

## **Recenzja pracy habilitacyjnej dr. inż. Marcina Sikory oraz ocena jego dorobku naukowego**

Dr inż. Marcin Sikora ukończył studia na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w roku 1999. W czasie studiów, według indywidualnego toku, uczestniczył w badaniach naukowych grupy prof. Czesława Kapusty, w pracowni magnetycznego rezonansu jądrowego AGH. Wtedy też Habilitant zainteresował się technikami spektroskopii rentgenowskiej i zastosowaniem ich do badania materiałów wykazujących interesujące właściwości magnetyczne.

Po ukończeniu studiów włączył się w prace nad stacją eksperymentalną budowaną wówczas przy laserze na swobodnych elektronach w ośrodku DESY w Hamburgu. Jednocześnie podjął studia doktoranckie na AGH. W roku 2002 uzyskał w tej uczelni tytuł doktora nauk fizycznych, z wyróżnieniem, na podstawie rozprawy zatytułowanej „Magnetyzm związków  $\text{La}_{2/3-y}\text{RE}_y\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$  badany metodą magnetycznego dichroizmu promieniowania X”. Promotorem rozprawy był prof. Czesław Kapusta. Od grudnia 2002 roku dr inż. Sikora jest zatrudniony na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, początkowo na stanowisku asystenta a następnie, od października 2003 roku – adiunkta. Od lutego 2004 do lutego 2005 przebywał, jako „post-doc”, w Instituto de Ciencia de Materiales de Aragon w Saragossie, w grupie prof. R. Ibarry, gdzie prowadził badania właściwości strukturalnych i magnetycznych monokryształów związków wanadu oraz zapoznał się z technikami pomiarów w wysokich impulsowych polach magnetycznych.

Od marca 2005 do końca 2008 roku dr inż. Sikora był zatrudniony jako pracownik naukowy w Europejskim Laboratorium promieniowania Synchrotronowego (ESRF) w Grenoble. W grupie dr. P. Glatzela pracował nad rozwojem nowych technik badawczych spektroskopii rentgenowskiej oraz zastosowaniem ich w badaniach, między innymi, materiałów magnetycznych. Praca w ESRF była szansą na włączenie się do prowadzonych tam badań na najwyższym światowym poziomie, poznanie najnowszych technik badawczych w dziedzinie spektroskopii rentgenowskiej oraz wykorzystanie ich we własnych pracach. Było to też poważne wyzwanie ze względu na poziom naukowy ośrodka i niezwykle konkurencyjne zasady prowadzenia tam prac badawczych. Dr inż. M. Sikora doskonale sprostał temu wyzwaniu i w pełni wykorzystał szansę rozwoju naukowego. Dokumentują to liczne publikacje z tego okresu (w wysoko cenionych czasopismach), których jest współautorem.

Badania związane z podjętą w ESRF tematyką Habilitant kontynuuje po powrocie do AGH, z nią związane są też prace składające się na przedłożony do recenzji cykl p.t. „Właściwości elektronowe i magnetyczne złożonych tlenków metali przejściowych badane metodami spektroskopii elektronowej”. Cykl ten obejmuje siedem artykułów opublikowanych w latach 2006-2012 w recenzowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym: 1 praca w *Physical Review Letters*, 3 - w *Physical Review B*, 1 - w *Applied Physics Letters*, 2 - w *Journal of Applied Physics*. Wszystkie te czasopisma są wysoko cenione w dziedzinie fizyki i nauki o materiałach (aktualny 5-letni Impact Factor to, odpowiednio, 7.013, 3.405, 3.787 i 2.169).

