

Prof. dr hab. Stefan Krompiewski
Instytut Fizyki Molekularnej PAN
ul. Mariana Smoluchowskiego 17
60-179 Poznań

Poznań, 6. 06. 2019 r.

Ocena osiągnięcia naukowego

„Wpływ otoczenia warstw ferromagnetycznych na anizotropię magnetyczną oraz oddziaływania wymienne”

**oraz dorobku naukowego, działalności dydaktycznej i
organizacyjnej dr. inż. Piotra Kuświka
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia naukowego
doktora habilitowanego**

Informacje o Habilitancie

Dr inż. Piotr Kuświk ukończył studia na wydziale Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej w 2006 r. Otrzymał stopień magistra inżyniera za pracę dyplomową pt. „Wytwarzanie cienkich warstw ZnTe i CdSe metodą impulsowego naparowania laserowego i zbadanie ich właściwości strukturalnych”. Doktoryzował się 5 lat później w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN na podstawie rozprawy doktorskiej zatytułowanej „Wpływ bombardowania jonowego na właściwości magnetyczne układów warstwowych $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$ ”. Promotorem doktoratu był prof. dr hab. Feliks Stobiecki, kierownik Zakładu Cienkich Warstw, w którym Habilitant pracował początkowo na stanowiskach fizyka a następnie (i do tej pory) – na stanowisku adiunkta. Pracował też dodatkowo na ½ etatu w Wielkopolskim Centrum Zawansowanych Technologii w latach 2013-2015. Dr inż. P. Kuświk odbył 15-miesięczny staż naukowy w *Max Planck Institute of Microstructure Physics* w Halle (2012-2013). Ponadto odbył kilkanaście staży naukowych trwających od tygodnia do kilku miesięcy, głównie we Francji i w Niemczech, ale także w Szwecji, Japonii i USA. Na podkreślenie zasługuje też fakt, że w latach 2017-2018 pełnił funkcję Zastępcy Dyrektora ds. Techniczno-Administracyjnych.

Ocena osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe udokumentowane jest zbiorem 7 publikacji (H1-H7) z lat 2015-2019. Publikacje te ukazały się w dobrych czasopismach o współczynnikach wpływu (IF) przekraczających 2, przy czym trzy z nich mają $IF > 3.5$ (2 x Phys. Rev. B i 1 x Nanomaterials). Wszystkie prace są wieloautorские. Liczba współautorów wynosi od 5 do 9, ale Habilitant jest zawsze pierwszym autorem i autorem korespondencyjnym sześciu z nich (H2-H7). Jego dominująca rola we wszystkich pracach potwierdzona została w oświadczeniach współautorów, którzy deklarują udział: w ściśle określonych pomiarach, w procesie wytwarzania niektórych próbek, lub też w interpretacji wyników i redagowaniu publikacji.

Poniżej przedstawiam krótkie omówienie prac H1-H7.

