

Warszawa, 3 stycznia 2020 r.

prof. dr hab. Andrzej Wawro
Instytut Fizyki PAN w Warszawie

Ocena dorobku naukowego dra inż. Michała Ślęzaka w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego

Przedmiotem niniejszej oceny jest osiągnięcie naukowe pt.: *Reorientacja spinowa i kontrola anizotropii magnetycznej w niskowymiarowych układach ferro- i antyferromagnetycznych* przedstawione przez dra Michała Ślęzaka z Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w celu uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Sylwetka naukowa Habilitanta

Dr Michał Ślęzak zarówno w okresie studiów, jak i dotychczasowej kariery naukowej związany jest z Akademią Górniczo-Hutniczą (AGH) w Krakowie. W roku 2004 uzyskał tytuł zawodowy magistra, w wyniku obrony pracy nagrodzonej wyróżnieniem w konkursie Polskiego Towarzystwa Próżniowego. Stopień naukowy doktora nauk fizycznych otrzymał w roku 2009 po obronie rozprawy pt.: *Wpływ morfologii podłoża na magnetyzm epitaksjalnych nanostruktur metali 3d*, której promotorem był prof. dr hab. J. Korecki. Od tamtego czasu do chwili obecnej zatrudniony jest na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH, najpierw na stanowisku asystenta (do 2015 r.), a później – adiunkta. Po uzyskaniu stopnia doktora Habilitant odbył roczny staż naukowy typu post-doc w renomowanym ośrodku synchrotronowym Swiss Light Source w Szwajcarii. W tym czasie pełnił rolę głównego wykonawcy realizowanego tam projektu. Po powrocie do Polski kontynuował badania, opisane w licznych publikacjach oraz zaangażował się w rozbudowę linii pomiarowej przy niedawno uruchomionym synchrotronie Solaris w Krakowie. Swoje doświadczenie i osiągnięcia wzbogacał również w czasie przeprowadzania licznych pomiarów synchrotronowych, głównie w ESRF w Grenoble we Francji.

Prace habilitacyjne i inne publikacje

Na dorobek naukowy Habilitanta, stanowiący osiągnięcie naukowe, składa się cykl sześciu recenzowanych prac, poświęconych modyfikacjom właściwości magnetycznych wysokiej jakości strukturalnej warstw Fe, osadzonych na monokryształach W(110), poddanych oddziaływaniom różnego rodzaju pokryć metalicznych oraz zaadsorbowanych gazów. Zostały one opublikowane w języku angielskim w czasopiśmie o dość zróżnicowanym (pięcioletnim) czynniku wpływu (wg *Journal Citation Reports*): *Scientific Reports* (4,525), *Physical Review B* (3,739), *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* (2,597 – dwie prace), *AIP Advances* (1,731) i *X-Ray*

Spectrometry (1,094). Wszystkie mają zasięg międzynarodowy. Wkład Habilitanta w powstanie tych prac był zdecydowanie dominujący.

Właściwościami cienkich warstw magnetycznych, głównie Fe, dr Michał Ślęzak zajmuje się w zasadzie od początku swojej kariery naukowej. Opis anizotropii i struktury domenowej, skorelowany z właściwościami strukturalnymi, zawarty w ocenianych pracach, został uzyskany dzięki zastosowaniu przez Habilitanta zróżnicowanych technik, w tym synchrotronowych (PEEM/XMCD/XMLD), które umożliwiły m.in. osiągnięcie wyższej rozdzielczości przestrzennej w porównaniu do stosowanych również technik magnetoptycznych. Należy zauważyć, że badania prowadzone były *in-situ*, co nie jest powszechnie stosowanym podejściem. Pozwala ono na unikalną, ciągłą rejestrację ewolucji właściwości próbek w czasie ich wzrostu, niepodlegających szkodliwemu oddziaływaniu atmosfery, co ma bardzo istotne znaczenie w przypadku struktur cienkowarstwowych, a także określenie subtelnego na nie wpływu zaadsorbowanych gazów resztkowych. Badane warstwy były również wykonane w kształcie klina, który dodatkowo pozwalał na określenie wpływu grubości tych warstw na zachowania magnetyczne. W kilku pracach obserwacje eksperymentalne były interpretowane przy wsparciu symulacji numerycznych, uwzględniających współczynniki anizotropii drugiego i czwartego rzędu. Każda z przedstawionych prac wnosi istotny wkład do wiedzy obejmującej właściwości cienkich warstw magnetycznych. Raportują one efekty kolejnych etapów badań, które razem tworzą logiczną całość tematyczną. Najciekawsze z przedstawionych wyników opisane są pokrótce poniżej.

