, 16012.

<sup>16</sup> K. Aizu, Phys. Rev. B, 1970, 2, 754.

<sup>17</sup> J. F. Scott, J. Phys. Condens. Matter. 2008, 20, 021001.

Rozwinięciem technik elektrycznych służących do identyfikacji ferroelektryczności jest szerokopasmowa spektroskopia dielektryczna. Pomiary zespolonej przenikalności dielektrycznej w funkcji zarówno temperatury jak i częstotliwości to często stosowana metoda identyfikacji przejść fazowych. Przy przejściu fazowym, w którym polaryzacja elektryczna ulega zmianie, wartości przenikalności dielektrycznej z definicji również muszą zmieniać się. W przypadku ferroelektryków przy przejściu z fazy para- do ferro- musi być spełnione charakterystyczne prawo Curie-Weissa. Dodatkowo z teorii fenomenologicznej wiadomo, że stosunek stałych Curie w fazie ferro- i para powinien wynosić 2. Wykorzystując ten fakt, można dla próbek polikrystalicznych dokonać analizy rodzaju przemiany fazowej (A8). W przypadku związku z kationem etyloamoniowym dodatkowym narzędziem poświadczającym ferroelektryczność były wyniki obliczeń z zasad pierwszych, na podstawie których określono wartość polaryzacji spontanicznej (A8).

Ogromnie przydatnym narzędziem w identyfikacji mechanizmów ferroelektrycznych przemian fazowych są pomiary odpowiedzi dielektrycznej w funkcji częstotliwości. Technika ta pozwala na poznanie procesów relaksacyjnych i powiązanie ich ze zmianami w strukturze badanego związku, a w konsekwencji z określeniem czynników prowadzących do utraty właściwości ferroelektrycznych. W przypadku związku z kationem etyloamoniowym  $\text{EtA}^+$  (A9, A8) zaobserwowano porządkowanie grup  $\text{EtA}^+$  przy przejściu fazowym, które częściowo jest odpowiedzialne za porządek ferroelektryczny w niskich temperaturach. Ponadto w wysokich temperaturach pojawił się silny proces przewodnictwa jonowego (A9).

Dla związków metalo-organicznych dla których wykazano właściwości ferroelektryczne, ciekawym zagadnieniem jest wpływ domieszkowania jonami metalu na stabilność fazy ferroelektrycznej. W związku o strukturze perowskitu  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Mn}(\text{HCOO})_3]$  wykazano stabilną fazę ferroelektryczną poniżej 187K [<sup>18</sup>, <sup>19</sup>]. W przypadku badania temperaturowej stabilności faz niezawodną techniką jest różnicowa kalorymetria skaningowa DSC. Pozwala ona na określenie temperatur przemian fazowych oraz oszacowanie zmian entropii przy przejściu fazowym. Podstawienie manganu różnymi jonami trójwartościowymi Cr, Al, In, Eu oraz Er w badanym związku powoduje znaczące zmiany temperaturowego przedziału fazy ferroelektrycznej (A4). Zarówno wielkość podstawianego atomu jak i ilość domieszki powodują obniżenie temperatury ferroelektrycznej przemiany fazowej. Ponadto, przemiana staje się bardziej rozmyta a zmiany entropii mniejsze. Powodowane jest to zaburzeniem oddziaływań dalekozasięgowych stanowiących o stabilnej fazie ferroelektrycznej. Otwiera to możliwości sterowania temperaturowym przedziałem występowania fazy ferroelektrycznej na etapie syntezy nowych materiałów metalo-organicznych.

---

<sup>18</sup> G. Rogez, N. Viart and M. Drillon, *Angew. Chem., Int. Ed.*, 2010, 49, 1921–1923.

<sup>19</sup> M. Sánchez-Andújar, L. C. Gómez-Aguirre, B. Pato Doldán, S. Yáñez-Vilar, R. Artiaga, A. L. Llamas-Saiz, R. S. Manna, F. Schnelle, M. Lang, F. Ritter, A. A. Haghighirad and M. A. Señarís-Rodríguez, *Cryst. Eng. Comm.*, 2014, 16, 3558–3566.

#### 4.2.4. Ferroelastyczne przejścia fazowe w związkach metalo-organicznych

Najbardziej badaną ferroiczną właściwością związków metalo-organicznych jest ferroelastyczność [20]. Poznanie tych własności wydaje się mieć coraz większe znaczenie, gdyż wykazano, że sprzężenie magnetoelastyczne wymaga przełączania domen ferroelastycznych [21]. Przeprowadzone badania nad elastycznymi właściwościami związków metalo-organicznych typu MOF sugerują, iż ich duża elastyczność w odpowiedzi na lokalne zmiany strukturalne mogłaby być korzystna przy tworzeniu nowych ferroelastyków wykazujących duże deformacje ścinające [22, 23]. Wyniki badań związków metalo-organicznych typu MOF o strukturze perowskitu, dostarczyły dowodów na tę możliwość, chociaż badania skupiły się tylko na słabym sprzężeniu magneto-elastycznym [24].

Sterowanie deformacją próbki poprzez zmianę kierunku przyłożonego naprężenia, jest trudne do zrealizowania, stąd bezpośrednie pomiary ferroelastycznej pętli histerezy są bardzo rzadkie [25, 26]. Istnieją jednak inne metody eksperymentalne jak badania strukturalne, obserwacja elastycznej struktury domenowej czy pomiary spektroskopii Brillouina, na podstawie których można udowodnić ferroelastyczność w zadanych warunkach termodynamicznych. Na podstawie wyników pomiarów strukturalnych, obserwacji struktury domenowej pokazano po raz pierwszy ferroelastyczność w mieszanym związku metalo-organicznym  $[(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2][\text{Na}_{0.5}\text{Fe}_{0.5}(\text{HCOO})_3]$  (A1). Dokonując szeregu niezależnych pomiarów w tym DSC, spektroskopii Ramana i IR, dielektrycznych scharakteryzowano przejście fazowe w temperaturze 167K jako typu porządek-nieporządek, związane z porządkowaniem kationów  $(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+$  oraz częściowym zniekształceniem szkieletu struktury (A1). Dokładniejsza analiza danych z pomiarów dielektrycznych dostarczyła informacji o zmianie typu relaksacji obserwowanego dipolowego procesu relaksacyjnego towarzysząca ferroelastycznej przemianie fazowej (A2). Obserwowane dwupotęnowe procesy relaksacyjne dowodzą istnienia obszarów (klastrow oraz superklastrow) o jednakowych średnich czasach relaksacji. W fazie ferroelastycznej dominuje proces, w których niewielkie obszary mają podobny średni czas relaksacji, co jest zgodne z występowaniem ferroelastycznej struktury domenowej. W fazie paraelastycznej, gdzie brak jest struktury domenowej obszary te zwiększają się stąd typ relaksacji zmienia się na Havrilaka-Negami (A2). W analogu strukturalnym, gdzie zastąpiono atom żelaza chromem, ferroelastyczność zanika (A3), pomimo wielu podobieństw w wynikach badań eksperymentalnych. Stąd wniosek, że mechanizm ferroelastycznej przemiany fazowej w związkach mieszanym jest bardziej złożony niż dotychczas przypuszczano.