- Praca H1 poświęcona jest badaniu wpływu nakładki, w postaci cienkiej antyferromagnetycznej warstwy CoO, na prostopadłą anizotropię ferromagnetycznej warstwy Ni osadzonej epitaksjalnie na podłożu Pd(001). Autor pokazuje, że w sytuacji gdy temperatura, w której przeprowadzane są pomiary jest niższa od temperatury Néela antyferromagnetyka występuje efekt EB (*exchange bias*). Jak wynika z Fig.1(b), dla $T=5K$, obserwowana niesymetryczność pętli histerezy wzgl. zerowego pola magnetycznego wynosi $H_{EB}=100$ Oe (niewiele w porównaniu z koercją H_C rzędu 1500 Oe), natomiast zarówno pole koercji jak i remanencja ulegają znacznemu zwiększeniu dzięki obecności antyferromagnetyka.
- Innego typu warstwy antyferromagnetyczne użyte zostały w pracy H2. Użyto tu mianowicie warstwy przykrywającej NiO i dwuwarstwowej kombinacji CoO/NiO w kontakcie z niklem. Uzyskane rezultaty wskazują na możliwość sterowania anizotropią (orientacją namagnesownia) za pomocą temperatury i składu poszczególnych podwarstw co jest obiecujące z punktu widzenia możliwych zastosowań w spintronice.
- W pracy H3 zbadano polikrystaliczne układy warstwowe NiO/Co. Pokazano, że również w tym wypadku może występować anizotropia magnetyczna w kierunku prostopadłym do warstwy i to w szerszym zakresie grubości Co niż w referencyjnym układzie Au/Co/Au. Co więcej obserwowany efekt EB, dla odpowiednio wybranej grubości warstwy kobaltu, okazał się znacznie wyraźniejszy niż dla wspomnianej wyżej warstwy epitaksjalnej.
- Kwestia powstawania prostopadłej anizotropii i identyfikacji związanych z tym oddziaływań została również zbadana w przypadku amorficznej warstwy ferromagnetycznej $Co_{20}Fe_{60}B_{20}$ umieszczonej między warstwami złota (praca H4). Istotnym rezultatem tej pracy jest pokazanie, że uzyskuje się prostopadłą anizotropię bez konieczności obróbki cieplnej, oraz że dzięki niskiej wartości współczynnika tłumienia Gilberta powstaje możliwość przełączania kierunku spinów za pomocą spinowo spolaryzowanego prądu.
- W pracach H5 i H7 Autor zbadał oddziaływanie typu Dzialoshinskii-Moriya (DM) w polikrystalicznych warstwach, składających się z centralnej kobaltowej warstwy ferromagnetycznej w niesymetrycznym otoczeniu warstw Au i NiO. Jak pokazano w pracy H2, w układzie takim występuje oddziaływanie EB na interfejsie Co/NiO i indukowana jest prostopadła do warstwy magnetyczna anizotropia jednoosiowa. Z

obserwacji ruchu ścian domenowych w obecności równoległego i prostopadłego do warstwy pola magnetycznego wyznaczono, za pomocą PMOKE (polarnego magnetoptycznego efektu Kerra), wartość parametru oddziaływania DM i powiązano jego ujemny znak ze skrętnością (chiralnością) domen. Rezultat ten jest zgodny z wynikami szczegółowej analizy procesu przemagnesowywania przeprowadzonej w pracy H7, gdzie - stosując metodę zaproponowaną przez Hana [ref. 45 w autoreferacie] - Habilitant zbadał matrycę złożoną ze 156 strukturyzowanych trójkątnych warstw i na podstawie analizy procesu przemagnesowania stwierdził obecność silnego ujemnego oddziaływania DM o zbliżonej wartości do wyznaczonego inną metodą w pracy H5.

- W pracy H6 zbadano możliwość przemagnesowania warstw Au/Co/NiO poprzez bombardowanie jonami Ga^+ i He^+ . Otrzymano interesujące rezultaty wskazujące na możliwość zmiany kierunku prostopadłej anizotropii magnetycznej poprzez bombardowanie w polu magnetycznym. Zbadano też próbki z podwarstwą Co w kształcie klina, co umożliwiło ilościową ocenę obserwowanego przemagnesowania w zależności od grubości przekładki kobaltowej (wyznaczono wartości pola EB w funkcji grubości). Zagadnieniem bombardowania jonowego w innym kontekście Habilitant zajmował się w swojej pracy doktorskiej. Jak widać zastosowanie tej techniki badawczej do bieżącej problematyki okazało się dobrym pomysłem.

