

Dr hab. Ryszard Zdyb, prof. UMCS  
Instytut Fizyki  
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej  
Pl. M. Curie-Skłodowskiej 1  
20-031 Lublin

Lublin, 17.01.2020

## **Ocena osiągnięcia naukowego pt. *Badania dyfrakcyjne cienkowarstwowych struktur magnetycznych przeznaczonych do zastosowań w elektronice spinowej* oraz ocena dorobku naukowego dr. inż. Jarosława Kanaka**

### **Informacje wprowadzające**

Dr inż. Jarosław Kanak od początku swojej kariery naukowej jest związany z Akademią Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie. Jest jej absolwentem - studia ukończył na kierunku fizyka techniczna na Wydziale Fizyki i Techniki Jądrowej. Pracę magisterską pt. *Symulacja komputerowa dyfrakcji promieniowania rentgenowskiego na metalicznych supersieciach* wykonał pod kierunkiem prof. dr. hab. Tomasza Stobieckiego. Doktorat w dyscyplinie nauk fizycznych został nadany przez Radę Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w 2006 roku na podstawie rozprawy *Dyfrakcja rentgenowska na układach wielowarstwowych – metody pomiaru i modele*. Promotorem pracy doktorskiej był prof. dr hab. Tomasz Stobiecki. Po uzyskaniu stopnia doktora rozpoczął pracę na stanowisku asystenta na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki. Aktualnie dr Kanak jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Elektroniki na Wydziale Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH.

### **I. Ocena osiągnięcia naukowego**

#### **I.1. Ogólna charakterystyka**

Przedstawionym do oceny osiągnięciem naukowym w rozumieniu art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki jest cykl dwunastu artykułów. Wszystkie publikacje są tematycznie ze sobą powiązane. Dotyczą badań strukturalnych wielowarstwowych układów metalicznych z wyraźnym ukierunkowaniem na potencjalne aplikacje w spintronice.

Prace, oznaczone w Autoreferacie jako [H1] do [H12], zostały opublikowane w dobrych międzynarodowych periodykach w latach 2007 – 2019. Są to: *Physical Review Applied* (IF $\approx$ 4.8), *Scientific Reports* (IF $\approx$ 4.1), *Journal of Alloys and Compounds* (IF $\approx$ 3.8), *Applied*

Physics Letters (IF $\approx$ 3.4), Journal of Applied Physics (x 2; IF $\approx$ 2.2), IEEE Transactions on Magnetism (x 3; IF $\approx$ 1.1), Vacuum (IF $\approx$ 1.1), Physica Status Solidi A (x 2; IF $\approx$ 1.2).

Wszystkie publikacje są wieloautorskie z liczbą autorów zawierającą się w przedziale od trzech do czternastu. Lista autorów nie jest alfabetyczna. W pięciu pracach dr Kanak jest pierwszym autorem, w dwóch – drugim. Wkład dr. Kanaka do wszystkich publikacji, również tych wchodzących w skład osiągnięcia naukowego, został przedstawiony przez autora w postaci procentowej i opisowej. Dr Kanak określił swój udział w artykułach stanowiących osiągnięcie naukowe na: 75% [H1], 85 % [H2], 85% [H3], 90% [H4], 60 % [H5], 80 % [H6], 30% [H7], 35% [H8], 15% [H9], 35% [H10], 55% [H11], 30% [H12]. Oświadczenia podane przez współautorów określają ich wkład w sposób opisowy.

Procentowe oświadczenia o autorskim wkładzie do publikacji często budzą różnego rodzaju wątpliwości. Tak jest również w tym przypadku. Na przykład biorąc pod uwagę publikację [H4], w której dr Kanak deklaruje 90% udziału w jej powstaniu, na podstawie oświadczeń współautorów zauważamy również ich istotny wkład. I tak prof. Sebastian van Dijken, który nadzorował pomiary magnetyczne i osobiście przeprowadził część pomiarów SQUID, napisał również artykuł („My contribution was: supervising magnetic measurements, performing a part of the SQUID measurements, writing of the manuscript”). Jak wynika z informacji zamieszczonych na końcu omawianej publikacji prof. Sebastian van Dijken jest też autorem korespondencyjnym.