---

<sup>20</sup> W. Li, Z. Zhang, E. G. Bithell, A. S. Batsanov, P. T. Barton, P. J. Saines, P. Jain, C. J. Howard, M. A. Carpenter, A. K. Cheetham, *Acta Materialia*, 2013, 61, 4928-4938.

<sup>21</sup> T. Zhao, A. Scholl, F. Zavaliche, K. Lee, M. Barry, A. Doran, M. P. Cruz, Y. H. Chu, C. Ederer, N. A. Spaldin, R. R. Das, D. M. Kim, S. H. Baek, C. B. Eom, and R. Ramesh, *Nat. Mater.*, 2006, 5, 823-829.

<sup>22</sup> J. C. Tan, A.K. Cheetham, *Chem. Soc. Rev.*, 2011, 40, 1059-1080.

<sup>23</sup> J. C. Tan, B. Civaleri, C. C. Lin, L. Valenzano, R. Galvelis, P. F. Chen, T. D. Bennett, C. Mellot-Draznieks, C. M. Zicovich-Wilson, A. K. Cheetham, *Phys Rev Lett.*, 2012, 108, 095502.

<sup>24</sup> R. I. Thomson, P. Jain, A. K. Cheetham, J. M. Rawson, M. A. Carpenter, *Phys. Rev. B*, 2012, 86, 214304.

<sup>25</sup> E. K. Salje, *Phase Transitions in Ferroelastic and Co-elastic Crystals*, Cambridge University Press 1993.

<sup>26</sup> E. K. Salje, *Annual Review of Materials Research*, 2012, 42, 265-283.

#### 4.2.5. Antyferroelektryczne przejścia fazowe w związkach metalo-organicznych

Uporządkowanie antyferroelektryczne, które w odpowiedzi makroskopowej bez zewnętrznego pola elektrycznego daje wartość polaryzacji równą zero, najlepiej udowodnić wykonując pomiary strukturalne lub podwójnej pętli histerezy P-E. Znając zmianę symetrii faz podczas przemiany fazowej, można określić antyferroelektryczny porządek fazy niskotemperaturowej w związkach metalo-organicznych z ligandem mrówczanowym (A5, A7, A11). Wykazano, iż poprzez wbudowanie różnych kationów w strukturę związku metalo-organicznego, można sterować temperaturą antyferroelektrycznej przemiany fazowej.

Dla związku z ligandem mrówczanowym z wbudowanym kationem imidazolu na podstawie badań strukturalnych, kalorymetrycznych, dielektrycznych i widm Ramana i IR wykazano, że w temperaturze 451K następuje przejście fazowe z fazy antyferroelektrycznej do paraelektrycznej (A7). Mechanizm przemiany związany jest z porządkowaniem kationów imidazoliowych, a co się z tym wiąże zmianą siły wiązań wodorowych. Podobne rezultaty można zaobserwować dla związku metalo-organicznego z innym ligandem, gdzie stabilne właściwości antyferroelektryczne występują również powyżej temperatury pokojowej [<sup>27</sup>]. Wbudowując inny kation w szkielet zawierający metale oraz ligand mrówczanowy otrzymano różne temperatury antyferroelektrycznej przemiany fazowej: 304K (dla protonowanej acetamidyny, A11), 240K (dla kationu dietyloamoniowego, A5) oraz 164K (dla kationu dimetyloamoniowego, A6). Na podstawie analizy wyników pomiarów kalorymetrycznych, w tym oszacowania zmian entropii przejść fazowych stwierdzono, że mechanizmy przemian fazowych są bardziej złożone niż klasyczne przejście typu porządek-nieporządek. Dokonując analizy procesów relaksacyjnych obserwowanych w widmach pomiarów dielektrycznych oraz analizując wpływ rodzaju wbudowanego kationu na temperaturę przemiany fazowej oraz czasy i energie aktywacji procesów relaksacyjnych zaobserwowano, iż porządkowanie się wbudowanych kationów silnie zależy od ilości oraz siły wiązań wodorowych pomiędzy tymi kationami a otaczającym je szkieletem (A11).

#### 4.2.6. Podsumowanie

Omówione powyżej osiągnięcia naukowe zatytułowane "*Mechanizmy ferroicznych przemian fazowych związków metalo-organicznych – badania dielektryczne i kalorymetryczne*" opiera się na cyklu 11 publikacji. Wszystkie publikacje dotyczą opisu właściwości fizycznych oraz poznania czynników determinujących występowanie stabilnych ferroicznych faz w związkach metalo-organicznych typu MOF. Kryształy badane w prezentowanej rozprawie należą do grupy materiałów z ligandem mrówczanowym oraz z wbudowanym kationem organicznym z grupy kationów amoniowych. W każdej z wymienionych publikacji dokonano szerokiej charakteryzacji otrzymanych związków wykorzystując różne niezależne techniki pomiarowe w tym pomiary strukturalne, kalorymetryczne, dielektryczne, piroelektryczne, magnetyczne, spektroskopii Ramana i IR. Wyniki pomiarów kalorymetrycznych, dielektrycznych oraz piroelektrycznych stanowiące dorobek

---

<sup>27</sup> S. Horiuchi, F. Kagawa, K. Hatahara, K. Kobayashi, R. Kumai, Y. Murakami, Y. Tokura, Nat. Comm., 2012, 3, 1308.

Habilitanta w każdej z prac A1-A11 wniosły istotny wkład w interpretacji procesów odpowiedzialnych za mechanizmy obserwowanych strukturalnych przemian fazowych.

Na podstawie wyników badań kalorymetrycznych wyznaczono temperatury przemian fazowych oraz określono czy przemiana jest pierwszego czy drugiego rodzaju. Oszacowano wartość zmian entropii przy przejściu fazowym określając w ten sposób czy przemiana jest typu porządek-nieporządek. Na podstawie wyników pomiarów dielektrycznych wyznaczono czasy relaksacji oraz energie aktywacji obserwowanych procesów relaksacyjnych oraz określono ich wpływ na mechanizmy ferroicznych przemian fazowych. Zaobserwowano, że ferroiczne przemiany fazowe badanych kryształów zależą od porządkowania zarówno drgań zbudowanej molekuly z grupy kationów amoniowych oraz samego szkieletu z ligandem mrówczanowych. Stwierdzono, że długość oraz siła wiązań wodorowych, które silnie zależą od temperatury bezpośrednio decydują o postawaniu porządku ferroicznego w badanych kryształach. Dodatkowo zaobserwowano, że zmiana siły oddziaływań poprzez wprowadzenie niewielkiej ilości domieszki w szkielet struktury, powoduje obniżenie temperatury przemiany fazowej. W oparciu o wyniki pomiarów piroelektrycznych wykazano ferroelektryczność przemian fazowych.