Przedłożone prace są spójne tematycznie, gdyż dotyczą własności fizycznych magnetycznych układów warstwowych w zależności od ich składu, grubości poszczególnych podwarstw, stanu interfejsów i wynikających stąd dominujących oddziaływań i anizotropii. Wiele uwagi poświęca się oddziaływaniu „exchange bias” (EB), na określenie którego nie przyjął się dotąd żaden termin w języku polskim (może anizotropia wymiany, lub za francuskim *polarisation d'échange* - po prostu polaryzacja wymiany?). Oddziaływanie Dzialoshinskiego-Moriya też zostało gruntownie zbadane. Habilitant zastosował odpowiednie techniki pomiarowe do zbadania tych oddziaływań i z powodzeniem powiązał je z obserwowaną strukturą magnetyczną i anizotropią w badanych układach. Materiały te obejmują szeroką gamę układów warstwowych, począwszy od epitaksjalnych warstw magnetycznych poprzez polikrystaliczne aż do amorficznych. Szczególnie istotne w tych badaniach jest zwrócenie uwagi, na rolę interfejsów ferromagnetyk/antyferromagnetyczny tlenek, które determinują anizotropię prostopadłą i umożliwiają jej kontrolę za pomocą temperatury i jonowego bombardowania. Na podkreślenie zasługuje też ściśle powiązanie obserwowanych struktur domenowych z oddziaływaniem DM i wykazanie braku wyraźnego wpływu na nie przez oddziaływanie EB.

Ocena dorobku naukowego i działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Dr inż. P. Kuświk zainteresował się problematyką cienkich warstw już w trakcie wykonywania pracy magisterskiej na Politechnice Poznańskiej i podczas pobytu, w ramach programu Sokrates, na Uniwersytecie Nauk Stosowanych w Wildau koło Berlina. W okresie tym badał głównie własności mechaniczne warstw półprzewodnikowych. Tematyka ta ustąpiła miejsca tematyce magnetycznych układów warstwowych w momencie rozpoczęcia studiów doktoranckich w IFM PAN w Zakładzie Cienkich Warstw. Kandydat prowadził głównie badania mikrostruktury interfejsu Au/Co i związanej z nią anizotropii prostopadłej. W badaniach tych wykorzystywał, wspominaną już wcześniej metodę jonowego bombardowania. Po doktoracie, prowadzone były pomiary dotyczące m.in. prostopadłej anizotropii, pętli histerezy i zjawiska gigantycznego magnetooporu w ramach otrzymanego grantu „Juventus Plus 2011”. Badania te zaowocowały publikacją 7 prac w dobrych

czasopismach naukowych, a ponadto w okresie tym dr inż. P. Kuświk z powodzeniem pełnił rolę promotora pomocniczego doktoranta z Zakładu.

Inne, godne odnotowania osiągnięcia Habilitanta to:

- Uzyskanie grantu wewnętrznego od Dyrektora IFM PAN na numeryczne symulacje uzupełniające prowadzone eksperymenty.
- Udział w 7 grantach w charakterze wykonawcy (5 grantów MNiSW i 2 NCN).
- Owocna współpraca z grupą prof. J. Dubowika dotycząca badania sieci kagome metodą FMR i wytwarzania strukturyzowanych warstw YIG.
- Pełnienie funkcji opiekuna pomocniczego doktoranta realizującego grant NCN Sonata-Bis na temat własności układów warstwowych ziemia rzadka/metal przejściowy.
- Udział w zgłoszeniu patentowym na temat czujnika pola magnetycznego wykorzystującego warstwę grafenową (współpraca z Politechniką Poznańską i Wielkopolskim Centrum Zaawansowanych Technologii w Poznaniu).

Swoje osiągnięcia naukowe dr inż. P. Kuświk prezentował na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych. Jak podano w załączniku nr 4, było wiele prezentacji konferencyjnych, w tym 5 na zaproszenie, 9 innych ustnych, oraz 10 wykładów w jednostkach naukowych krajowych (7 razy) i zagranicznych (3 razy). Ponadto odnotować należy 7 konferencyjnych prezentacji plakatowych przed doktoratem i 6 po doktoracie. Za swoją działalność naukową Kandydat był wielokrotnie nagradzany. Otrzymał nagrody m.in. od Wydziału III PAN (2012) i 3 razy od Dyrektora IFM PAN (2010, 2011, 2012), oraz następujące stypendia: START FNP dla młodych uczonych (2012), dla młodych badaczy z poznańskiego środowiska naukowego (2011) i stypendium Prezesa PAN (2007-2010).

