

OPINIA

o dorobku naukowym, dydaktycznym i organizacyjnym
dr inż. Piotra Kuświka
w związku z ubieganiem się o nadanie stopnia doktora habilitowanego

A) Ocena rozprawy habilitacyjnej

Rozprawa habilitacyjna dr inż. Piotra Kuświka zatytułowana „**Wpływ otoczenia warstw ferromagnetycznych na anizotropię magnetyczną oraz oddziaływania wymienne**” wskazana jako osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 pkt 2 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. z późniejszymi zmianami, jest jedno-tematycznym zbiorem siedmiu artykułów w recenzowanych czasopismach naukowych znajdujących się na liście Journal Citation Reports, opublikowanych przez Habilitanta w latach 2015-2019:

[1] P.Kuświk, P.L.Gastelois, M.M.Soaes, H.C.N.Tolentino, M.De Santis, A.Y.Ramos, A.D.Lamirand, M.Przybylski, J.Kirschner, Effect of CoO/Ni orthogonal exchange coupling on perpendicular anisotropy of Ni films on Pd(001), Phys. Rev. B 91 (2015) 134413,

[2] P.Kuświk, P.L.Gastelois, H.Głowiński, M.Przybylski, J.Kirschner, Impact of orthogonal exchange coupling on magnetic anisotropy in antiferromagnetic oxides/ferromagnetic systems, J. Phys. Condens. Matter 28 (2016) 425001,

[3] P.Kuświk, B.Szymański, B.Anastaziak, M.Matczak, M.Urbaniak, A.Ehresmann, F.Stobiecki, Enhancement of perpendicular magnetic anisotropy of Co layer in exchange biased Au/Co/NiO/Au polycrystalline system, J. Appl. Phys. 119 (2016) 215307,

[4] P.Kuświk, H.Głowiński, E.Coy, J.Dubowik, F.Stobiecki, Perpendicularly magnetized $\text{Co}_{20}\text{Fe}_{60}\text{B}_{20}$ layer sandwiched between Au with low Gilbert damping, J. Phys. Condens. Matter 29 (2017) 435803,

[5] P.Kuświk, M.Matczak, M.Kowacz, K.Szuba-Jabłoński, N.Michalak, B.Szymański, A.Ehresmann, F.Stobiecki, Asymmetric domain wall propagation caused by interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in exchange biased Au/Co/NiO layered system, Phys. Rev. B 97 (2018) 024404,

[6] P.Kuświk, A.Gaul, M.Urbaniak, M.Schmidt, J.Aleksiejew, A.Ehresmann, F.Stobiecki, Tailoring Perpendicular Exchange Bias Coupling in Au/Co/NiO Systems by Ion Bombardment, Nanomaterials 8 (2018) 813,

[7] P.Kuświk, M.Matczak, M.Kowacz, F.Lisiecki, F.Stobiecki, Determination of the Dzyaloshinskii-Moriya interaction in exchange biased Au/Co/NiO systems, J. Magn. Magn. Mater. 472 (2019) 29.

Przedstawiają one wyniki badań układów cienkich warstw składających się z ferromagnetycznej warstwy metalicznej sąsiadującej z warstwami niemagnetycznego metalu i/lub antyferromagnetycznego tlenku.

W publikacji [1] badany jest wpływ ortogonalnego sprzężenia wymiennego pomiędzy antyferromagnetycznym CoO i ferromagnetycznym Ni/Pd(001) na anizotropię prostopadłą warstwy Ni. Zakres grubości przy których ta warstwa wykazuje taką anizotropię daje się zwiększyć dzięki naniesieniu na niej warstwy CoO, jednak tylko dla temperatur niższych od temperatury Néela CoO. W niskich temperaturach dla układu CoO/Ni/Pd zaobserwowano również efekt polaryzacji wymiennej w kierunku prostopadłym do powierzchni warstw.

Publikacja [2] przedstawia wyniki badań wpływu sprzężenia wymiennego w międzywierzchni układu niklu i antyferromagnetycznego tlenku. Pokazano w niej, że to sprzężenie może być wykorzystane nie tylko do „przyszpilenia” momentu warstwy ferromagnetycznej, ale również do wspomagania anizotropii dla uzyskania kierunku łatwego magnesowania prostopadłego do płaszczyzny warstw. Występowanie tego efektu tylko poniżej T_N wszystkich użytych tlenków magnetycznych o istotnie różniących się anizotropiach pokazuje, że dodatkowy wkład do efektywnej anizotropii prostopadłej pochodzi od ich antyferromagnetyzmu.

