

Ocena prac stanowiących jednotematyczny cykl publikacji będący podstawą osiągnięcia habilitacyjnego z tytułu „Badania dyfrakcyjne cienkowarstwowych struktur magnetycznych przeznaczonych do zastosowań w elektronice spinowej” oraz dorobku naukowego dra inż. Jarosława Kanaka

Dr inż. Jarosław Kanak jest zawodowo ściśle związany z Katedrą Elektroniki Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, w szczególności z renomowaną grupą kierowaną przez profesora Tomasza Stobieckiego. Prof. Stobiecki był promotorem jego pracy magisterskiej i doktorskiej. Pracę magisterską pt. „*Symulacja komputerowa dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na metalicznych supersieciach*” dr Kanak obronił w roku 2000, a pracę doktorską pt. „*Dyfrakcja rentgenowska na układach wielowarstwowych – metody pomiaru i modele*” obronił z wyróżnieniem w roku 2006. Praca ta została również wyróżniona dyplomem w konkursie o nagrodę im. Janusza Groszkowskiego za najlepsze prace dyplomowe i doktorskie z dziedziny próżni wykonane w roku 2006.

Jak wskazują tytuły pracy magisterskiej i doktorskiej oraz tematyka prac zgłoszonych jako osiągnięcie habilitacyjne, od 20 lat zajmuje się on głównie badaniem właściwości strukturalnych cienkich warstw i wielowarstw metalicznych. Jest to tematyka bardzo ważna, gdyż bez dokładnej znajomości struktury badanych układów nie można właściwie interpretować zjawisk fizycznych w nich obserwowanych, ani optymalizować ich właściwości magnetycznych i transportowych pod kątem zastosowań. W badaniach prowadzonych przez dr. Kanaka, chociaż mają one charakter podstawowy, bardzo istotny jest wątek zastosowań tych struktur w spintronice. Tematykę tych badań można uznać za bardzo ważną i aktualną.

Podstawą postępowania habilitacyjnego jest cykl dwunastu prac naukowych opublikowanych w latach 2007 – 2019 w następujących czasopismach:

- jedna praca w Physical Review Applied, IF (Impact Factor) = 4.782
- jedna praca w Scientific Reports IF = 4.122
- jedna praca w Journal of Alloys and Compounds, IF = 3.779
- jedna praca w Applied Physics Letters, IF = 3.411
- dwie prace w Journal of Applied Physics, IF = 2.185
- trzy prace w IEEE Transactions on Magnetism, IF = 1.277
- dwie prace w Physica Status Solidi A, IF = 1.214,

- jedna praca w Vacuum, IF = 1.114.

Osiem prac to prace oryginalne („niekonferencyjne”), opublikowane w bardzo dobrych lub dobrych czasopismach, a cztery prace (H1-3, H5) to prace konferencyjne, opublikowane w dobrych regularnych czasopismach.

W pięciu publikacjach (H1, H2, H3, H4, H6) dr Kanak jest pierwszym autorem, w dwóch (H5, H11) drugim, a 5 pracach (H7, H8, H9, H10, H12) zajmuje dalszą pozycję na liście współautorów (przy niealfabetycznej kolejności). Analizując oświadczenia dr. Kanaka oraz współautorów prac można uznać jego wiodący wkład (pomysł badań, zaplanowanie i wykonanie pomiarów, analiza wyników i wiodący wkład w napisanie artykułu) w przypadku 6 prac H1-4, H6, H11) oraz jego bardzo istotny wkład w powstanie pracy H5. Te prace należy uznać za trzon osiągnięcia habilitacyjnego. W przypadku pozostałych 5 prac (H7-10 i H12) dr Kanak nie odgrywał wiodącej roli, jednak jego udział był dobrze określony. Do kwestii, na ile włączenie tych prac do osiągnięcia habilitacyjnego jest uzasadnione, odniosę się w dalszej części recenzji. Prace zgłoszone jako osiągnięcie habilitacyjne były cytowane przez innych autorów łącznie 90 razy, można więc zdecydowanie uznać, że zostały zauważone i docenione przez środowisko naukowe zajmujące się podobną tematyką.