Wszystkie prace są wieloautorskie ale w sześciu z nich (1-5 i 7) Habilitant jest pierwszym autorem (przy niealfabetycznej kolejności autorów). W pracy 6 - dr inż. Sikora jest drugim autorem, pierwszy autor był odpowiedzialny za teoretyczną, ilościową analizę

wybranych wyników doświadczalnych. Przedłożone do recenzji dokumenty zawierają oświadczenia wszystkich współautorów opisujące ich wkład do tych siedmiu publikacji. Nie pozostawiają one żadnych wątpliwości, że dr inż. Sikora był inspiratorem, pomysłodawcą (a co najmniej jednym z pomysłodawców, jak sam deklaruje w przypadku prac 1 i 2) oraz koordynatorem badań eksperymentalnych opisanych w tych artykułach. Wkład współautorów polegał głównie na przygotowaniu próbek, udziale w eksperymentach synchrotronowych lub wykonaniu wyspecjalizowanych obliczeń teoretycznych. Osoby będące liderami grup uczestniczących w poszczególnych pracach (prof. C. Marquina, prof. M.R. Ibarra, prof. Cz. Kapusta) zadeklarowały udział na zasadzie współpracy z dr. inż. Sikorą. Charakter przeprowadzonych badań w pełni uzasadnia udział współautorów. Część z nich prowadzona była na specjalnie przygotowanych próbkach, niedostępnych komercyjnie, co wymagało współpracy ze specjalistami-technologami. Wszystkie prace powstały z wykorzystaniem dużych urządzeń badawczych (źródeł promieniowania synchrotronowego), w części z nich zastosowano nowo zbudowane lub zmodyfikowane układy eksperymentalne. W takich pracach naturalny jest udział grupy osób odpowiedzialnych za bezawaryjne działanie stacji eksperymentalnej lub uczestniczących w zbieraniu wyników w trybie pracy ciągłej. Wartość współpracy z teoretykami wspierającymi interpretację uzyskanych wyników zaawansowanymi obliczeniami jest oczywista.

Przedstawione prace stanowią spójny cykl poświęcony badaniu właściwości elektronowych wybranych krystalicznych związków pierwiastków grup przejściowych, które istotnie wpływają na właściwości magnetyczne tych materiałów. W szczególności badano stany ładunkowe jonów pierwiastków grup przejściowych, momenty magnetyczne ich otwartych powłok, analizowano charakter układów o mieszanej walencyjności i wzajemny wpływ jonów różnych pierwiastków grup przejściowych współistniejących w badanym układzie. Przedstawione publikacje wpisują się w ważny i aktualny nurt prac w fizyce ciała stałego poświęcony poszukiwaniu i badaniu materiałów o dużej polaryzacji spinowej nośników ładunku, potencjalnie użytecznych w projektowanych urządzeniach tzw. elektroniki spinowej, w których informacja byłaby zbierana i obrabiana szybciej, energetycznie wydajniej i przy większej skali integracji dzięki wykorzystaniu nie tylko ładunku ale też spinu nośników. Tak motywowane badania obejmują wiele grup materiałów – od metali do szerokoprzerwowych półprzewodników domieszkowanych metalami przejściowymi a także materiałów kompozytowych. Tlenki pierwiastków grup przejściowych, w szczególności te, które uczynił przedmiotem swoich badań dr inż. Sikora, skupiają w tym kontekście istotne zainteresowanie.

Drugim aspektem łączącym przedstawione prace jest zastosowanie metod spektroskopii rentgenowskiej. Habilitant posłużył się spektroskopią w pobliżu krawędzi absorpcji (XANES), techniką pomiaru kołowego dichroizmu magnetycznego (XMCD) także z nowatorskim wykorzystaniem impulsowych pól magnetycznych, spektroskopią emisji rentgenowskiej (XAS) oraz oryginalną techniką obserwacji XMCD w eksperymentach rezonansowego nieelastycznego rozpraszania promieniowania rentgenowskiego (RIXS) w zakresie twardego promieniowania X.

