

Prof. dr hab. Grażyna Chełkowska
Instytut Fizyki
Uniwersytet Śląski
Katowice

Ocena dorobku naukowego oraz rozprawy habilitacyjnej
dr Iwony Kowalik – Arvaniti pt.
**“Magnetyzm i struktura elektronowa wybranych funkcjonalnych materiałów
spintronicznych: badania selektywne pierwiastkowo”**

Dr Iwona Agnieszka Kowalik-Arvaniti od początku swojej działalności naukowej związana jest z Instytutem Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie, gdzie w 2001 roku obroniła pracę magisterską pt. “Detekcja mionów z otoczki wiązki protonowej w kalorymetrze BAC (eksperyment ZEUS przy akceleratorze HERA)” wykonaną w Instytucie Fizyki Doświadczalnej w Zakładzie Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych pod kierunkiem prof. dr hab. Jacka Ciborowskiego. W grudniu 2006 roku obroniła pracę doktorską zatytułowaną *Stany 3d w strukturze elektronowej powierzchni GaN modyfikowanej warstwami zawierającymi metale przejściowe* wykonaną w Oddziale Spektroskopii Ciała Stałego w Zespole Spektroskopii Elektronowej pod kierunkiem prof. dr hab. Bogdana Kowalskiego. Rozprawa doktorska została wyróżniona w krajowym konkursie im. Janusza Groszkowskiego w dziedzinie próżni, organizowanego przez Polskie Towarzystwo Próżniowe w 2007 roku. Wkrótce po doktoracie dr Iwona Agnieszka Kowalik-Arvaniti została zatrudniona na stanowisku adiunkta w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Oddziale Fizyki i Technologii Nanostruktur Półprzewodników Szerokoprzerwowych w Zespole Mikroskopii i Spektroskopii Elektronowej, gdzie pracuje do chwili obecnej, z dwuletnią przerwą (od 15 października 2007 do 15 stycznia 2009), kiedy to będąc na urlopie bezpłatnym w IF PAN, pracowała jako naukowiec w laboratorium synchrotronowym MAX-lab w Uniwersytecie w Lund w Szwecji. Zanim jednak wyjechała do Lund, przez kilka miesięcy pracowała w IF PAN w dziedzinie technologii Atomic Layer Deposition, posługując się m.in. takimi technikami jak dyfrakcja rentgenowska (XRD), mikroskopia sił atomowych (AFM), fotoluminescencja (PL), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM).

Jako osiągnięcie naukowe, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiące znaczny wkład autora w rozwój określonej dyscypliny naukowej (wymagane zgodnie z Art. 16 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym) dr Iwona Kowalik-Arvaniti przedstawiła jednotematyczny cykl publikacji naukowych. Cykl ten składa się z dziewięciu prac [H1 – H9] i dotyczy opracowania oraz charakteryzacji nowych funkcjonalnych materiałów dla zastosowań w spintronice, osiągniętych dzięki możliwości zastosowania, w szczególności, spektroskopii wzbudzeń rezonansowych. Jedną z prac tego cyklu jest monoautorska, w przypadku innych, czterech publikacji dr Iwona Kowalik-Arvaniti jest pierwszym lub równorzędnym z pierwszym autorem.

Dwuletni pobyt habilitantki w laboratorium synchrotronowym MAX-lab w Uniwersytecie w Lund w Szwecji znacząco zaważył na tematyce podejmowanych przez nią później badań naukowych. W czasie tego pobytu, wraz z pracownikami laboratorium uczestniczyła w ostatnim etapie instalacji nowej linii pomiarowej I1011, wyposażonej w dwie stacje końcowe ultra wysokiej próżni. Była odpowiedzialna za opracowanie, charakteryzację

oraz kalibrację kilku komponentów linii pomiarowej. Linia ta przeznaczona była do badań XAS, XMCD, rentgenowskiego liniowego dichroizmu magnetycznego (XLMD) oraz rentgenowskiego rezonansowego rozproszenia magnetycznego (XRMS). We współpracy z pracownikami laboratorium wprowadzała lub koordynowała wprowadzanie niezbędnych modyfikacji w aparaturze i oprogramowaniu, przygotowując linię pomiarową do jej regularnej eksploatacji. Wpłynęło to na dalszą działalność naukową habilitantki powodując poszerzenie jej zainteresowań o nowe materiały spintroniczne jakimi były domieszkowane półprzewodniki magnetyczne (DMS) na bazie ZnO i GaN. Domieszkowanie miało na celu zmodyfikowanie struktury elektronowej bazowych układów w taki sposób, aby wymusić ferromagnetyczną odpowiedź materiału, w niektórych przypadkach znacznie powyżej temperatury pokojowej. Realizacja podjętego zadania wymagała charakteryzacji tych materiałów, w tym również ich własności magnetycznych. W ramach kontynuowanej współpracy naukowej z Laboratorium Synchrotronowym w Lundt, habilitantka wykorzystwała w swojej pracy dostępne w Lund techniki eksperymentalne, w szczególności metodę XMCD/XAS niezwykle użyteczną do badań bardzo słabych sygnałów magnetycznych.