Omówienie prac składających się na osiągnięcie habilitacyjne

W autoreferacie dr Kanak podzielił prace składające się na osiągnięcie habilitacyjne na trzy grupy (podział taki jest jak najbardziej logiczny i merytorycznie uzasadniony), mianowicie:

(I) prace H1 i H4, w których badane są supersieci Co/Pt i Co/Pt/IrMn wykazujące odpowiednio, magnetyczną anizotropię prostopadłą i prostopadłe sprzężenie „exchange bias” (jednokierunkową anizotropię indukowaną oddziaływaniami wymiennymi),

(II) prace H2, H3, H5, H6 i H11, poświęcone badaniom magnetycznego złącza tunelowego i pseudozaworu spinowego z anizotropią magnetyczną w płaszczyźnie oraz prace H7-8, poświęcone badaniom magnetycznego złącza tunelowego z anizotropią magnetyczną prostopadłą,

(III) prace H9, H10 i H12, w których badane są układy z silnym oddziaływaniem spin-orbita, wykazujące spinowy efekt Halla.

Jeśli chodzi o prace z grupy (I), to: ad H1 – dr Kanak zaprojektował i sam wytworzył badane wielowarstwy stosując cztery różne rodzaje buforów oraz przeprowadził badania magnetyczne i oczywiście szczegółowe badania strukturalne. W pracy sformułowano ważny wniosek: ustalono jakie bufory i dlaczego pozwalają na otrzymanie prostopadłej anizotropii

magnetycznej oraz małej dyspersji barier energetycznych dla termicznie aktywowanej zmiany kierunku namagnesowania, określono również mechanizm przełączania kierunku namagnesowania. Praca H4 poświęcona jest badaniu zjawiska „exchange bias”, które jest bardzo istotne ze względu na to, że jest wykorzystywane z powodzeniem w zastosowaniach m. in. w technologiach zapisu i odczytu informacji w komputerach. Dr Kanak ma w tej pracy także wiodący udział (podobny jak w pracy H1). Wystąpienie efektu „exchange bias” w badanym układzie było możliwe dzięki nałożeniu warstwy antyferromagnetycznej IrMn. W pracy pokazano (i jest to ważny wynik), jaki jest związek pomiędzy szorstkością międzypowierzchni, teksturą warstw składowych i anizotropią magnetyczną, a wartością pola exchange bias, H_{EB} . Na marginesie, nie jest dla mnie jasne, jak było wyznaczane pole H_{EB} , czy obserwowano zależność od pola magnetycznego, w którym chłodzony był badany układ, czy obserwowano tzw. training effect (zależność wartości H_{EB} od liczby cykli pętli histerezy)? W obydwu pracach pokazano, że odpowiedni dobór warstw buforowych pozwala kontrolować efektywną anizotropię magnetyczną oraz magnetyczne sprzężenie wymienne pomiędzy warstwami.

Druga grupa prac: w pracach H2-3 pokazano, w jaki sposób poprzez dobór warstw buforowych oraz warstw tworzących złącze można wpływać na szorstkości powierzchni, magnetyczne sprzężenia międzywarstwowe oraz prąd tunelowania w magnetycznym złączu tunelowym o strukturze zaworu spinowego. Na pewno są to ważne wyniki. W tych pracach udział dr. Kanaka jest również zdecydowanie dominujący (pomysł, wykonanie badanych układów, badania strukturalne, przeprowadzenie pomiarów magnetorezystancji tunelowej, przygotowanie publikacji).

Ad prace H5-6 i H11: w pracach tych badano magnetyczne złącze tunelowe o strukturze zaworu spinowego z warstwą antyferromagnetyczną przylegającą do warstwy ferromagnetycznej (co powoduje wystąpienie zjawiska exchange bias na międzypowierzchni) oraz struktury typu pseudozaworu spinowego. W pracy H5 (wcześniejszej) dr Kanak nie był pomysłodawcą badań, jednak jego wkład (zaplanowanie badań, wykonanie badanych układów, przeprowadzenie pomiarów strukturalnych) był bardzo istotny, z kolei w pracy H6 wkład dr. Kanaka był dominujący (on był pomysłodawcą badań i ich głównym wykonawcą). Późniejsza praca H11 stanowi ciekawe i ważne uzupełnienie prac H5-6, wykorzystano w niej, z inicjatywy dr. Kanaka, pomiary NMR (metody lokalnej) do wsparcia interpretacji wyników badań strukturalnych prowadzonych metodami rentgenowskimi. Główny wynik pracy H5 to wykazanie, że przez odpowiedni dobór warstwy buforowej można istotnie zwiększyć wartość tunelowego magnetooporu (od 200 do 290%). Praca H6 jest kontynuacją pracy H5, w pracy tej przedstawiono m. in. pomiary AFM