## 5. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt I) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych

### 5.1. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC) po uzyskaniu stopnia doktora

Lp.	IF*	Punkty MNiSW**	2017
1.	4.123	40	M. Ptak, A. Gągor, <b>A. Sieradzki</b> , B. Bondzior, P. J. Dereń, A. Ciupa, M. Trzebiatowska, M. Mączka, <i>Effect of K<sup>+</sup> cations on phase transitions, structural, dielectric and luminescent properties of [cat][K<sub>0.5</sub>Cr<sub>0.5</sub>(HCOO)<sub>3</sub>], where cat is protonated dimethylamine or ethylamine</i> , Phys. Chem. Chem. Phys., (2017) 19, 12156-12166. Mój udział 20% (pomiarów oraz analiza wyników kalorymetrycznych oraz dielektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)
			2016
2.	2.265	30	M. Mączka, A. Gągor, K. Hermanowicz, <b>A. Sieradzki</b> , L. Macalik, A. Pikul, <i>Structural, magnetic and phonon properties of Cr (III)-doped perovskite metal formate framework [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>][Mn(HCOO)<sub>3</sub>]</i> , Journal of Solid State Chemistry, (2016) 237, 150-158. Mój udział 15% (pomiarów oraz analiza wyników kalorymetrycznych, dielektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)
3.	4.19	40	M. Mączka, K. Pasińska, M. Ptak, W. Paraguassu, T.A. da Silva, <b>A. Sieradzki</b> , A. Pikul, <i>Effect of solvent, temperature and pressure on the stability of chiral and perovskite metal formate frameworks of [NH<sub>2</sub>NH<sub>3</sub>][M(HCOO)<sub>3</sub>](M= Mn, Fe, Zn)</i> , Phys. Chem. Chem. Phys. (2016) 18, 31653-31663. Mój udział 10% (pomiarów oraz analiza wyników kalorymetrycznych, przygotowanie części manuskryptu)



4.	4.19	40	<p>M. Ptak, M. Mączka, A. Gągor, <b>A. Sieradzki</b>, B. Bondzior, P. Dereń, S. Pawlus, Phase transitions and chromium (iii) luminescence in perovskite-type <math>[C_2H_5NH_3][Na_{0.5}Cr_xAl_{0.5-x}(HCOO)_3]</math> (<math>x= 0, 0.025, 0.5</math>), correlated with structural, dielectric and phonon properties, <i>Phys. Chem. Chem. Phys.</i>, (2016) 18, 29629-29640.</p> <p>Mój udział 20% (pomiarzy oraz analiza wyników kalorymetrycznych i dielektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)</p>
5.	4.19	40	<p>M. Mączka, M. Ptak, S. Pawlus, W. Paraguassu, <b>A. Sieradzki</b>, S. Balciunas, M. Simenas, J. Banys, <i>Temperature- and pressure-dependent studies of niccolite-type formate frameworks of <math>[NH_3(CH_2)_4NH_3][M_2(HCOO)_6]</math> (<math>M= Zn, Co, Fe</math>)</i>, <i>Phys. Chem. Chem. Phys.</i> (2016) 18, 27613-27622.</p> <p>Mój udział 20% (pomiarzy oraz analiza wyników kalorymetrycznych i dielektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)</p>
6.	5.066	40	<p>M. Mączka, A. Gągor, N.L.M. Costa, W. Paraguassu, <b>A. Sieradzki</b>, A. Pikul, <i>Temperature- and pressure-induced phase transitions in the niccolite-type formate framework of <math>[H_3N(CH_3)_4NH_3][Mn_2(HCOO)_6]</math></i>, <i>Journal of Materials Chemistry C</i>, (2016) 4, 3185-3194.</p> <p>Mój udział 20% (pomiarzy oraz analiza wyników kalorymetrycznych, dielektrycznych i piroelektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)</p>
			<b>2015</b>
7.	4.177	40	<p>A. Ciupa, M. Mączka, A. Gągor, <b>A. Sieradzki</b>, J. Trzmiel, A. Pikul and M. Ptak, Temperature-dependent studies of <math>[(CH_3)_2NH_2][Fe^{III}M^{II}(HCOO)_6]</math> frameworks (<math>M^{II} = Fe</math> and <math>Mg</math>): structural, magnetic, dielectric and phonon properties, <i>Dalton Trans.</i>, (2015), 44, 8846.</p> <p>Mój udział 15% (pomiarzy oraz analiza wyników kalorymetrycznych i dielektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)</p>
8.	2.011	25	<p>A. Ciupa, M. Mączka, A. Gągor, A. Pikul, E. Kucharska, J. Hanuza, <b>A. Sieradzki</b>, <i>Synthesis, Crystal Structure, Magnetic and Vibrational Properties of Formamidine-templated Co and Fe Formates</i>, <i>Polyhedron</i> 85 (2015) 137–143.</p> <p>Mój udział 10% (pomiarzy oraz analiza wyników kalorymetrycznych)</p>
			<b>2014</b>
9.	2.605	40	<p><b>A. Sieradzki</b>, D. Szewczyk, A. Gągor, R. Poprawski, A. Jeżowski, <i>Thermal properties of Er: <math>Li_2TiGeO_5</math> ferroelastic ceramics</i>, <i>Ceramics International</i> 40 (2014) 8027-8031.</p> <p>Mój udział 60% (synteza ceramik, pomiarzy oraz analiza pomiarów kalorymetrycznych, przygotowanie manuskryptu)</p>
10.	2.201	30	<p>J. Trzmiel, <b>A. Sieradzki</b>, A. Jurlewicz, Z.T. Kuźnicki, <i>Dielectric spectroscopy investigations of nanostructured silicon</i>, <i>Current Applied Physics</i> 14 (2014) 991-997.</p> <p>Mój udział 40% (pomiarzy dielektryczne, przygotowanie części manuskryptu)</p>
11.	2.238	30	<p><b>A. Sieradzki</b>, M. Basta, P. Scharoch, J.-Y. Bigot, <i>Ultrafast Optical Properties of Dense Electron Gas in Silicon Nanostructures</i>, <i>Plasmonics</i> 9 (2014) 545-551.</p> <p>Mój udział 50% (pomiarzy ultraszybkiej spektroskopii optycznej, przygotowanie części manuskryptu)</p>
12.	4.762	40	<p>M. Mączka, A. Ciupa, A. Gągor, <b>A. Sieradzki</b>, A. Pikul, B. Macalik, M. Drozd, <i>Perovskite Metal Formate Framework of <math>[NH^2CH^+-NH_2]Mn(HCOO)_3</math>: Phase</i></p>