Cykl publikacji będących podstawą habilitacji, również ich sekwencja, pokazuje, że habilitantka dobrze przemyślała podjętą tematykę badawczą oraz zaprogramowała sposób jej realizacji. Tak więc ze względu na potrzebę charakteryzacji własności magnetycznych domieszkowanych półprzewodników typu DMS rozszerzyła swoją działalność o nowe techniki pomiarowe co znajduje odbicie w pierwszych dwóch pracach (H1, H2). Zespołowa praca H1, w której dr Iwona Kowalik – Arvaniti jest pierwszym autorem, opublikowana w 2010 roku, jest wynikiem jej aktywnego uczestnictwa w instalacji wspomnianej wcześniej linii pomiarowej I1011.

Druga, chronologicznie praca, z cyklu habilitacyjnych (wykazana jako H4) została opublikowana w 2011 roku w *Physica Status Solidi* i dotyczyła warstw (ZnCo)O. Był to najwyraźniej efekt pracy p. I. Kowalik w dziedzinie technologii Atomic Layer Deposition (ALD) w Instytucie Fizyki PAN, gdzie pracowała przez rok po zakończeniu studiów doktoranckich. Przebadanie warstw ZnO domieszkowanych Co umożliwiło jej powiązanie odpowiedzi ferromagnetycznej ze stanami Co ($3d$) atomów kobaltu zgromadzonych na międzypowierzchni cienkich warstw z podłożem Si, otrzymanych metodą ALD. Kontynuacja tej tematyki została podjęta i przedstawiona w publikacji H5, opublikowanej w *Phys. Rev. B* w 2013 roku w wieloautorskim, międzynarodowym zespole. W pracy przedstawiono szczegółowe badania dotyczące pochodzenia magnetyzmu dla polikrystalicznego (Zn,Co)O hodowanego przez osadzanie warstwy atomowej. Wykazano, stosując różne zaawansowane techniki badawcze że metoda ta pozwala, poprzez zmianę temperatury wzrostu, na uzyskanie próbek o różnych właściwościach magnetycznych. Dalsze badania warstw ZnO:Co dowiodły, że poprzez dobór odpowiednich parametrów wzrostu możliwa jest kontrola stanu elektronowego atomów Co (publikacja H6 z 2016 roku). Obok domieszkowanych półprzewodników szerokoprzerwowych na bazie ZnO badania przeprowadzone zostały na materiałach na bazie GaN. Praca H3 opublikowana w *Phys. Rev. B* w 2012 roku, w której habilitantka jest pierwszym autorem, dotyczy domieszkowania warstw GaN jonami żelaza. Należy nadmienić, że materiały DMS bazujące na ZnO i GaN oraz domieszkowane metalami przejściowymi były wcześniej intensywnie badane, jednakże zrozumienie na poziomie atomowym własności magnetycznych domieszkowanych azotków i tlenków ciągle nie jest do końca wyjaśnione. Praca H3 stanowi istotny wkład dla wyjaśnienia zachowań magnetycznych w tych materiałach. Uzyskane wyniki, wspierane przez obliczenia *ab initio* widma XMCD dla różnych nanokryształów FeN_δ, pokazują, że nanokryształy o $\delta > 0,25$ odpowiadają

ferromagnetycznemu zachowaniu warstw (Ga, Fe)N. Poprzez określenie orbitalnych i spinowych stanów rezydujących na jonach Fe i N, pokazane zostało, że bogate w Fe nanokryształy azotków żelaza zatopionych w sieci macierzystej GaN stabilizują ferromagnetyzm (Ga, Fe)N w temperaturze 300 K. Pokazano również, że w zależności od warunków wzrostu, (Ga, Fe)N może służyć do opracowania układów nanokompozytowych charakteryzujących się albo silnym ferromagnetyzmem w temperaturze pokojowej ($\delta \leq 1/3$) albo silnymi oddziaływaniami antyferromagnetycznymi ($\delta > 1/2$).