powierzchni warstw buforowych oraz przeprowadzono symulacje struktury na międzypowierzchni. Za ważny wynik tej pracy uważam opracowanie realistycznych modeli teoretycznych, których przewidywania były zgodne z wynikami doświadczalnymi badań struktury krystalicznej. Praca H11 zawiera istotne uzupełnienie badań strukturalnych (dyfrakcyjnych) dzięki przeprowadzeniu pomiarów metodą NMR. Pozwoliło to na określenie jak ewoluuje struktura warstwy CoFeB – od amorficznej do krystalicznej po odpowiednim wygrzaniu.

Siedem prac omówionych powyżej stanowi w mojej ocenie trzon osiągnięcia habilitacyjnego, otrzymano w nich ważne wyniki, a rola dr. Kanaka była wiodąca. Poniżej omówię pozostałe prace składające się na osiągnięcie habilitacyjne.

Jeśli chodzi o prace H7-8, to powstały one w ramach współpracy dr. Kanaka z niemiecką firmą SINGULUS Technologies A.G. Dzięki temu mógł on badać właściwości strukturalne układów wielowarstwowych nanoszonych na maszynach produkujących pamięci M-RAM. Uważam podjęcie takiej współpracy za bardzo celowe, a jednocześnie świadczące o wysokiej renomie grupy prof. Stobieckiego i kompetencjach dr. Kanaka. Otrzymane wyniki wskazują, jak optymalizować złącza tunelowe z anizotropią prostopadłą charakteryzujące się małą gęstością prądu krytycznego i dużą wartością współczynnika stabilności termicznej (H7) oraz pozwalają na określenie roli warstw buforowych we wzroście warstw aktywnych magnetycznie (H8), to ważne rezultaty.

Ostatnia grupa prac (H9-10, H12) związana jest z badaniem struktur o silnym sprzężeniu oddziaływaniem spin-orbita, wykazujących spinowy efekt Halla. Publikacja H9 powstała we współpracy z Spintronics Research Center, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology w Tsukubie. Oczywiście na temat tej współpracy należy zrobić analogiczny komentarz, jak w przypadku współpracy z firmą SINGULUS. Wyniki otrzymane w tej pracy – stwierdzenie na podstawie badań układu W/CoFeB, że struktura metalu ciężkiego i zjawiska na międzypowierzchni metal ciężki/ferromagnetyk silnie wpływają na dynamikę oddziaływań spinowo-orbitalnych było impulsem do powstania prac H10 i H12, w których badano układy z innymi metalami ciężkimi: Ta i Pt. W tych pracach wkład dr. Kanaka polegał na przeprowadzeniu badań strukturalnych (H9) lub współpracy w zaprojektowaniu i optymalizacji badanych układów oraz pomiarach strukturalnych (H10 i H12). Badania strukturalne pokazały, że na międzypowierzchni metal ciężki/ferromagnetyk następuje silne wymieszanie dyfuzyjne, które zwiększa sprzężenie spin-orbita, co powoduje zwiększenie wartości efektywnego spinowego kąta Halla.

Podsumowując, wysoko oceniam wyniki prac składających się na osiągnięcie habilitacyjne. Mam pewien niedosyt – wśród publikacji, w których dr Kanak jest wiodącym autorem brakuje mi pracy klasy Physical Review lub APL. Niedosyt ten kompensuje w dużym stopniu fakt dosyć licznych cytowań prac opublikowanych w czasopismach o mniejszym „impact factor”. Widzę celowość uwzględnienia prac inspirowanych współpracą z firmami, mimo że w tych pracach rola dr. Kanaka nie była wiodąca. Prace te stanowią cenne uzupełnienie pozostałych prac i dobrze wpisują się w tematykę osiągnięcia habilitacyjnego zatytułowanego: *„Badania dyfrakcyjne cienkowarstwowych struktur magnetycznych przeznaczonych do zastosowań w elektronice spinowej”*.