Inny przykład dotyczy dotyczący publikacji [H2] i [H3], dla których autor deklaruje swój udział w wysokości 85% w każdej z nich. Obie prace mają dodatkowo po czterech współautorów, co oznacza, że na każdego z nich przypada średnio poniżej 4%. W publikacji [H7] zadeklarowany udział dr. Kanaka wynosi 30%, ale w tym przypadku mamy trzynastu współautorów. Daje to średnio około 5% wkładu do artykułu od każdego z pozostałych trzynastu współautorów.

Przedstawione przykłady procentowego oszacowania wkładu do publikacji świadczą o niełatwej i z natury rzeczy bardzo subiektywnej tak wyrażanej ocenie, która niekoniecznie dobrze oddaje faktyczny stan.

Z kolei biorąc pod uwagę opisowy udział dr. Kanaka w każdej z przedstawionych w osiągnięciu prac łatwo zauważyć, że w połowie z nich jest pomysłodawcą, zaplanował badania, przygotował próbki (rozpylanie katodowe, litografia optyczna), przeprowadził pomiary różnymi technikami (XRD, XRR, AFM, SQUID, MFM, pomiary magnetooporu, MOKE), opracował i analizował otrzymane wyniki. W pozostałych publikacjach, poza wykonywaniem części z wyżej wspomnianych pomiarów, brał także udział w analizie wyników otrzymanych przez współautorów innymi metodami doświadczalnymi. Opracował również teoretyczny model symulacji profili dyfrakcyjnych. Jest też głównym redaktorem czterech artykułów.

Biorąc pod uwagę tę formę oświadczeń o udziale w publikacjach oraz zaprezentowane w artykułach wyniki pomiarów, można jasno wywnioskować, że wkład dr. Kanaka do przedstawionych publikacji jest co najmniej znaczący i jest oryginalnym wkładem autora do dyscypliny naukowej.

Według bazy Web of Science artykuły stanowiące osiągnięcie naukowe były cytowane 102 razy (80 bez autocytowań). Do najczęściej cytowanych prac należą: [H10] – 21/2 (wszystkie cytowania/autocytowania), [H4] – 17/3, [H5] – 13/1, [H7] – 12/4, [H9] – 11/2.

Warto zauważyć, że najczęściej cytowana praca ([H10]) została opublikowana w Scientific Reports całkiem niedawno - w 2017 roku. Stosunkowo duża liczba cytowań prac tworzących osiągnięcie naukowe świadczy o wadze poruszanej problematyki i zainteresowaniu międzynarodowego środowiska.

## I.2 Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawione osiągnięcie naukowe jest syntezą części badań prowadzonych przez dr. Kanaka i dotyczy charakterystyki struktury krystalograficznej magnetycznych układów warstwowych. W szczególności habilitant stara się wyjaśnić wpływ struktury krystalograficznej i morfologii powierzchni warstw buforowych na wzrost, morfologię i właściwości magnetyczne osadzanych na buforze kolejnych warstw. W związku z potencjalnymi zastosowaniami wytwarzanych układów warstwowych jako elementów spintronicznych dr Kanak zmierza również w kierunku opracowania procedur badawczych z wykorzystaniem techniki XRD mających na celu określenie przydatności wielowarstwowych struktur w urządzeniach spintronicznych na etapie ich wytwarzania. Połączenie badań podstawowych z potencjalnymi zastosowaniami w przemyśle elektronicznym/spintronicznym z pewnością dodaje wartości osiągnięciu naukowemu.

Artykuły tworzące osiągnięcie naukowe można podzielić na trzy grupy związane z prezentowanymi heterostrukturami, zjawiskami, elementami spintronicznymi. Publikacje [H1, H4] dotyczą wielowarstw ze sprzężeniem *exchange bias* i magnetyczną anizotropią prostopadłą do powierzchni, artykuły [H2, H3, H5, H6, H7, H8, H11] są związane z heterostrukturami tworzącymi magnetyczne złącza tunelowe, a prace [H9, H10, H12] dotyczą układów, w których występuje spinowy efekt Halla.