Na szczególną uwagę zasługuje monoautorska praca H2, opublikowana w 2015 roku. Jest to praca przeglądowa dotycząca absorpcyjnej spektroskopii rentgenowskiej zastosowanej dla charakteryzacji magnetycznych własności niskowymiarowych układów magnetycznych. Jest ona swoistym przewodnikiem, w którym opisane są podstawy rentgenowskiego dichroizmu magnetycznego, kołowego oraz liniowego (XMCD i XLMD), sposób wykonywania eksperymentu oraz analiza uzyskanych widm. Dyskusja przeprowadzona jest zarówno dla układów metalicznych jak i półprzewodnikowych. Należy zauważyć, że praca opublikowana była w kilka lat po tym jak habilitantka uczestniczyła w uruchomieniu linii I1011 w Szwedzkim Narodowym Laboratorium Synchrotronowym MAX-lab w Lund. Moim zdaniem, fakt ten przemawia na korzyść tej publikacji, gdyż po tym czasie habilitantka była z pewnością bardziej doświadczona zarówno w wykonywaniu pomiarów jak i analizie otrzymanych wyników.

Wychodząc naprzeciw nowym kierunkom w badaniach materiałów spintronicznych dr Iwona Kowalik-Arvaniti prowadziła badania ZnO domieszkowanego Bi. Okazuje się, że domieszkowanie ciężkim pierwiastkiem bloku p, takim jak Bi prowadzi do ferromagnetyzmu pasmowego zależnego od oddziaływania p – p, niezwiązanego z defektami, jak to ma miejsce przy domieszkowaniu lekkimi pierwiastkami. Potwierdza to kluczową rolę oddziaływania spin-orbita dla magnetyzmu pasmowego w ZnO. Uważa się, że domieszkowanie materiału typu DMS nieferromagnetycznym ciężkim jonem może otworzyć całkowicie nowy kierunek w poszukiwaniach materiałów spintronicznych. Uzyskane w tych badaniach wyniki zostały opublikowane w Scientific Reports w 2015 roku (H7).

W pracy habilitacyjnej dr Iwona Kowalik-Arvaniti zajęła się także badaniami wykraczającymi poza tradycyjne materiały półprzewodnikowe, proponując nowe grupy materiałów atrakcyjnych dla spintroniki. Zaprezentowana została koncepcja wykorzystania czysto organicznych cząsteczek chiralnych w celu generacji polaryzacji spinowej. Idea bazowała na najnowszych doniesieniach literaturowych, że elektrony transmitowane w temperaturze pokojowej poprzez długie chiralne struktury molekularne zyskują polaryzację spinową porównywalną z polaryzacją charakterystyczną dla konwencjonalnych ferromagnetyków. Habilitantka wraz zespołem badała efekt filtrowania spinowego wywołanego przez chiralne cząsteczki organiczne wykorzystując do tego nowoczesne techniki spektroskopowe. Pokazano, że efektywne filtrowanie spinowe może występować już na bardzo krótkich odległościach, rzędu jednej warstwy molekularnej małych cząsteczek organicznych. Wyniki tych badań zamieszczone są w publikacji H8, która ukazała się w Advanced Materials w 2014 roku. Należy dodać, że do momentu ukazania się tej pracy uznawane było, że w celu uzyskania efektywnej polaryzacji spinowej elektronów niezbędne jest użycie długich struktur helikalnych. Tematyka filtrowania spinowego jest też przedmiotem zgłoszenia patentowego H9.

Podsumowując tę część, w prezentowanym cyklu publikacji habilitacyjnych przedstawione są wyniki otrzymane technikami spektroskopowymi, opartymi na promieniowaniu synchrotronowym, dla trzech kategorii materiałów, jakimi Habilitantka się zajmowała.

Wyniki tych badań otwierają nowe możliwości zastosowań i prezentują nowe rodziny materiałów spintronicznych.

Z oświadczeń współautorów publikacji wieloautorskich, wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego, wynika, że dr Iwona Kowalik-Arvaniti była osobą, która zainicjowała badania, napisała wnioski o czas pomiarowy, w większości przypadków sama te badania wykonała, dotyczy to zwłaszcza badań dichroizmu, absorpcji promieniowania rentgenowskiego i mikroskopii fotoemisyjnej oraz przeprowadziła interpretację wyników doświadczalnych.