Prace 1 i 3 poświęcono badaniu ewolucji stanu ładunkowego i spinowego jonów manganu i kobaltu w funkcji zawartości tych dwóch metali przejściowych w roztworze stałym  $\text{LaMn}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_3$ . Materiał ten jest szczególnie ciekawy ze względu na pojawiający się w nim ferromagnetyczny stan podstawowy, kontrastujący z antyferromagnetycznymi własnościami  $\text{LaMnO}_3$  i diamagnetycznymi –  $\text{LaCoO}_3$ . Zebranie niezależnych od badań magnetycznych danych o stanach ładunkowym i spinowym jonów obu metali przejściowych pozwoliło potwierdzić model układu składającego się z dwóch podsystemów o mieszanej walencyjności ( $\text{Co}^{2+}/\text{Co}^{3+}$  i  $\text{Mn}^{3+}/\text{Mn}^{4+}$ ) oraz wykazać, że jony metali przejściowych występują w konfiguracjach wysokospinowych.

Prace 2 i 4 dotyczą badań podwójnych perowskitów  $AA'FeReO_6$ . Związki te budzą zainteresowanie ze względu na wysoką polaryzację spinową nośników, wysoką temperaturę Curie i szansę na optymalizację ich własności przez odpowiedni dobór składników. W pracy 2 systematycznie przebadano serię układów z  $AA'=Ba_2, BaSr, Sr_2, SrCa, Ca_2$  podejmując udaną próbę zweryfikowania hipotezy o istnieniu niewygaszonego orbitalnego momentu magnetycznego renu (ważnego ze względu na związek z wysokim polem koercji badanych układów, niekorzystnym dla zastosowań spintronicznych) oraz wyznaczenia ewolucji orbitalnego i spinowego momentu magnetycznego renu w funkcji sprzężenia wymiennego Fe-Re sterowanego średnim promieniem jonów podsieci A. W pracy 4 weryfikowano na próbce  $Ca_2FeReO_6$  model związków typu  $Ca_xSr_{2-x}FeReO_6$  zakładający współwystępowanie w nim dwóch faz o różnym przewodnictwie elektrycznym i stopniu uporządkowania magnetycznego. Względny wkład obu faz jest zależny od temperatury i pola magnetycznego. Szczególnym wyzwaniem było przeprowadzenie pomiarów w dostatecznie szerokim zakresie natężeń pola magnetycznego. Eksperymenty zrealizowano w nowatorski sposób mierząc kołowy dichroizm magnetyczny promieniowania rentgenowskiego (XMCD) w silnych impulsowych polach magnetycznych (do 30 T). Jest to istotna wartość tej pracy, poza stworzeniem „mapy” stosunku  $m_I/m_S$  renu w funkcji temperatury (10-250 K) i pola magnetycznego (6.8-30 T) oraz potwierdzeniem istnienia w  $Ca_2FeReO_6$  dwóch faz, których względny wkład może być sterowany polem magnetycznym a zmiana ta sprzężona jest z obsadzeniem orbitali Re  $5d(t_{2g})$ .

Prace 5 i 7 opisują badania momentu magnetycznego powłoki 3d magnetytu. Ponieważ sygnał XMCD otrzymany w typowym eksperymencie z zastosowaniem twardego promieniowania X (o większej głębokości penetracji, wygodnego m.in. do badań własności objętościowych), na krawędzi K, jest zbyt słaby dla precyzyjnej interpretacji, zastosowano pomiar sygnału XMCD w eksperymencie RIXS. Oryginalne zastosowanie takiej techniki w zakresie twardego promieniowania X umożliwiło pomiar dichroizmu ze znacznie zwiększoną czułością. Ponadto, pomiar w warunkach RIXS pozwala dostroić eksperyment nie tylko do konkretnego pierwiastka ale nawet do jego konkretnego stopnia utlenienia lub miejsca w sieci o określonym polu krystalicznym. Te zalety zostały zademonstrowane w pracy 7. Zbadano serię próbek z epitaksjalnymi warstwami  $Fe_3O_4$  pokrytymi różnymi warstwami metalicznymi. Metoda okazała się skuteczna w badaniu cienkich warstw o 15 nm grubości i określaniu ich własności magnetycznych. Dostrajanie energii fotonów pozwala selektywnie badać poszczególne warstwy złożonej struktury.