			<p><i>Transition, Magnetic, Dielectric, and Phonon Properties</i>, Inorganic chemistry 53 (2014) 5260–5268.  Mój udział 15% (pomiar i analiza wyników kalorymetrycznych i dielektrycznych, przygotowanie części manuskryptu)</p>
13.	2.06	25	<p><b>A. Sieradzki</b>, A. Jeżowski, R. Poprawski, <i>The influence of ferroelastic domain formation on thermal conductivity in <math>Li_2TiGeO_5</math> ceramics</i>, J. Therm. Anal. Calorim. 115 (2014) 467-470.  Mój udział 70% (synteza ceramiki, pomiary oraz analiza pomiarów współczynnika przewodności cieplnej, przygotowanie manuskryptu)</p>
<b>2013</b>			
14.	2.738	30	<p><b>A. Sieradzki</b>, Z.T. Kuznicki, <i>Effects of carrier confinement and intervalley scattering on a photo-excited electron plasma in silicon</i>, Plasmonics 8 (2013) 1643–1646.  Mój udział 85% (pomiar i analiza ultraszybkiej spektroskopii optycznej, przygotowanie manuskryptu)</p>
15.	0.94	25	<p>T. Marciniszyn, <b>A. Sieradzki</b>, <i>Anisotropy properties of the quartzite from Jęglowa, Poland</i>, Acta Geologica Polonica 63 (2013) 265-269  Mój udział 45% (analiza wyników pomiarów dielektrycznych, przygotowanie manuskryptu)</p>
16.	1.044	20	<p><b>A. Sieradzki</b>, D. Szewczyk, M. Nankiewicz, A. Jeżowski, R. Poprawski, A. Ciżman, <i>Evidence of the ferroelastic phase transition in <math>Na_2TiGeO_5</math> ceramics</i>, Phase Transitions, 86 (2013) 301-305.  Mój udział 55% (synteza ceramiki, analiza wyników pomiarów, przygotowanie manuskryptu)</p>
<b>2012</b>			
17.	0.415	15	<p><b>A. Sieradzki</b>, A. Ciżman, A. Strzęp, R. Poprawski, W. Ryba-Rymanowski, <i>Synthesis and Optical Properties of Pure and Doped <math>M_2TiGeO_5</math> (<math>M = Li</math> and <math>Na</math>) Ceramics</i>, Ferroelectrics 429 (2012) 56 -61.  Mój udział 50% (synteza ceramiki, analiza wyników pomiarów, przygotowanie manuskryptu)</p>
18.	0.258	15	<p>A. Ciżman, J. Komar, T. Marciniszyn, R. Poprawski, E. Rysiakiewicz-Pasek, <b>A. Sieradzki</b>, <i>Size effect and dielectric properties of <math>NH_4H_2PO_4</math> – porous glass composites</i>, Materials Science-Poland, 30 (2012) 143-150.  Mój udział 10% (udział pomiarach dielektrycznych, analiza wyników pomiarów)</p>
19.	1.918	30	<p>A. Podhorodecki, N.V. Gaponenko, M. Banski, M.V. Rudenko, L.S. Khoroshko, <b>A. Sieradzki</b>, J. Misiewicz, <i>Green emission from barium–strontium titanate matrix introduced into nano-porous anodic alumina</i>, Optical Materials 34 (2012)1570-1574.  Mój udział 10% (udział pomiarach dielektrycznych, analiza wyników pomiarów)</p>
<b>2011</b>			
20.	-	-	<p>M. Basta, Z. T. Kuznicki, <b>A. Sieradzki</b>, <i>Optical properties of crystalline and amorphous Si:P for device fabrication and structural modeling</i>, SPIE ECO-PHOTONICS 2011: SUSTAINABLE DESIGN, MANUFACTURING, AND ENGINEERING WORKFORCE EDUCATION FOR A GREEN FUTURE Book Series: Proceedings of SPIE Volume: 8065 Article Nr: 80650I</p>

			Mój udział 20% (udział w pomiarach optycznych, analiza wyników pomiarów)
21.	-	-	M. Hosatte, M. Basta, <b>A. Sieradzki</b> , P. Meyrueis, Z. T. Kuznicki, <i>Current collection from different Si devices based on nanoscale Si-layered systems containing a new metamaterial for photovoltaics</i> , SPIE ECO-PHOTONICS 2011: SUSTAINABLE DESIGN, MANUFACTURING, AND ENGINEERING WORKFORCE EDUCATION FOR A GREEN FUTURE Book Series: Proceedings of SPIE Volume: 8065 Article Nr: 806508 Mój udział 15% (udział w pomiarach optycznych, analiza wyników pomiarów)
22.	-	-	<b>A. Sieradzki</b> , A. Ciżman, R. Poprawski, T. Marcinişzyn, E. Rysiakiewicz-Pasek, <i>Electrical conductivity and phase transitions in KDP- and ADP-porous glass nanocomposites</i> , J. of Advanced Dielectrics, 1 (2011) 337-343. Mój udział 40% (pomiarach dielektrycznych, analiza wyników pomiarów, przygotowanie manuskryptu)
<b>2010</b>			
23.	1.006	20	T. Marcinişzyn, R. Poprawski, J. Komar, <b>A. Sieradzki</b> , <i>Phase transition in <math>NH_4H_2PO_4</math>:porous glass composites</i> , Phase Transitions, 83 (2010) 909 - 916. Mój udział 40% (udział w pomiarach dielektrycznych, analiza wyników pomiarów, przygotowanie manuskryptu)
24.	0.511	20	<b>A. Sieradzki</b> , J. Komar, E. Rysiakiewicz-Pasek, A. Ciżman, R. Poprawski, <i>Physical properties of ferroelectric phase transitions in <math>KNO_3</math> embedded into porous Glasses</i> , Ferroelectrics, 402 (2010) 60 – 65. Mój udział 60% (pomiarów kalorymetrycznych, analiza wyników pomiarów, przygotowanie manuskryptu)
25.	1.006	20	M. Basta, <b>A. Sieradzki</b> , <i>First-principles study of the <math>Li_2TiGeO_5</math> ferroelastic phase transition</i> , Phase Transitions, 83, 235-243 (2010). Mój udział 50% (analiza wyników obliczeń, przygotowanie manuskryptu)
<b>2008</b>			
26.	1.201	15	<b>A. Sieradzki</b> , A. Ciżman, J. Komar, <i>Pressure dependence of dielectric properties of the <math>LiNaGe_4O_9</math> ferroelectric</i> , Phase Transitions 81, 999 (2008). Mój udział 90% (pomiarów dielektrycznych pod ciśnieniem, analiza wyników pomiarów, przygotowanie manuskryptu)
27.	1.201	15	<b>A. Sieradzki</b> , <i>Temperature evolution of the ferroelastic order parameter of <math>Li_2TiGeO_5</math></i> , Phase Transitions 81, 413 (2008) Mój udział 100%
28.	0.562	15	A. Ciżman, R. Poprawski, <b>A. Sieradzki</b> , <i>Dilatometric investigations of phase transitions in <math>TEA_2MnCl_4</math> crystals</i> , Ferroelectrics 363, 209 – 214 (2008) Mój udział 10% (analiza wyników pomiarów)
29.	0.562	15	Yu. Eliyashevskyy, <b>A. Sieradzki</b> , R. Poprawski, Z. Czaplą, <i>Influence of the hydrostatic pressure on phase transitions of <math>[(CH_3)_2NH_2]_3CuCl_5</math> crystals</i> , Ferroelectrics 363, 245-250 (2008). Mój udział 40% (pomiarów dielektrycznych pod ciśnieniem, analiza wyników pomiarów, udział w przygotowaniu manuskryptu)
30.	1.13	20	A. Waśkowska, L. Gerward, J. Staun Olsen, <b>A. Sieradzki</b> , W. Morgenroth, <i><math>Na_2TiOGeO_4</math>: Crystal Structure Stability at Low Temperature and High Pressure</i> , Journal of Physics and Chemistry of Solids, 69, 815–821 (2008).