Wśród publikacji, które nie wchodzą w skład osiągnięcia habilitacyjnego dr Iwony Kowalik-Arvaniti należy wymienić 26 prac znajdujących się w bazie Journal Citation Reports, (11 przed +15 po doktoracie), 23 Raporty publikowane przez międzynarodowe laboratoria promieniowania synchrotronowego oraz 11 publikacji pokonferencyjnych i długich abstraktów.

Habilitantka jest ponadto współautorką 14 referatów zaproszonych, z których osobiście wygłosiła 6 (pozostałe wygłoszone były przez współautorów), 26 referatów, z których sama wygłosiła 11, była też współautorką 63 plakatów na konferencjach naukowych. Sumaryczny Impact Factor publikacji naukowych habilitantki, według listy Journal Citation Reports (JCR) zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 64,062, przy czym Impact Factor publikacji wchodzących w skład cyklu prac habilitacyjnych: 31,993. Całkowita liczba cytowań bez uwzględnienia autocytowań to 308, przy czym liczba cytowań publikacji wchodzących w skład cyklu prac habilitacyjnych to 59. Indeks Hirscha według bazy Web of Science: 9.

Na podstawie przedstawionego mi do recenzji dorobku naukowego dr Iwony Kowalik-Arvaniti oceniam bardzo wysoko wkład habilitantki w dziedzinie nowych materiałów spintronicznych. Nieco słabiej wypada jej działalność dydaktyczna, nie znalazłam w autoreferacie informacji o wykładach dla studentów. Sytuacja ta wynika pewnie z czysto naukowego charakteru pracy w Instytucie Fizyki PAN. Brak ten został w pewnym stopniu zrehabilitowany poprzez zaangażowanie habilitantki w edukację różnych grup badawczych na synchrotronie, w skład których wchodził również studenci i doktoranci. Ponadto jako koordynator projektu „CHIMES” European Training Network, zgłoszonego do konkursu w styczniu 2017 w ramach Marie-Curie Innovative Training Networks wraz z naukowcami z dziesięciu partnerskich uniwersytetów, instytucji naukowych i firm z kilku państw UE, uczestniczyła w przygotowaniu planu badań i edukacji dla 14 doktorantów. W laboratorium synchrotronowym zaangażowana była również w akcję popularyzacji nauki wśród uczniów szkół średnich.

Od 2002 roku dr. Iwona Kowalik-Arvaniti jest członkiem Polskiego Towarzystwa Promieniowania Synchrotronowego. W latach 2002-2015 wygłosiła 17 seminariów w Polsce i za granicą, współpracowała lub nadal współpracuje z sześcioma zagranicznymi grupami badawczymi w Szwecji, Hiszpanii oraz Korei. W latach 2015-2016 uczestniczyła w różnych projektach naukowych, międzynarodowych i krajowych, pełniąc w nich różne role, od wykonawcy po kierownika projektu. Wśród projektów na uwagę zasługuje wspomniany już wcześniej „CHIMES” w ramach konkursu Komisji Europejskiej Marie-Curie Innovative Training Networks (HORIZON 2020), który przygotowano został wspólnie z 8 instytucjami akademickimi oraz 2 firmami z różnych krajów UE. Budżet niniejszego projektu European Training Network wynosi 3.5 mln EUR i zawiera propozycję szkolenia 14 młodych naukowców przez okres 4 lat.

Długa, bo licząca 43 pozycje jest również lista projektów przyjętych w Large Scale Facilities na pokrycie kosztów badań w ramach programu EU Transnational Access Programs,

takich jak CALIPSO (Coordinated Access to Lightsources to Promote Standards and Optimization, 2012-2015), ELISA (European Light Sources Activities - Synchrotrons and Free Electron Lasers, 2009-2011) oraz projekt Baltic Science Link finansowany przez Swedish Research Council, VR (2012-2014). Na liście tej w 12 przypadkach habilitantka pełni rolę kierownika projektu, w pozostałych 31, widnieje jako co-aplicant. Poza dwuletnim stażem podoktorskim w laboratorium synchrotronowym w Lund w Szwecji w latach 2002-2016 habilitantka odbyła w sumie 44 krótkich pobytów naukowych w zagranicznych ośrodkach synchrotronowych.

Podsumowanie i wniosek końcowy.

Podsumowując, po dokonanej wnikliwej analizie zarówno osiągnięcia naukowego, jak i całościowego dorobku, pozytywnie oceniam przedstawiony wniosek dr Iwony Kowalik-Arvaniti, o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. W konsekwencji wnoszę o przeprowadzenie dalszych etapów tego postępowania zmierzających do nadania Wnioskodawczyni, stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka.

G. Kowalik-Arvaniti