Praca [3] dotyczy prostopadłego efektu polaryzacji wymiennej w układzie NiO/AFM/Co/FM. Stwierdzono w niej, że warstwa NiO wymusza prostopadłą orientację momentu warstwy Co dla znacznie większego zakresu grubości, niż w przypadku układu Au/Co/Au. Jednocześnie zaobserwowano wysoką koercję i znaczną prostopadłą polaryzację wymienną pochodzącą od sprzężenia międzywarstwowego, wzmacniającą anizotropię prostopadłą warstwy kobaltowej.

W publikacji [4] badane były właściwości cienkiej warstwy CoFeB pod kątem zastosowań w urządzeniach spintronicznych, w szczególności bazujących na zjawisku „spin transfer torque”. Taka warstwa umieszczona między warstwami MgO, Pt, Pd, Ta, W wykazuje anizotropię prostopadłą. W pracy pokazano, że może to dotyczyć również układu Au/CoFeB/Au, który wykazuje słaby efekt pompowania spinowego, a więc i słabe tłumienie, co jest korzystne dla zastosowań. Zaobserwowano również, że takie właściwości można dla niego osiągnąć bez wygrzewania.

Praca [5] przedstawia wyniki badań oddziaływania Działoszyńskiego-Moriyi w układzie warstwowym Au/Co/NiO. Pokazano w niej, że ono tutaj występuje i nie zależy od makroskopowego kierunku międzywarstwową polaryzacji wymiennej. Określono jego wielkość na podstawie badań zależności pomiędzy grubością warstwy ferromagnetycznej i asymetryczną propagacją ścian domenowych w polu magnetycznym przyłożonym w płaszczyźnie warstwy i prostopadle do niej. Stwierdzono, że zaobserwowana prawoskrętność jest związana z silnym ujemnym oddziaływaniem Działoszyńskiego-Moriyi, które jest niezależne od kierunku międzywarstwową polaryzacji wymiennej. Pokazano również, że w tym układzie warstwowym ruch domen może być precyzyjnie sterowany zmiennymi polami magnetycznymi, co może być przydatne w zastosowaniach bazujących na indukowanych polem domenach i ich ruchu, szczególnie w układach, gdzie wymagana jest polaryzacja wymienna.

W pracy [6] dla układu Au/Co/NiO z prostopadłą anizotropią warstwy kobaltowej badany był wpływ bombardowania jonowego na efekt polaryzacji wymiennej. Stwierdzono,

że jego wielkość zależy od strumienia jonów, a znak może zostać odwrócony, jeżeli jest ono prowadzone w polu przyłożonym w przeciwnym kierunku, niż podczas nanoszenia warstw. Wyniki eksperymentalne dają się opisać w modelu dwupoziomowym i pokazują, że sprzężenie dające efekt polaryzacji wymiennej w układach warstwowych z anizotropią prostopadłą może być „dostrajane” bombardowaniem jonowym.

Publikacja [7] przedstawia badania wielkości i znaku oddziaływania Działoszyńskiego-Moriya dla warstwowego układu Au/Co/NiO w oparciu o badania metodą konwencjonalnej magnetometrii PMOKE. Zastosowane podejście pokazuje, że takie określenie jest możliwe również dla układów w których występuje polaryzacja wymienna. Stwierdzono, że oddziaływanie Działoszyńskiego-Moriya w Au/Co/NiO jest silnie ujemne i nie zależy od zwrotu sprzężenia dającego polaryzację wymienną.

Przedstawione w tych pracach wyniki kompleksowych badań dostarczają nowych informacji o właściwościach układów cienkowarstwowych z prostopadłą anizotropią magnetyczną, przy obecności międzywarstwowego oddziaływania Działoszyńskiego-Moriya i polaryzacji wymiennej. Pokazują również, że takie materiały mogą być wykorzystane w wielu zastosowaniach, na przykład do zapisu informacji. Dotyczy to zwłaszcza układów z warstwami tlenków metali przejściowych 3d, dla których możliwe są stabilne konfiguracje skyrmionów przy temperaturze otoczenia, a także kreacja i anihilacja skyrmionów polem elektrycznym, co dawałoby możliwość ograniczenia energii potrzebnej do zapisu i przetwarzania informacji. Jest to bardzo ważny kierunek badań prowadzonych obecnie w wiodących ośrodkach naukowych na świecie.