			Mój udział 20% (analiza wyników pomiarów, udział w przygotowaniu manuskryptu)
<b>2007</b>			
31.	1.34	24	E. Rysiakiewicz-Pasek , R. Poprawski, <b>A. Sieradzki</b> , A. Ciżman, J. Polańska, Dielectric properties of KNO <sub>3</sub> embedded into porous glasses, Journal of Non-Crystalline Solids, 353, 4457-4461 (2007). Mój udział 20% (pomiar dielektryczny, analiza wyników pomiarów, udział w przygotowaniu manuskryptu)
32.	0.65	15	A. Ciżman, R. Poprawski, <b>A. Sieradzki</b> , Ferroelectric phase transition in (CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> ) <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub> Cl <sub>11</sub> and (CH <sub>3</sub> NH <sub>3</sub> ) <sub>5</sub> Bi <sub>2</sub> Br <sub>11</sub> crystal, Phase Transit. 2007 vol. 80, 171-176. Mój udział 10% (analiza wyników pomiarów, udział w przygotowaniu manuskryptu)

\* Impact Factor zgodny z rokiem opublikowania.

\*\* Punktacja Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego zgodna z rokiem opublikowania.

### 5.2. Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które uzyskały ochronę i zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach

Zgłoszenie patentowe:

Numer zgłoszenia: **P 405740 z 23.10.2013.**

Autorzy: A. Sieradzki, A. Galas

Tytuł: *Sposób pomiaru przemieszczeń odłamów kostnych leczonych stabilizatorem zewnętrznym oraz urządzenie do pomiaru przemieszczeń względnych odłamów kostnych leczonych stabilizatorem zewnętrznym.*

### 5.3. Monografie, publikacje naukowe w czasopismach międzynarodowych lub krajowych

Lp.	Autorzy, tytuł, wydawnictwo, rok
1.	A. Ciżman, R. Poprawski, <b>A. Sieradzki</b> , <i>Dielectric physics : introduction to selected problems of dielectric physics</i> , Łódź, PRINTPAP (2011) ISBN 978-83-62098-54-5  <i>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na napisaniu dwóch rozdziałów w książce dotyczących zjawisk piezoelektryczności i piroelektryczności. Mój udział procentowy szacuję na 40 %.</i>
2.	E. Rysiakiewicz-Pasek, R. Poprawski, A. Ciżman, <b>A. Sieradzki</b> , <i>Nanocomposite materials - ferroelectric nanoparticles incorporated into porous matrix</i> , rozdział w książce: <i>Nanodevices and nanomaterials for ecological security</i> / ed. by Yuri N. Shunin, Arnold E. Kiv. Dordrecht [i in.] : Springer, cop. (2012) <i>Mój wkład w powstanie rozdziału w tej książce polegał na wykonaniu części pomiarów (piroelektryczne, dylatometryczne, kalorymetryczne) oraz ich analizie. Mój udział procentowy szacuję na 25 %.</i>

#### 5.4. **Udział w krajowych projektach badawczych**

**GRANT 3 T08D 007 26** (2004-2007) - *Szkła porowate jako modelowe środowisko do badań właściwości nanostruktur różnych materiałów*, kierownik grantu **Dr E. Rysiakiewicz-Pasek**.

**N N507 481338** (2008-2010) - *Synteza i charakteryzacja ceramiki i kryształów  $M_2TiGeO_5$  czystych i domieszkowanych – nowych materiałów dla optoelektroniki*, kierownik grantu **prof. R. Poprawski**

#### 5.5. **Krajowe nagrody za działalność naukową**

Stypendium START (dla młodych naukowców) Fundacji Na Rzecz Nauki Polskiej w dziedzinie fizyki w 2008.

#### 5.6. **Wygłoszone referaty na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych**

- **A. Sieradzki**, S. Pawlus, J. Trzmiel, A. Ciupa, M. Paluch, M. Mączka, czerwiec 2015, 13th European Meeting on Ferroelectricity, *Dielectric properties of phase transitions in some metal formate frameworks*, Porto, Portugalia
- **A. Sieradzki**, Yu. Eliyashevskyy, P. Scharoch, R. Poprawski, Z. Czaplą, wrzesień 2014, III Polish - Lithuanian - Ukrainian Meeting on Ferroelectrics Physics, *Ferroelectric first order phase transitions in  $(DMA)CuCl_5$  under pressure – experimental and phenomenological analysis*, Wrocław
- **A. Sieradzki**, P. Łydźba, Yu. Eliyashevskyy, P. Scharoch, R. Poprawski, Z. Czaplą, wrzesień 2013, 13<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity, *Vanishing of ferroelectricity in  $[(CH_3)_2NH_2]_3CuCl_5$  under pressure – phenomenological approach*, Kraków
- **A. Sieradzki**, wrzesień 2005 – XXVIII International School on Ferroelectric Physics, *Ferroelastic phase transition in  $Li_2TiGeO_5$* , Szklarska Poręba
- **A. Sieradzki**, A. Ciżman, R. Poprawski, V. Shuvaeva, A.M. Glazer, wrzesień 2004 – VI Polish-Ukrainian Meeting and XXVII International School on Ferroelectrics Physics, *Birefringence imaging of phase transition in ferroelastic  $Li_2TiGeO_5$* , Ustroń Zdrój.