W pracy [1] badano reorientację namagnesowania warstw Fe wywołaną zmianą temperatury lub grubości cienkich warstw epitaksjalnych Fe namagnesowanych w płaszczyźnie, osadzonych na monokryształach W(110) za pomocą X-PEEM. Pokazano, że mogą występować dwa rodzaje mechanizmów reorientacji namagnesowania pomiędzy kierunkami [1-10] i [001]. W przypadku obu czynników przejście zachodzi poprzez ruch ściany domenowej, prowadząc do struktury jednodomenowej. Natomiast w czasie zmiany temperatury dodatkowo występuje proces zarodkowania domen magnetycznych, który nie zawsze kończy się jednorodnym namagnesowaniem, prowadząc do współistnienia domen o przeciwnym kierunku namagnesowania. Zaobserwowano również słaby wpływ adsorpcji gazów resztkowych na ruch ścian domenowych.

Kolejny artykuł [2] ma charakter opisu możliwości badawczych linii pomiarowej PEEM zamontowanej przy synchrotronie Solaris w Krakowie. Jego obecność wśród ocenianych prac jest uzasadniona, bowiem Habilitant był mocno zaangażowany w budowę i uruchamianie tej linii pomiarowej, o czym wspominam w dalszej części niniejszej oceny. Pozycja ta jest niewątpliwie użyteczna dla osób, które planują prowadzić tego rodzaju pomiary na synchrotronie Solaris. Możliwości pomiarowe zostały zilustrowane wynikami pomiarów PEEM warstwy Fe (również w początkowej fazie wzrostu), na której osadzono odmienne pokrycia: wpływu wygrzewania na stechiometrię tlenu w warstwie Fe_3O_4 , precyzyjnego wyznaczenia grubości warstw Co, obrazowania domen magnetycznych, czy sprzężenia warstwy Fe z Co poprzez

przekładkę Au. Istotną zaletą techniki PEEM w połączeniu z dichroizmem kołowym jest możliwość selektywnego badania struktury domenowej i procesów przemagnesowania poszczególnych warstw składowych, czego nie oferuje standardowa magnetometria, rejestrująca całkowity sygnał z próbki.

W pracy [3] opisany jest zaskakująco silny wpływ pokrycia Co na anizotropię relatywnie grubej warstwy Fe. Już pokrycie submonoatomowe zmienia tę właściwość, a maksimum modyfikacji przypada dla ok. dwóch warstw atomowych Co. Efekt ten został zinterpretowany jako silna modyfikacja anizotropii powierzchniowej skorelowana ze stanem krystalograficznym pokrycia Co. Na przykładzie próbek dwuklinowych zilustrowano oscylacyjny charakter tej modyfikacji, skorelowany ze stopniem pokrycia warstwą Co. W ten sposób pokazano, że silne zmiany anizotropii magnetycznej warstw Fe mogą być indukowane submonoatomowymi wahaniem grubości przykrywki Co.

W wyniku kontynuacji tych badań powstała praca [4], w której analizowano wpływ bardziej złożonego pokrycia w postaci warstwy podwójnej Co/Fe na właściwości magnetyczne spodniej warstwy Fe. Dodatkowe pokrycie Fe nie wprowadziło istotnych zmian anizotropii magnetycznej w stosunku do pokrycia pojedynczą warstwą Co. Natomiast istotną wartością dodaną były obserwacje zmiany anizotropii pod wpływem adsorpcji gazów resztkowych: osłabienie lub wzmocnienie amplitudy piku oscylacji anizotropii. Wpływ gazów resztkowych widoczny był również w obszarze podwójnego pokrycia Co/Fe. Tym samym pokazano, że odpowiedni dobór grubości pokrycia Co/Fe umożliwia regulację czułości anizotropii magnetycznej na adsorpcję gazów.