Praca 6 dotyczy badań grupy tlenków  $WO_3, ReO_3, WO_2$  i  $ReO_2$  metodą rezonansowej emisji promieniowania X (RXES) z rozbudowaną interpretacją wspartą obliczeniami „z pierwszych zasad” struktury pasmowej i odpowiednich map RXES. Otrzymano bardzo dobrą zgodność wyników obliczeń z wynikami doświadczeń w ramach przybliżenia jednoelektrodowego i przy założeniu całkowitego ekranowania dziury rdzeniowej, określono przy tym ładunek jonów Re i W oraz rolę oddziaływania spinowo-orbitalnego. Praca stanowiła wkład do dyskusji nad źródłami trudności w ilościowej interpretacji wyników spektroskopii rentgenowskiej dla metali przejściowych 5d.

Wszystkie omówione prace zawierają oryginalne, nietrywialnie wyniki i dotyczą ważnych problemów naukowych diskutowanych w literaturze. Zaproponowano i zademonstrowano też dwie nowatorskie techniki eksperymentalne. Publikacje te zostały zauważone przez środowisko naukowe o czym świadczy 67 cytowań tych siedmiu prac (wg Web of Science). Zrozumiałe jest, że najnowsze publikacje mają cytowań mniej, natomiast istotne jest, że najwcześniejsze z nich wciąż są regularnie cytowane jako źródło ważnych referencyjnych danych (praca 1: całkowita liczba cytowań: 26, w roku 2011: 3 cytowania, 2012: 2; praca 2: całkowita liczba cytowań: 16, w roku 2011: 2 cytowania, 2012: 1).

O znaczeniu naukowym publikacji dr. inż. Sikory świadczy też fakt, że trzy z nich znalazły się w latach 2007 (praca 3), 2009 (praca 4) i 2010 (praca 5) wśród mniej niż stu najistotniejszych przedsięwzięć badawczych, zrealizowanych w ESRF we wszystkich uprawianych tam dziedzinach nauki, opisanych w publikacji „ESRF Highlights” a wybranych z około tysiąca eksperymentów wykonywanych corocznie w tym ośrodku.

Przedstawiony przez dr. inż. Marcina Sikorę zbiór publikacji nie budzi zastrzeżeń ani pod względem formalnym ani merytorycznym. Prace stanowią bez wątpienia znaczny wkład do uprawianej przez niego dyscypliny naukowej. Rola Habilitanta w ich powstaniu oraz zawarty w nich zasób znaczących, oryginalnych wyników naukowych w pełni uzasadniają przyjęcie omówionych powyżej prac jako osiągnięcia naukowego w przewodzie habilitacyjnym.

Dorobek naukowy dr. inż. Marcina Sikory obejmuje 64 publikacje indeksowane w bazie Web of Science, opublikowane w czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Sześćdziesiąt jeden z nich zostało opublikowanych po roku 2002 (roku uzyskania stopnia doktora). Wśród tych publikacji 8 ukazało się w *Physical Review B*, 4 w *Physical Review Letters*, 3 w *Journal of Physical Chemistry*, 2 w *Journal of Applied Physics*. Kolejne publikacje ukazały się w innych czasopismach o wysokim IF m.in.: *Applied Physics Letters*, *Journal of American Chemical Society*, *Dalton Transactions*, *Journal of Materials Chemistry*, *Catalysis Today*, *Physical Chemistry Chemical Physics*, *Nanotechnology*, *Electrochimica Acta*. W 11 publikacjach dr inż. Sikora jest pierwszym autorem (przy niealfabetycznej kolejności autorów).