#### 5.7. **Udział i prezentacja plakatu na konferencji naukowej**

2003 – 10th European Meeting on Ferroelectricity EMF2003, Cambridge UK

2004 – Polish-Czech Seminar of Ferroelectricity, Wierzba

2004 – VI Polish-Ukrainian Meeting and XXVII International School on Ferroelectrics Physics, Ustroń Zdrój

2005 – XXVIII International School on Ferroelectric Physics, Szklarska Poręba

2006 – Czech-Polish Seminar of Structural and Ferroelectric Phase Transitions, Znojmo, Czechy

2006 – VIII Ukrainian - Polish and III East-European Meeting on Ferroelectrics Physics, Lwów, Ukraina

2009 – 6th International Conference on Physics Teaching in Engineering Education PTEE2009

2009 – 12<sup>th</sup> International Meeting on Ferroelectricity (IMF-12), Xian, Chiny

- 2009 – XXX Jubilee International School on Ferroelectrics Physics, Przesieka  
 2010 – Polish-Czech Seminar of Structural and Ferroelectric Phase Transitions, Łądek Zdrój  
 2011 – 12th European Meeting on Ferroelectricity EMF2011, Bordeaux, Francja  
 2012 – XX Polish-Czech Seminar on structural and ferroelectric phase transitions, Ustroń

## 6. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski oraz informacja o współpracy międzynarodowej habilitanta

### 6.1. Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych

1. Poprowadzenie projektów badawczych w ramach współpracy Województwa Dolnośląskiego oraz Rządu Alzacji pt.: „Współpraca polsko-francuska w kształceniu fizyków”; zajęcia prowadzone w języku angielskim ze studentami Uniwersytetu Strasbourskiego oraz Instytutu Fizyki Politechniki Wrocławskiej, kwiecień 2008, 2009.
2. Wykłady z pokazami: „Nie taki azot zimny” dla szkół z powiatu złotoryjskiego w ramach programu POKL „Zostań wynalazcą” – Wrocław 2009.

### 6.2. Udział w komitetach organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych

1. XXX Jubilee International School on Ferroelectrics Physics, wrzesień 2009, Przesieka, organizator
2. International Conference of Parametric Design, Shapes of Logic, marzec 2015 Wrocław, członek komitetu naukowego .

### 6.3. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

- 2013, 2014 – Główna nagroda w konkursie na ulubionego wykładowcę wszystkich Uczelni Wrocławia organizowanej przez akademickie Radio Luz  
 2013 – Nagroda Rektora Politechniki Wrocławskiej  
 2015 – Wyróżnienie specjalną nagrodą w konkursie na Ulubionego wykładowcę Uczelni Wrocławia organizowanej przez akademickie Radio Luz

### 6.4. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki

Pomysłodawca i realizator wykładów dotyczących fizyki sportu z cyklu **Red Bull Ryzyk Fizyk**:

Data	OPIS
marzec 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Politechnika Wrocławska, <b>Wrocław</b>: „Fizyka żużla”, zaproszony gość: <b>Maciej Janowski</b></li> <li>➤ Politechnika Rzeszowska, <b>Rzeszów</b>: „Fizyka żużla”, zaproszony gość: <b>Maciej Janowski</b></li> </ul>
listopad 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, <b>Olsztyn</b>: „Siła fizyki vs akrobacje lotnicze”, zaproszony gość: <b>Łukasz Czepiela</b></li> </ul>
maj 2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej, <b>Lublin</b>: „Fizyka rajdów samochodowych:</li> </ul>

Data	OPIS
	<i>Teoria kontra moc</i> , zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b>
listopad 2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Politechnika Łódzka, <b>Łódź</b>, Explorers Festiwal, Laboratorium Przygody: „<i>Naukowa analiza rajdów WRC</i>”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b></li> <li>➤ Politechnika Śląska, <b>Gliwice</b>: „<i>Fizyka rajdów samochodowych: Teoria kontra moc</i>”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b></li> </ul>
maj 2015	➤ Politechnika Opolska, <b>Opole</b> : „ <i>Fizyczne rozważania o rajdach WRC</i> ” zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b>
kwiecień 2015	➤ Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, <b>Dęblin</b> : „ <i>Lotnicza teoria kontra praktyka</i> ”, zaproszony gość: <b>Łukasz Czepiela</b>
styczeń 2015	➤ Politechnika Śląska, <b>Katowice</b> : „ <i>Fizyczne rozważania o rajdach WRC</i> ”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b>
grudzień 2014	➤ Politechnika Warszawska, <b>Warszawa</b> : „ <i>Fizyka rajdów samochodowych: Teoria kontra moc</i> ”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b>
czerwiec 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plaża miejska, <b>Gdynia</b>: „<i>Fizyka wyścigów lotniczych</i>”, zaproszony gość: <b>Łukasz Czepiela</b></li> <li>➤ Politechnika Wroclawska, <b>Wrocław</b>: „<i>Fizyka latania akrobacyjnego i wyścigów lotniczych</i>”, zaproszony gość: <b>Łukasz Czepiela</b></li> </ul>
maj 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Politechnika Rzeszowska, <b>Rzeszów</b>: „<i>Fizyka latania akrobacyjnego i wyścigów lotniczych</i>”, zaproszony gość: <b>Łukasz Czepiela</b></li> <li>➤ Politechnika Poznańska, <b>Poznań</b>: „<i>Fizyka latania akrobacyjnego i wyścigów lotniczych</i>”, zaproszony gość: <b>Łukasz Czepiela</b></li> <li>➤ Politechnika Gdańska, <b>Gdańsk</b>: „<i>Fizyka rajdów samochodowych: Teoria kontra moc</i>”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b></li> </ul>
styczeń 2014	➤ Politechnika Wroclawska, <b>Wrocław</b> : „ <i>Fizyka rajdów samochodowych: Teoria kontra moc</i> ”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b>
listopad 2013	➤ Akademia Górniczo – Hutnicza, <b>Kraków</b> : „ <i>Fizyka rajdów samochodowych: Teoria kontra moc</i> ”, zaproszony gość: <b>Michał Kościuszko</b>
maj 2013	➤ Politechnika Wroclawska, <b>Wrocław</b> : „ <i>Siatkówka w fizyce i praktyce</i> ”, zaproszony gość: <b>Zbigniew Bartman</b>

Pomysłodawca i główny prowadzący cyklu wykładów Fizyka Sportu oraz autor wielu innych wykładów:

Data	OPIS
Czerwiec 2017	➤ <i>Politechnika Wroclawska</i> , trzecie spotkanie z cyklu Fizyka Sportu: „ <i>Fizyka pływania</i> ”. Zaproszeni goście: <b>Sławomir Szmal</b> , <b>Karol Bielecki</b> . Liczba uczestników: <b>500</b> .
październik 2016	➤ Wykłady plenarne dotyczące Fizyki w Sporcie w ramach Festiwalu Naukowego Explory w Gdyni. Zaproszeni goście: <b>Kajetan Kajetanowicz</b> , <b>Sylwia Gruchała</b> , <b>Natalia Partyka</b> . Liczba uczestników: <b>800</b> .
czerwiec 2016	➤ <i>Szkoła Mistrzostwa Sportowego</i> w Dusznikach Zdroju: „ <i>Jak ważna jest aerodynamika w sporcie</i> ”. Liczba uczestników: <b>150</b> .
maj 2016	➤ <i>Politechnika Wroclawska</i> , drugie spotkanie z cyklu Fizyka Sportu: „ <i>Fizyka pływania</i> ”. Zaproszony gość: <b>Otylia Jędrzejczak</b> , Liczba uczestników: <b>300</b> .
kwiecień	➤ <i>Politechnika Wroclawska</i> , wykład w ramach Tygodnia Zdrowia: „ <i>Czy sport to</i>

Data	OPIS
2016	zdrowie?”. Liczba uczestników: <b>100</b> .
luty 2016	➔ Akademia Młodych Odkrywców, Politechnika Wrocławska, „Wpływ promieniowania UV na strukturę włosów.”, Liczba uczestników: 60.
wrzesień 2015	➔ Gala na zakończenie XVIII Dolnośląskiego Festiwalu Nauki, Politechnika Wrocławska, „Taniec vs. Fizyka.”. Zaproszony gość: <b>Maciej „Gleba” Florek</b> (zwycięzca pierwszej edycji You Can Dance). Liczba uczestników: <b>350</b> .
czerwiec 2015	➔ Szkoła Mistrzostwa Sportowego w Dusznikach Zdroju: „Jak ważna jest aerodynamika w sporcie”. Liczba uczestników: 150.
maj 2015	➔ Politechnika Wrocławska, pierwsze spotkanie z cyklu Fizyka Sportu: „Fizyka w siatkówce”. Zaproszeni goście: <b>Krzysztof Ignaczak</b> (mistrz świata 2014), <b>Piotr Gruszka</b> (Mistrz Europy 2009), Katarzyna Mroczkowska (Wicemistrzyni Polski 2014), Anita Kwiatkowska. Liczba uczestników: <b>800</b> .
czerwiec 2014	➔ Uniwersytet Dzieci we Wrocławiu: „Dlaczego balony pękają tak głośno?” Liczba uczestników: 300. ➔ Szkoła Mistrzostwa Sportowego w Dusznikach Zdroju: „Fizyka w sporcie” Liczba uczestników: 80.
maj 2014	➔ Akademia Młodych Odkrywców, Politechnika Wrocławska: „Fizyka w siatkówce”. Zaproszeni goście: wicemistrzyni Polski w siatkówce 2014, zawodniczki Impel Śląsk Wrocław: Katarzyna Mroczkowska, Joanna Kaczor, Bogumiła Pyziotek. Liczba uczestników: 50.
listopad 2013	➔ wykład na zaproszenie Gminy Wrocław na I Wrocławskim Kongresie Naukowym Dzieci i Młodzieży: „Dlaczego fizycy nie grają w siatkówkę, skoro wiedzą jak to robić lepiej?”. Gościem był Paweł Michocki – zawodnik Gwardii Wrocław. Liczba uczestników: 200.
wrzesień 2013	➔ Wykłady w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki we Wrocławiu i Dzierżoniowie: „Jeśli można coś w ogóle zrozumieć, można to też zrozumiale wyłożyć – rozważania na temat świata elektronów.” Liczba uczestników: 200.
kwiecień 2013	➔ Wykład z pokazami w Liceum Ogólnokształcącym w Bielawie: „Fizyka w muzyce”. Liczba uczestników: 60.
listopad 2012	➔ Akademia Młodych Odkrywców, Politechnika Wrocławska: „Fizyka na stadionie piłkarskim”. Liczba uczestników: 150. ➔ Otwarty wykład dla młodzieży szkół gimnazjalnych na Politechnice Wrocławskiej: „Od elektronu do elektryczności”. Liczba uczestników 80.
marzec 2012	➔ XVIII cykl wykładów popularyzujących fizykę, Politechnika Wrocławska „Front nie zawsze jest z przodu czyli o tym jak poruszają się elektrony i co z tego wynika”. Liczba uczestników 70.
wrzesień 2011	➔ Wykład dla młodzieży i dorosłych w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki we Wrocławiu: „Czego możemy się spodziewać po EURO2012 – czyli fizyka na stadionie”. Liczba uczestników: <b>500</b> . ➔ Wykład dla Dzieci w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki we Wrocławiu: „Skąd? Dlaczego? Po co? – Zabawy fizyką”. Liczba uczestników: <b>240</b> .
październik 2011	➔ Wykład w szkole w Złotoryi: „Oczy są po to by patrzeć, mózg po to by widzieć - czyli złudzenia optyczne”. Liczba uczestników: 80.
wrzesień 2010	➔ Wykład dla młodzieży i dorosłych w ramach Dolnośląskiego Festiwalu Nauki we Wrocławiu: „Skala czasu – chwila to sekunda, godzina a może rok?” Liczba uczestników: 150.



Data	OPIS
	☞ Wykład dla dzieci w ramach <i>Dolnośląskiego Festiwalu Nauki</i> we Wrocławiu: „ <i>Fizyka wokół nas - Jak odpowiedzieć na najprostsze pytanie: Jak to się dzieje?</i> ”. Liczba uczestników: 200.
kwiecień 2010	☞ <i>XVI cykl wykładów popularyzujących fizykę</i> , Politechnika Wrocławska: „ <i>Elektrostatyka czyli od bursztynu do elektryczności</i> ”.
styczeń 2010	☞ <i>Wykład połączony z otwartą dyskusją</i> na temat: „ <i>Dlaczego warto uczyć się nauk ścisłych</i> ” – Liceum Ogólnokształcące im. Jana Pawła II w Złotoryi, Gimnazjum nr 1 w Złotoryj, Gimnazjum nr 2 w Złotoryi.
wrzesień 2009	☞ Wykład w ramach <i>Dolnośląskiego Festiwalu Nauki</i> we Wrocławiu: „ <i>Nie wszędzie gdzie jest woda, muszą być fizycy; ale gdzie słychać fizyków, tam jest LANIE WODY</i> ”.
maj 2009	☞ Wykład z pokazami dla szkół z powiatu złotoryjskiego w ramach programu „ <i>Zostań wynalazcą</i> ”: „ <i>Nie taki azot zimny</i> ”.
marzec 2009	☞ <i>XV cykl wykładów popularyzujących fizykę</i> , Politechnika Wrocławska: „ <i>Fizyka wody</i> ”.
wrzesień 2006	☞ Wykłady w ramach <i>Dolnośląskiego Festiwalu Nauki</i> we Wrocławiu w szkołach podstawowych „ <i>Magiczne spotkania z fizyką</i> ”.
wrzesień 2005	☞ Pokazy eksperymentalne podczas <i>Dolnośląskiego Festiwalu Nauki</i> , Ząbkowice Śląskie
czerwiec 2005	☞ Współorganizator <i>Wielkiego Festynu Fizycznego</i> , Rynek Wrocławski
wrzesień 2004	☞ Współautor wykładu „ <i>Kilka doświadczeń z kawałkiem drutu</i> ” na <i>Dolnośląskim Festiwalu Nauki</i> , Politechnika Wrocławska