Wpływ temperatury na anizotropię warstw Fe, przykrytych warstwą podwójną Co/Au, jest głównym motywem pracy [5]. Odwracalność tych zmian wyklucza efekt termicznych modyfikacji strukturalnych. Wsparcie eksperymentu symulacjami numerycznymi pozwoliło na wysnucie wniosku, że powierzchniowa anizotropia magnetyczna maleje ze wzrostem temperatury wolniej niż składowa objętościowa. Dość szczegółowo omówione zostały modyfikacje temperaturowe dwukrotnej reorientacji namagnesowania ze wzrostem grubości przykrycia Co. Pomimo że dwukrotna reorientacja jest bezpośrednim wynikiem oscylującej granicy faz w obrazowaniu (d_{Fe} , d_{Co}), aspekt ten, choć widoczny, nie był dyskutowany w dwóch wcześniejszych pracach [3, 4].

Pewna odmienność pracy [6] w stosunku do wcześniejszych wynika z wprowadzenia do badanego układu nowego jakościowo składnika – warstwy antyferromagnetycznej. Ten rodzaj materiału, choć znany od dawna, w ostatnim czasie wzbudził ponownie szerokie zainteresowanie licznych grup badawczych ze względu na nowe potencjalne zastosowania w elektronice. W ten nurt wpisuje się ostatnia z ocenianych prac. Pokazano w niej, że w układzie CoO/Fe (AFM/FM) należy brać pod uwagę modyfikacje anizotropii w AFM pod wpływem bliskości FM. Warstwa FM z silną anizotropią jednoosiową wpływa na orientację spinów w interfejsowej części AFM i zmienia jego oś łatwą, w konsekwencji modyfikując efekt wymiennej polaryzacji namagnesowania (ang.: *exchange bias*).

Oprócz prac habilitacyjnych wybranych do oceny Wnioskodawca jest współautorem 23 innych prac, z których część została opublikowana w renomowanych czasopismach wydawanych przez Amerykańskie Towarzystwo Fizyczne, takich jak *Phys. Rev. Lett.* (4 prace), *Phys. Rev. B* (3) i *Phys. Rev. Appl.* (1). W niektórych z tych prac udział Habilitanta był bardzo znaczący. Jest też współautorem rozdziału w monografii.

Należy podkreślić, że Wnioskodawca jest również pierwszym współautorem (z dominującym wkładem) artykułu opublikowanego w *Phys. Rev. B*, nie znajdującego się na liście ocenianych prac, choć dobrze wpisuje się w nurt podjętej tematyki habilitacyjnej. Praca ta poświęcona jest reorientacji namagnesowania ze składową prostopadłą do płaszczyzny warstwy w początkowym stadium wzrostu warstw Fe na monokryształ W(110). Badania zostały wykonane przy zastosowaniu techniki rezonansowego rozpraszania jądrowego. Pokazano, że niekolinearne uporządkowanie jest wywołane odstępstwem od idealnego wzrostu warstwa po warstwie Fe w początkowym stadium wzrostu.

Zadeklarowana w ankiecie całkowita liczba cytowań publikacji współautorstwa Habilitanta według bazy *Web of Science* wyniosła 163 (w tym 126 bez cytowań własnych), a indeks Hirscha osiągnął wartość 8.

Uzyskane wyniki, oprócz publikacji, były upowszechniane na konferencjach międzynarodowych. Habilitant osobiście wygłosił 10 referatów oraz zaprezentował 13 plakatów.

Działalność dydaktyczna, popularyzatorska i organizacyjna

Poza działalnością badawczą dr Michał Ślęzak może pochwalić się również aktywnością dydaktyczną i organizacyjną.

Był promotorem pracy magisterskiej Pauliny Cierniak, obronionej w roku 2010. W ostatnim okresie pełnił również rolę promotora pomocniczego pracy doktorskiej Piotra Drózdza. W ankiecie nie wspomniano o regularnej działalności dydaktycznej ze studentami, ale na stronie internetowej Wydziału znalazłem informację o prowadzeniu przez Wnioskodawcę ćwiczeń audytoryjnych z fizyki.