Ocena dorobku naukowego, organizacyjnego i dydaktycznego

Dorobek naukowy dr. Kanaka, zgodnie z bazą Web of Science (styczeń 2020) , jest obszerny, składa się z 46 publikacji. Prace te były cytowane 242 razy (197 razy bez autocytowań, indeks Hirscha = 9. Średnia liczba cytowań na pracę jest stosunkowo niska (5,26), w ostatnich latach widać jednak bardzo szybki wzrost liczby cytowań prac, których jest on współautorem. Po uzyskaniu doktoratu dr Kanak był współautorem 20 prac (poza pracami wchodzącymi w skład osiągnięcia habilitacyjnego) opublikowanych w większości w renomowanych czasopismach. Warto podkreślić, że w roku 2019, już po złożeniu dokumentacji habilitacyjnej, ukazały się jeszcze 3 prace jego współautorstwa w bardzo dobrych czasopismach (w Physical Review Applied, Physical Review Materials i Journal of Electronic Materials). Biorąc to pod uwagę, oceniam dorobek naukowy dr. Kanaka zdecydowanie pozytywnie.

Dr Kanak wygłosił sześć prezentacji ustnych na krajowych konferencjach/sympoziach. Wygłosił także seminaria w renomowanych ośrodkach zagranicznych (Trinity College Dublin, Austrian Research Centers, Wiedeń, Aalto University, Finlandia)

Dr Kanak aktywnie uczestniczył w działalności dydaktycznej na AGH. Między innymi prowadził, w czasie studiów doktoranckich, ćwiczenia laboratoryjne dla studentów Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Od 2000 r. do chwili obecnej prowadzi ćwiczenia rachunkowe i laboratoria „Fizyka I” i „Fizyka II” dla studentów kierunków Elektronika i Telekomunikacja, Elektronika, Teleinformatyka, Automatyka i Robotyka, Inżynieria Akustyczna, Informatyka Stosowana, Elektrotechnika, Metalurgia. Dwukrotnie (w roku 2010 i 2019) prowadził laboratoria Physics II dla studentów Electronics & Telecommunications w języku angielskim. Opracował też szereg materiałów dydaktycznych dla studentów. Był promotorem 2 prac magisterskich i 2 prac inżynierskich na Wydziale Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH.

Brał także udział w popularyzacji nauki w czasie Małopolskiej Nocy Naukowców oraz Festiwalu Nauki i Sztuki w Krakowie. Dr Kanak kieruje Laboratorium Badań Strukturalnych w Katedrze Elektroniki AGH, które od 2013 roku posiada Certyfikat Akredytacji Laboratorium Badawczego.

Dr Kanak w latach 2013-16 kierował projektem SONATA BIS (NCN) zatytułowanym „*Struktura krystaliczna, modele oraz własności magnetoelektryczne układów wielowarstwowych nanoelektroniki spinowej*”. Projekty typu SONATA BIS umożliwiają stworzenie własnego zespołu, są więc dobrym przygotowaniem do samodzielności naukowej. Warto podkreślić, że projekty tego typu jest dosyć trudno otrzymać. Dr Kanak brał udział w czterech projektach międzynarodowych, w dwóch projektach krajowych był głównym wykonawcą, a w siedmiu projektach NCN wykonawcą.

W trakcie przygotowywania doktoratu odbył on roczny staż na Uniwersytecie Bielefeld w Niemczech. Odbył też czteromiesięczny staż na Uniwersytecie Trinity College w Dublinie. Wielokrotnie odwiedzał też renomowane ośrodki zagraniczne (pobyty 6-2 tygodniowe lub krótsze).

Otrzymał trzykrotnie indywidualną Nagrodę Rektora Akademii Górniczo-Hutniczej za osiągnięcia naukowe, a czterokrotnie był laureatem takiej zespołowej nagrody. Dwukrotnie otrzymał na międzynarodowych konferencjach nagrodę za najlepszą prezentację plakatową.

W podsumowaniu stwierdzam, że oceniając łącznie prace stanowiące jednotematyczny cykl publikacji będących podstawą postępowania habilitacyjnego i dorobek naukowy dr. Jarosława Kanaka, uznaję że w pełni spełnione są wymagania określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wniosuję z pełnym przekonaniem o nadanie dr. Kanakowi stopnia naukowego doktora habilitowanego. Uważam, że ma on potrzebne predyspozycje, żeby jako samodzielny pracownik naukowy stworzyć własny zespół badawczy z ciekawą tematyką i zostać promotorem prac doktorskich.