### 6.5. Prowadzone zajęcia dydaktyczne

Jestem Kierownikiem Laboratorium Czujników i przetwarzania sygnałów nielektrycznych. Do moich obowiązków należy przygotowanie oraz kontrolowanie sprzętu laboratoryjnego. Opracowałem materiały dydaktyczne oraz instrukcje robocze (część z nich w języku angielskim) do Laboratorium Czujników i przetwarzania sygnałów nielektrycznych oraz do Laboratorium Wstępu do Fizyki Dielektryków, Laboratorium Fizyki Ciała Stałego, Laboratorium Podstaw Fizyki. Prowadziłem zajęcia na jednolitych studiach magisterskich na kierunku Fizyka oraz na studiach 1 i 2 stopnia na kierunkach Fizyka Techniczna, Inżynieria Biomedyczna:

- Czujniki i pomiary wielkości nielektrycznych (wykład, laboratorium)
- Wstęp do Fizyki Dielektryków (laboratorium)
- Physics of dielectrics (wykład, laboratorium)
- Fizyka Ciała Stałego (laboratorium)
- Fizyka (wykład, ćwiczenia)
- Laboratorium Podstaw Fizyki

## 6.6. *Opieka naukowa nad studentami*

Promotor 28 prac dyplomowych:

Studia I stopnia	Studia II stopnia
inż. Joanna Dobrowolska	mgr Paulina Peksa
inż. Jolanta Sławska	mgr Anna Karmazyn
inż. Maja Nowak	mgr Daria Szewczyk
inż. Zuzanna Sokalska	mgr Marcin Nankiewicz
inż. Kinga Hojczyk	mgr Bogumiła Naglik
inż. Justyna Licznar	
inż. Izabella Podsiedlik	
inż. Paulina Kałużna	
inż. Paulina Fior	
inż. Paulina Peksa	
inż. Patryk Monasterski	
inż. Grzegorz Łukasza	
inż. Dagmara Szymczyk	
inż. Anna Karmazyn	
inż. Adam Rek	
inż. Ada Różycka	
inż. Joanna Wajda	
inż. Joanna Symonowicz	
inż. Dagmara Zbawiony	
inż. Matylda Żmudzińska	
inż. Jonatan Stokłosa	
inż. Jacek Jarosik	
inż. Anna Galas	

Opiekun staży studenckich:

- Michał Kochanowski, student Politechniki Wrocławskiej
- Dagmara Szymczyk, studentka Politechniki Wrocławskiej
- Paulina Kałużna, studentka Politechniki Wrocławskiej
- Weronika Rynkowska, studentka Politechniki Wrocławskiej

## 6.7. *Staż w zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich*

1. Uniwersytet Ludwika Pastera, Strasburg, Francja, luty 2007 – październik 2008. Grupa kierowana przez prof. J.-Y. Bigot. Tematyka: Ultraszybka spektroskopia optyczna nanostruktur krzemowych.
2. Clarendon Laboratory, Oxford UK, marzec 2004. Grupa kierowana przez prof. A. M. Glazera. Tematyka: Pomiary dwójłomności spontanicznej materiałów ferroicznych metodą obrazową.

## **6.8. Współpraca zagraniczna i krajowa**

- *University of Oxford Department of Physics, Wielka Brytania*
  - Prof. M. A. Glazer
- *Ivan Franko National University of Lviv, Departament of Solid State Physics, Lwów, Ukraina*
  - Dr Yu. Eliyashevskyy
- *Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), Strasbourg, Francja*
  - Prof. J.-Y. Bigot, Dr M. Vomir
- *Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych, Polska Akademia Nauk we Wrocławiu*
  - prof. M. Mączka, prof. A. Jeżowski, prof. A. Pietraszko, dr M. Ptak, dr M. Trzebiatowska, dr A. Gągor, mgr A. Ciupa
- *Uniwersytet Wrocławski, Instytut Fizyki Doświadczalnej*
  - prof. Z. Czaplą, dr hab. J. Przesławski
- *Uniwersytet Śląski, Śląskie Międzyuczelniane Centrum Edukacji i Badań Interdyscyplinarnych*
  - prof. M. Paluch, dr hab. S. Pawlus

## **6.9. Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie**

### **Dolnośląski Bon na Innowacje**

*Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Poddziałania 8.2.1 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki*  
*Jednostka nadzorująca: Wrocławskie Centrum Transferu Technologii*

1. Opracowanie projektu i wykonanie prototypu czujnika do kontroli ruchomości stawu kolanowego. Termin styczeń – kwiecień 2014
2. Raport z wyznaczenia optymalnych parametrów fizycznych spiekania drobnoziarnistego materiału skalnego powstającego w procesie obróbki mechanicznej kamienia. Termin: kwiecień – sierpień 2013
3. Opracowanie raportu z analizy termicznej materiałów skalnych, w szczególności magnezytów z kopalni Grochów. Termin: styczeń-kwiecień 2013

## **6.10. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych**

Do chwili obecnej byłem recenzentem ~20 publikacji w czasopismach naukowych takich jak m.in.:

1. Physical Chemistry Chemical Physics,
2. RSC Advances,
3. Journal of Applied Physics,
4. Applied Physics A,
5. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry,

6. Journal of Alloys and Compounds,
7. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials,
8. Physica E,
9. Materials Science and Engineering B,
10. Materials Research,
11. Materials Science – Poland,
12. Ferroelectrics.

**6.11. Inne osiągnięcia**

- Przewodniczący Jury w Ogólnopolskim konkursie dla inżynierów Red Bull Tech Lab 2017
- Członek Jury Ogólnopolskiego Festiwalu E(x)plory