Dr Michał Ślęzak wykazał się bardzo dużą aktywnością organizacyjną. Brał udział w realizacji 8 projektów krajowych i europejskich jako wykonawca (w tym w jednym jako główny wykonawca, a w innym jako koordynator z ramienia AGH). Ponadto aktywnie uczestniczył w działaniach dwóch sieci badawczych Artmag i Spinlab, skupiających wiodące polskie ośrodki zajmujące się magnetyzmem struktur cienkowarstwowych. Był również zaangażowany w organizację 3 konferencji międzynarodowych odbywających się w Polsce. Dwukrotnie był poproszony o recenzję prac nadesłanych do czasopism o zasięgu międzynarodowym (*Journal of Magnetism and Magnetic Materials* oraz *Journal of Physics: Conference Series*).

Jednak niewątpliwie najistotniejszą aktywnością dra Michała Ślęzyka, bardzo pożyteczną dla szerokiej społeczności fizyków, była praca związana z uruchomieniem stanowisk pomiarowych z wykorzystaniem mikroskopów LEEM oraz PEEM/XMCD, zainstalowanego obecnie przy synchrotronie Solaris w Krakowie. Praca ta trwała

praktycznie przez cały okres od uzyskania doktoratu, była ona żmudna i nie dawała bezpośrednio wyników publikacyjnych. Obejmowała np. nadzór nad montażem linii pomiarowej i długotrwałe jej testy. Bez tych niezbędnych czynności uruchomienie wspomnianych pomiarów synchrotronowych nie byłoby możliwe.

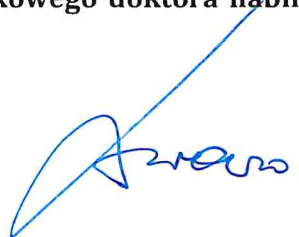
W początkowej fazie Wnioskodawca był odpowiedzialny za zaprojektowanie układów próżniowych dla obu mikroskopów LEEM i PEEM. Następnie brał udział w poszukiwaniu ośrodka synchrotronowego, w którym mikroskop PEEM mógłby być przetestowany. Po wyborze Swiss Light Source w Szwajcarii w czasie rocznego stażu poznawał tajniki różnych trybów pracy mikroskopu PEEM, a potem LEEM. Zdobyte doświadczenie wykorzystał po rozpoczęciu funkcjonowania synchrotronu Solaris do zainstalowania i uruchomienia tam mikroskopu PEEM. Brał również udział w akcji popularyzującej to urządzenie, wygłaszając referaty na międzynarodowych konferencjach. Obecnie jest jedną z osób odpowiedzialnych za eksploatację mikroskopu PEEM.

Opinia końcowa

Osiągnięcia naukowe Habilitanta po uzyskaniu stopnia doktora nauk fizycznych stanowią oryginalny i istotny wkład w badania właściwości magnetycznych cienkowarstwowych struktur. Przedstawione do oceny prace tworzą spójny opis wpływu różnorodnych pokryć warstwy Fe na jej anizotropię magnetyczną, adsorpcję gazów reszkowych i oddziaływań w obszarze interfejsu. W celu uzyskania zaprezentowanych wyników Habilitant posługiwał się zróżnicowanymi technikami badawczymi wykorzystującymi zjawiska optyczne, promieniowanie synchrotronowe i dyfrakcję elektronową. O naukowym dorobku Wnioskodawcy świadczą również pozostałe prace, których był współautorem, opublikowane w wysoko notowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Na szczególną uwagę zasługuje bardzo cenny i czasochłonny wkład Habilitanta w rozwój linii pomiarowej PEEM, zainstalowanej przy synchrotronie Solaris w Krakowie. Ta nowa technika badawcza jest obecnie użyteczna dla szerokiego grona naukowców zajmujących się badaniami właściwości fizycznych struktur cienkowarstwowych.

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe spełnia wszystkie wymagania ustawowe.

W kontekście powyższej oceny przedstawionego osiągnięcia uważam, że nadanie drowi Michałowi Ślęzakowi stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych jest uzasadnione.



prof. dr hab. Andrzej Wawro