Współczynniki wpływu IF (ang. Impact Factor) prac stanowiących rozprawę habilitacyjną zawierają się pomiędzy 2 (praca [3] z Journal of Applied Physics), a 3,8 (praca [5] z Physical Review B), dając bardzo dobry wynik średni - ponad 3 na jedną publikację. We wszystkich siedmiu pracach doktor Kuświk jest pierwszym autorem, a w sześciu z nich (z wyjątkiem pierwszej) jest również autorem korespondencyjnym. Te dwa fakty oraz załączone oświadczenia współautorów pozwalają stwierdzić, że **dr inż. Piotr Kuświk ma dominujący udział w powstaniu wszystkich publikacji przedstawionych jako Jego osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 16 pkt 2 Ustawy.** Biorąc pod uwagę przeanalizowane powyżej osiągnięcia naukowe zawarte w przedstawionym zbiorze publikacji stwierdzam, że stanowią one znaczny wkład Habilitanta w poznanie **wpływu otoczenia warstw ferromagnetycznych na anizotropię magnetyczną, oddziaływania wymienne oraz dynamikę procesu przemagnesowania w układach cienkowarstwowych** składających się z ferromagnetycznej warstwy metalicznej sąsiadującej z warstwami niemagnetycznego metalu i/lub antyferromagnetycznego tlenku.

B) Ocena osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej.

Pan Piotr Kuświk rozpoczął działalność naukową już w czasie studiów magisterskich, biorąc udział w badaniach cienkich warstw półprzewodnikowych na Politechnice Poznańskiej, a także, jako stypendysta programu Sokrates, na Uniwersytecie w Wildau, w Niemczech. Jest współautorem dwóch publikacji z tego okresu. W czasie swoich studiów doktoranckich Instytucie Fizyki Molekularnej PAN, które odbywał pod opieką naukową

prof. Feliksa Stobieckiego brał intensywny udział w badaniach naukowych, co zaowocowało dziewięcioma publikacjami. Jego rozprawa doktorska dotyczyła wpływu bombardowania jonowego na właściwości magnetyczne układów warstwowych $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$. Wykazał w niej, że zanik anizotropii prostopadłej „subwarstw” kobaltu jest związany ze zmianami mikrostruktury międzywierzchni. Zaprezentował też dwie nowe metody strukturyzacji magnetycznej z wykorzystaniem bombardowania jonowego, dające uporządkowane struktury magnetyczne o wysokich gęstościach oraz pozwalające uzyskać gradient pola koercji umożliwiające kontrolowanie ruch ścian domenowych na dużych odległościach. Otrzymane wyniki, opublikowane w renomowanym *Physical Review Letters*, mogą być wykorzystane na przykład w transportowaniu nanocząstek magnetycznych użytych jako nośniki molekuł, przeciwciał, czy innych obiektów, w procesach biologiczno-chemicznych, w biomedycynie, czy w biotechnologii.

Po otrzymaniu stopnia doktora Habilitant kontynuował badania dotyczące wytwarzania gradientu pola koercji w układach warstwowych z prostopadłą anizotropią magnetyczną, na które uzyskał grant „Iuventus Plus” z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Dotyczyły one procesów przemagnesowania warstw kobaltu z uwzględnieniem oddziaływania międzywarstwowego i były wspierane mikromagnetyczną analizą symulacyjną. Wyniki tych badań zostały opublikowane w kilku pracach w czasopismach naukowych o międzynarodowym zasięgu oraz zostały zawarte w rozprawie doktorskiej, w której Habilitant był promotorem pomocniczym. Dr Kuświk pracował także nad praktycznymi zastosowaniami badanych materiałów jako czujników pola magnetycznego oraz do transportowania nanocząstek magnetycznych. Oprócz układów z kobaltem badał również zagadnienia mikromagnetyzmu i anizotropii magnetycznej warstw Fe/MgO .