Parametry scjentometryczne Habilitanta są dobre, ma 45 publikacji wykazanych w *Web of Science*. Współczynnik Hirscha wynosi obecnie 9 (8 w momencie składania dokumentacji), a ilość cytowań – 190 (134 bez autocytatów). Liczba cytowań wzrasta dynamicznie w ostatnich latach co dowodzi zwiększającej się aktywności naukowej Kandydata i atrakcyjności jego tematyki badawczej. Za lata **2016, 2017, 2018 i do końca maja 2019 r.** liczba cytatów wynosi odpowiednio: **15, 32, 27 i 27**.

Od roku 2014 dr inż. P. Kuświk jest aktywnym członkiem komitetu organizacyjnego konferencji *The European Conference Physics of Magnetism*. Koordynuje też działania sieci *The SpinTronicFactory* w imieniu IFM PAN. Inne formy jego aktywności naukowo-organizacyjnej to członkostwo w:

- (i) Komitecie Fizyki PAN (od lutego 2017),
- (ii) Radzie Naukowej IFM PAN (kadencja 2015-2018),
- (iii) Akademii Młodych Uczonych PAN (2017- 2021).

Poza tym, jak zaznaczono w *Informacjach o Habilitancie*, był on dyrektorem ds. techniczno-administracyjnych w latach 2017-2018.

Habilitant prowadził także zajęcia dydaktyczne w ramach kursu „Wybrane metody doświadczalne fizyki fazy skondensowanej” dla słuchaczy Międzynarodowego Studium Doktoranckiego w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu (semestry zimowe 2017/2018, 2018/2019). Prowadził też laboratorium specjalistyczne w IFM PAN dla magistranta z Wydziału Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej (semestry zimowe 2016/2017 i 2017/2018).

Na uznanie zasługuje też bardzo duże zaangażowanie Habilitanta w pracę z młodymi fizykami. Opiekował się siedmioma praktykantami i sześcioma magistrantami, przy czym w dwóch przypadkach był promotorem (w pozostałych przypadkach promotorem był prof. dr hab. F. Stobiecki). Był też promotorem pomocniczym w jednym, zakończonym w 2016 r. doktoracie, a obecnie jest opiekunem pomocniczym w trzech toczących się przewodach doktorskich.

Podsumowanie

W świetle dokonanej oceny, stwierdzam że wyniki uzyskane w ramach omawianego osiągnięcia naukowego stanowią istotny wkład do wiedzy na temat własności magnetycznych układów warstwowych z jednozwrotową prostopadłą anizotropią. Nie ulega wątpliwości, że problematyka habilitacji jest ważna i aktualna, z jednej strony ze względu na zastosowania praktyczne dotyczące m.in. wytwarzania nowych materiałów do magnetycznego zapisu i pamięci magnetycznej oraz czujników pola magnetycznego, z drugiej zaś ze względów poznawczych (wyjaśnienie wpływu oddziaływań EB i DM na powstawanie anizotropii i struktury domenowej układów warstwowych, jak również interesujące nawiązania do 'bardzo gorącej' problematyki *skyrmionów* i pamięci typu *racetrack*).

Habilitant posiada wartościowy dorobek naukowy i wykazuje się wyjątkowo dużą aktywnością naukowo-organizacyjną. Jego działalność dydaktyczna również zasługuje na pozytywną ocenę.

Biorąc to wszystko pod uwagę jestem przekonany, że spełnione są w pełni kryteria oceny stawiane kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk fizycznych i wnoszę o dopuszczenie dr. inż. Piotra Kuświka do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



Stefan Krompiewski

WPEŁNĘŁO DO DZIAŁU NAUKOWO-ORGANIZACYJNEGO IFM PAN
2019 -06- 0 6
Podpis 