W pierwszej grupie artykułów ([H1] i [H4]) badane są wielowarstwy Pt/Co, które wykazują prostopadłą anizotropię magnetyczną, a dodatkowo w kontakcie z antyferromagnetykiem – sprzężenie *exchange bias*. Obie prace są ważne w kontekście wzajemnych relacji pomiędzy efektywną anizotropią a polaryzacją wymienną. Publikacja [H1] przedstawia wpływ warstwy buforowej na morfologię osadzanych kolejnych warstw i tym samym m. in. na anizotropię magnetyczną. Druga praca zawiera kompleksowe badania wpływu bufora i morfologii rosnących na nim warstw na związek pomiędzy anizotropią magnetyczną a sprzężeniem *exchange bias*. Obserwowane zmniejszenie sprzężenia *exchange bias* przy jednoczesnym wzroście efektywnej anizotropii magnetycznej jest najważniejszym wynikiem tej pracy. Zjawisko to związane z wielkością kryształitów, gładkością międzypowierzchni i stopniem tekstury warstwy. Jest to niezwykle ważny wynik, ponieważ stwarza możliwość sterowania zależnością pomiędzy dwoma bardzo istotnymi z punktu widzenia aplikacji parametrami charakteryzującymi magnetyczne właściwości wielowarstwowych układów. Tym samym umożliwia projektowanie elementów spintronicznych o nowych właściwościach.

W pracach [H2, H3, H5, H6, H7, H8, H11] habilitant zajmuje się szczegółowymi badaniami dotyczącymi wpływu warstwy buforowej lub/i warstwy przykrywającej na właściwości magnetycznych złączy tunelowych. Dr Kanak przedstawia możliwości kontrolowanej optymalizacji wartości parametrów magnetycznych i elektrycznych rozważanych zaworów spinowych np. magnetooporu (TMR), sztywności magnetycznej układu, współczynnika tłumienia, prądu krytycznego i innych, poprzez przygotowanie

odpowiedniej warstwy buforowej oraz zastosowanej procedury wygrzewania. Nie ogranicza się przy tym do prostych stwierdzeń o poprawie tych parametrów ale bada również przyczyny obserwowanych zmian. Do najważniejszych należy morfologia międzypowierzchni i struktura krystalograficzna wytwarzanych warstw. Przykładowo w pracach [H6] i [H11] prowadzi szczegółową analizę wpływu obróbki termicznej warstw CoFeB na wartości TMR. Obserwowane różnice wyjaśnia powstawaniem krystalitów o różnych orientacjach pod wpływem odpowiedniej obróbki cieplnej. Wnioski wynikające z eksperymentów są dodatkowo poparte symulacjami profili natężenia XRD.

Warto podkreślić, że habilitant bada m. in. warstwy buforowe np. Ta/Ru i ferromagnetyczne elektrody CoFeB, które są stosowane w przemyśle elektronicznym wykorzystującym najnowsze osiągnięcia nauki w tej dziedzinie. Wynika to m.in. z faktu współpracy z firmą zajmującą się produkcją elementów spintronicznych.

W pracach [H9], [H10] i [H12] habilitant zajmuje się wielowarstwami złożonymi z ferromagnetyka i metalu ciężkiego. W tego typu układach realizowany jest spinowy efekt Halla (SEH). Badania koncentrują się na wpływie jakości wytwarzanych warstw i międzypowierzchni m. in. na efektywny spinowy kąt Halla. W artykule [H9] potwierdzono, że istnienie fazy alfa w warstwach W powoduje zanik SEH. Stwierdzono również, że wzrost sprzężenia spin-orbita wywołany wzrostem chropowatości międzypowierzchni ciężki metal/ferromagnetyk i wynikający z wzajemnej dyfuzji atomów obu warstw, zwiększa efektywny spinowy kąt Halla i ma duży wpływ na dynamikę magnetyzacji w warstwie ferromagnetycznej.

Przeprowadzone przez dr. Kanaka badania metalicznych wielowarstw z pewnością przyczyniły się do zrozumienia wpływu struktury krystalograficznej i morfologii wytwarzanych warstw i ich międzypowierzchni na właściwości magnetyczne badanych układów. Tym samym wnoszą istotny wkład w rozwój nauk fizycznych, a przedstawiony do oceny jednotematyczny cykl publikacji jest osiągnięciem naukowym umożliwiającym ubieganie się o stopień doktora habilitowanego.