O wysokim naukowym poziomie i znaczeniu publikacji dr. inż. Sikory świadczy, prócz wysokiej rangi czasopism, 440 cytowań i i indeks Hirscha równy 12 (według informacji zebranych przez Habilitanta w czerwcu 2012).

Ponadto dorobek Habilitanta zawiera 26 publikacji konferencyjnych, prac opublikowanych w czasopismach lokalnych i raportów z badań prowadzonych z zastosowaniem promieniowania synchrotronowego opublikowanych w corocznych raportach laboratoriów synchrotronowych.

Dr inż. Marcin Sikora wygłosił 5 referatów zaproszonych, w tym 4 na konferencjach zagranicznych.

O autorytecie naukowym dr. inż. Sikory z skali międzynarodowej świadczy jego duża aktywność recenzencka m.in. dla *Physical Review Letters* i *Physical Review B*.

Istotną częścią dorobku naukowego Habilitanta i potwierdzeniem wysokiej naukowej klasy prowadzonych przez niego badań jest 14 zrealizowanych, kierowanych przez dr. inż. Sikorę, projektów badawczych z zastosowaniem promieniowania synchrotronowego (w 15 kolejnych projektach był wykonawcą lub wnioskodawcą pomocniczym). Każdy z tych projektów musiał być zaakceptowany pod względem naukowym, w konkursowej procedurze, przez powołany w laboratorium synchrotronowym panel ekspertów. Z reguły ośrodki te są bardzo oblegane przez użytkowników a więc tylko projekty dotyczące szczególnie aktualnych problemów i najbardziej obiecujące pod względem naukowym mają szanse być dopuszczone do realizacji. W szczególności dotyczy to Europejskiego Laboratorium Promieniowania Synchrotronowego (ESRF) w Grenoble gdzie dr inż. Sikora zrealizował cztery projekty w standardowej procedurze kwalifikacyjnej i osiem typu *in-house*.

Dr inż. Marcin Sikora uczestniczył w realizacji trzech projektów europejskich. Obecnie kieruje grantem habilitacyjnym MNiSzW oraz jest koordynatorem w projekcie POIG.

Podkreślenia wymaga bardzo aktywna, rozgałęziona i owocna współpraca naukowa Habilitanta. Obejmuje ona 13 instytucji zagranicznych i 2 polskie, poza macierzystą AGH w Krakowie. Efekty tych współprac łatwo odnaleźć w spisie publikacji dr. inż. Sikory. Liczne staże zagraniczne Habilitanta, w szczególności długotrwałe pobyty w Aragońskim Instytucie

Badań Materiałowych i w ESRF, miały niewątpliwie znaczny wpływ na jego rozwój naukowy, z drugiej strony utrudniły jego aktywność dydaktyczną (dość ograniczoną, szczególnie jak na pracownika wyższej uczelni). Niemniej, włączenie się w ostatnich latach dr. inż. Sikory do opieki nad studentami i magistrantami AGH wskazuje, że kolejne generacje studentów i młodych naukowców będą miały szansę skorzystać z jego wysokich kompetencji naukowych.

Oceniając całokształt dorobku należy stwierdzić, że dr inż. Sikora jest uznanym ekspertem w dziedzinie spektroskopii rentgenowskiej układów krystalicznych, w szczególności zawierających pierwiastki o otwartych powłokach. Jego dorobek stoi na wysokim poziomie naukowym i dowodzi jego dojrzałości oraz samodzielności. Wynika to jasno z publikacji, nawiązanych współprac, działalności grantowej i recenzenckiej.

Podsumowując, uważam iż przedstawiony cykl publikacji dr. inż. Marcina Sikory oraz cały jego dorobek naukowy z pewnością spełniają ustawowe wymagania stawiane w przypadku ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego. Wnoszę więc do Rady Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisław Staszica w Krakowie o nadanie dr. inż. Marcinowi Sikorze stopnia doktora habilitowanego.

B. Kowalski