Innym zagadnieniem naukowym, którym zajmował się Habilitant, jest dynamika magnetyczna układów cienkowarstwowych. Były to badania struktur Kagome wytwarzanych metodą litografii elektronowej, prowadzone w zespole prof. Janusza Dubowika. Oprócz prowadzenia analiz symulacyjno-teoretycznych jako odniesienia do wyników badań rezonansu ferromagnetycznego, wykonał także opracowanie technologii litografii elektronowej i bezmaskowej litografii optycznej. Posłużyło ono do otrzymywania układów o niskim tłumieniu magnetycznym dla przyszłościowych zastosowań w urządzeniach logicznych wykorzystujących propagację fal spinowych lub przepływ prądów spolaryzowanych spinowo. Brał również udział w badaniach cienkich warstw SmB_6 i multiferroicznego $\text{Gd}_2(\text{MoO}_4)_3$.

Warto podkreślić, że oprócz wkładu naukowego w powstanie prac z powyższej tematyki, dr Kuświk ma duży udział w opracowaniu, bądź adaptacji technologii wytwarzania tych zaawansowanych materiałów oraz w samej ich preparatyce. Brał udział we wdrożeniu certyfikatu ISO 9001 w zakresie wytwarzania cienkich warstw i układów warstwowych z fazy gazowej. Jest także współautorem zgłoszenia patentowego nr P.416781 na grafenowy detektor pola magnetycznego o wysokiej czułości, które jest efektem Jego współpracy z Politechniką Poznańską i z Wielkopolskim Centrum Zawansowanych Technologii.

Dorobek i aktywność naukowa doktora Kuświka już w 2015 roku znalazły uznanie recenzentów i komisji Narodowego Centrum Nauki, które przyznało Mu grant SONATA-BIS na utworzenie nowego zespołu badawczego pod jego kierownictwem. W ramach tego grantu prowadzi badania ferrimagnetycznych układów wielowarstwowych Tb/Co i Tb/Fe

sprzężonych z ferromagnetycznymi wielowarstwami Au/Co przez przekładkę Au. Grubości tych wielowarstw składowych są tak dobierane, aby uzyskać prostopadłą anizotropię magnetyczną. W opublikowanej z tej tematyki w Scientific Reports w roku 2018 pracy Habilitanta zostały przedstawione możliwości i warunki kontrolowania pola przełączania warstwy ferromagnetycznej w funkcji grubości przekładki i warstw składowych oraz wielkości względnej momentów warstwy Tb i metalu 3d.

Habilitant opublikował łącznie 39 prac (w tym 30 po uzyskaniu stopnia doktora), dla których suma współczynników wpływu IF podanych w Journal Citations Report wynosi 104 (po doktoracie 88), a łączna liczba cytowań według bazy Web of Science, to 168, w tym 118 bez autocytowań. Indeks Hirscha jego prac ma wartość 8. Według klasyfikacji Web of Science Categories 24 z nich (52%) mieści się w „Physics Applied”, 19 (41%) w “Materials Science Multidisciplinary”, 14 (30%) w “Physics Condensed Matter”, 6 (13%) w “Physics Multidisciplinary” i po 5 (10%) w “Nanoscience Nanotechnology” i “Engineering Electrical Electronic”. Cytowane są w 83 publikacjach (53%) kategorii „Physics Applied”, 60 (41%) “Materials Science Multidisciplinary”, 53 (37%) “Physics Condensed Matter”, 19 (13%) “Physics Multidisciplinary” i 17 (12%) “Nanoscience Nanotechnology”. Dr Kuświk jest również współautorem rozdziału w wydanej za granicą książce oraz trzech publikacji w wydawnictwach spoza listy Journal Citations Report.

Uznanie dla wysokiego poziomu badań naukowych prowadzonych przez doktora Kuświka znalazło swój wyraz w zaproszeniach do wygłoszenia wykładów na konferencjach międzynarodowych i krajowych. Takich wykładów wygłosił pięć, w tym na Energy Materials Nanotechnology Meetings w Dubrowniku i Orlando, na BIT's 4th Annual Congress of Nanoscience and Nanotechnology w Quindao oraz na Nanotech Poland w Poznaniu. W swoim dorobku ma także sześć innych prezentacji ustnych na konferencjach, szkołach i warsztatach naukowych oraz dziesięć wykładów w jednostkach naukowych zagranicznych i krajowych. Wyniki swoich badań przedstawił także w 20 prezentacjach plakatowych i jest współautorem 76 takich prezentacji przedstawionych przez inne osoby.