## **II. Ocena dorobku naukowego**

Dr Jarosław Kanak jest autorem/współautorem czterdziestu siedmiu artykułów opublikowanych w renomowanych, międzynarodowych czasopismach ujętych w bazie Journal Citation Reports (JCR). Osiem artykułów ukazało się przed doktoratem. Z pozostałych trzydziestu dziewięciu, dwanaście tworzy osiągnięcie naukowe. Poza pracami omówionymi w części dotyczącej osiągnięcia naukowego są to artykuły opublikowane m. in. w Physical Review Materials, Physical Review Applied, Journal of Applied Physics, Materials Characterization, Journal of Physics D: Applied Physics, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Journal of Synchrotron Radiation, Optical Materials. Jest to duży zestaw artykułów opublikowanych w solidnych czasopismach.

Dr Kanak jest również współautorem dziesięciu publikacji oraz trzech rozdziałów w książkach, które nie są ujęte w bazie JCR. Indeks Hirscha habilitanta wynosi 9. Prace z bazy JCR były

cytowane ponad 230 razy i ponad 180 razy bez uwzględnienia autocytowań (według bazy Web of Science, styczeń 2020).

Habilitant wygłosił dziesięć referatów na konferencjach, w tym cztery przed doktoratem. Zadziwia brak wystąpień ustnych na międzynarodowych konferencjach po uzyskaniu stopnia doktora. Pewnego rodzaju rekompensatą tego niedociągnięcia są referaty (pięć) w renomowanych ośrodkach zagranicznych, m. in. w Trinity College Dublin. Poza wygłoszonymi referatami habilitant był również autorem osiemnastu wystąpień plakatowych, w tym trzynastu na konferencjach międzynarodowych oraz współautorem siedemdziesięciu innych plakatów.

O ile brak referatów na międzynarodowych konferencjach budzi oczywisty niedosyt, to liczba projektów międzynarodowych (cztery) i krajowych (dziesięć), w których habilitant brał udział jako wykonawca lub główny wykonawca, jest imponująca. Należy podkreślić, że był również kierownikiem jednego z projektów (SONATA BIS), co wciąż nie jest częstym przypadkiem wśród habilitantów.

Bardzo ważnym składnikiem działalności naukowej są zagraniczne staże. Na tym polu dr Kanak również wykazuje się ponadprzeciętną aktywnością. Uczestniczył w jedenastu stażach i wizytach od krótkich, przez kilkumiesięczne i jeden roczny. Pracował w laboratoriach w Niemczech, Francji, Irlandii, Portugalii, Austrii, Holandii i Finlandii.

Wśród innej działalności naukowej należy wymienić recenzowanie artykułów w Journal of Applied Physics i Physica Status Solidi oraz uczestnictwo w zespole Magnetycznych Układów Wielowarstwowych i Elektroniki Spinowej Katedry Elektroniki AGH, będącym partnerem konsorcjum w projekcie SPINLAB.

### **III. Inne osiągnięcia niebędące przedmiotem oceny**

Warto podkreślić, że dr Kanak bierze czynny udział w kształceniu studentów - prowadzi zajęcia rachunkowe (ćwiczenia) i laboratoria oraz opracował szereg materiałów dydaktycznych. Był promotorem dwóch prac inżynierskich i dwóch prac magisterskich. Uczestniczy również w popularyzowaniu nauki – m.in. wielokrotnie prezentował laboratoria podczas Małopolskiej Nocy Naukowców.

### **Podsumowanie**

Przedstawione w jednotematycznym cyklu osiągnięcia naukowe oceniam jako wystarczające i spełniające wymagania stawiane przez Ustawę. Podobnie dorobek naukowy uzyskany po otrzymaniu stopnia doktora jest wystarczający w stosunku do wymagań stawianych kandydatom do stopnia naukowego doktora habilitowanego. Tym samym wnoszę o dopuszczenie dr. inż. Jarosława Kanaka do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.