Osiągnięcia Habilitanta były wielokrotnie wyróżniane między innymi stypendiami i nagrodami. Wśród uzyskanych przez Niego stypendiów jest między innymi stypendium START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej, Stypendium Prezesa Polskiej Akademii Nauk oraz Stypendium Rządu Francuskiego na miesięczny pobyt naukowy w CNRS-Thales. Wśród zdobytych nagród są: Nagrody Dyrektora IFM PAN za pracę naukową i za wyróżnioną rozprawę doktorską oraz Nagroda Naukowa Wydziału III PAN im. Stefana Pieńkowskiego.

Dr inż. Piotr Kuświk ma bogate doświadczenie w pozyskiwaniu i kierowaniu grantami krajowymi i międzynarodowymi. Były to projekty Iuventus Plus Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, projekt MNiSW i Deutsche Akademische Austausch Dienst oraz wspomniany wyżej prestiżowy projekt NCN SONATA BIS. Uczestniczył także, jako wykonawca, w realizacji siedmiu innych projektów krajowych i międzynarodowych finansowanych przez NCN, MNiSW i DAAD oraz w projektach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, współfinansowanych przez Komisję Europejską: „Krajowe Centrum Nanostruktur Magnetycznych do Zastosowań w Elektronice Spinowej” (SPINLAB) i „Wielkopolskie Centrum Zaawansowanych Technologii” (WCZT).

Habilitant brał udział w pracach komitetów organizacyjnych międzynarodowych i krajowych konferencji naukowych, w tym w The European Conference Physics of

Magnetism - dwukrotnie oraz w Polish Scientific Networks: Science Technology jako współprzewodniczący Komitetu Programowego. Uczestniczył również w pracach komisji oceniającej referaty przedstawione na Forum Młodych Naukowców. Działal także jako koordynator sieci naukowej „The SpinTronicFactory” w IFM PAN. Był członkiem Rady Naukowej IFM PAN, a obecnie jest członkiem Komitetu Fizyki PAN oraz Akademii Młodych Uczonych PAN.

Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski doktora Kuświka obejmuje między innymi prowadzenie zajęć dla słuchaczy Międzynarodowego Studium Doktoranckiego w IFM PAN na temat metod badania powierzchni, prowadzenie laboratorium specjalistycznego w IFM PAN w ramach współpracy z Wydziałem Fizyki Technicznej Politechniki Poznańskiej, opiekę nad stażystami/praktykantami (7 osób), współ-opiekę nad magistrantami (4 osoby) oraz samodzielną opiekę nad pracą inżynierską i magisterską. Był też promotorem pomocniczym w jednym, już zakończonym, przewodzie doktorskim, a obecnie jest opiekunem pomocniczym trzech doktorantów.

Swoje doświadczenie naukowe Habilitant intensywnie wzbogacał w czasie pobytów w innych ośrodkach naukowych Europy, Japonii i USA, w tym na tak zwanych „wielkich urządzeniach badawczych” w laboratoriach synchrotronowych w MAX-LAB Lund, ESRF Grenoble, Helmholtz-Zentrum Berlin i SOLARIS Kraków. Były to w większości jedno- lub dwutygodniowe pobyty, związane głównie z prowadzonymi na tych urządzeniach we współpracy międzynarodowej eksperymentami. Dłuższe staże odbył w NINSI Okazaki i CNRS/Thales Palaiseau (po 1 miesiącu), na Technische Hochschule w Wildau (6 miesięcy), na Uniwersytecie w Kassel (kilka wizyt, łącznie ponad 5 miesięcy) i Max-Planck Institut für Mikrostruktur w Halle, gdzie przebywał 15 miesięcy na stażu po-doktorskim.

Dr inż. Piotr Kuświk był recenzentem renomowanych wydawnictw naukowych, takich jak Elsevier, APS, czy IEEE. Recenzował prace dla dziewięciu czasopism, w tym dla tak prestiżowych, jak Physical Review Letters, Physical Review B, Applied Surface Science, czy Nuclear Instruments and Methods in Physics Research.

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej analizę osiągnięć naukowo-badawczych, dorobku dydaktycznego i popularyzatorskiego oraz współpracy międzynarodowej dr inż. Piotra Kuświka, a także Jego omówione wcześniej osiągnięcia stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej stwierdzam, że spełniają one znakomicie wymagania ustawowe na stopień doktora habilitowanego.

