



**INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

Prof. dr hab. Marta Wolny-Marszałek
ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków
tel. +48 12 6628323
e-mail: Marta.Marszalek@ifj.edu.pl

Kraków, 29.12.2022 r.

Recenzja

**w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr.
Bivasovi Rana
w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne**

Przebieg pracy naukowej i zawodowej

Dr Bivas Rana wykształcenie zawodowe w dziedzinie nauk fizycznych zdobył w Indiach w Uniwersytecie Vidyasagar (licencjat, 2007 r.) oraz w Indyjskim Instytucie Technologicznym w Delhi (magisterium, 2009 r.). Stopień doktora nauk fizycznych uzyskał w roku 2014 w University of Calcutta. Stopień ten był nostryfikowany w roku 2021 przez Wydział Fizyki, Uniwersytetu w Białymstoku. Po uzyskaniu stopnia doktora pracował w multidyscyplinarnym japońskim instytucie badawczym RIKEN w Japonii jako kolejno pracownik naukowy (03/2014 – 06/2014), stażysta podoktorski (07/2014 – 07/2018) oraz badacz (08/2018 – 03/2021) w grupie prof. YoshiChika Otaniego. Od lutego 2021 roku zatrudniony jest jako adiunkt na Wydziale Fizyki, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Ocena osiągnięcia habilitacyjnego

Recenzowany wniosek habilitacyjny oceniony jest pod kątem spełnienia kryteriów określonych w art. 219 ust. 1 pkt. 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z uwzględnieniem art. 179 ust. 6 pkt 2 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę- Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce.

Jako osiągnięcia naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego dr Bivas Rana przedstawił cykl siedmiu wieloautorskich publikacji objętych wspólnym tytułem „*Urządzenia magnoniczne działające w oparciu o anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem*” wymienionych poniżej zgodnie z numeracją przyjętą w autoreferacie:

[H1] **B. Rana**, Y. Fukuma, K. Miura, H. Takahashi, and Y. Otani, “*Effect of excitation power on voltage induced local magnetization dynamics in an ultrathin CoFeB film*”, *Sci. Rep.* 7 (2017) 2318.

[H2] **B. Rana**, Y. Fukuma, K. Miura, H. Takahashi, and Y. Otani, “*Excitation of coherent propagating spin waves in ultrathin CoFeB film by voltage-controlled magnetic anisotropy*”, *Appl. Phys. Lett.* 111 (2017) 052404.

[H3] **B. Rana** and Y. Otani, “*Voltage-controlled reconfigurable spin wave nanochannels and logic devices*”, *Phys. Rev. Applied* 9 (2018) 014033.

[H4] S. Choudhury, A. K. Chaurasiya, A. K. Mondal, **B. Rana**, K. Miura, H. Takahashi, Y. Otani and A. Barman, “*Voltage controlled on demand magnonic nanochannels*”, *Sci. Adv.* 6 (2020) eaba5457.

[H5] **B. Rana**, S. Choudhury, K. Miura, H. Takahashi, A. Barman and Y. Otani, “*Electric field control of spin waves in ultrathin CoFeB films*”, *Phys. Rev. B* 100 (2019) 224412.

[H6] **B. Rana**, C. A. Akosa, K. Miura, H. Takahashi, G. Tatara and Y. Otani, “*Nonlinear control of damping constant by electric field in ultrathin ferromagnetic films*”, *Phys. Rev. Applied* 14 (2020) 014037.

[H7] **B. Rana**, K. Miura, H. Takahashi and Y. Otani, “*Underlayer material dependent symmetric and asymmetric behavior of voltage-controlled magnetic anisotropy in CoFeB films*”, *J. Phys. Condens. Matter* 32 (2020) 414002.

Wszystkie prace wchodzące w skład osiągnięcia dotyczą anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem w urządzeniach magnonicznych stanowiąc cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Ze względu na fakt, że prace te powstały w okresie reformowania prawnych regulacji dotyczących nauki cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach naukowych częściowo ujęty jest w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. B ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym, częściowo zaś w części A wykazu czasopism naukowych ustalonego na podstawie przepisów wydanych na podstawie art. 44 ust. 2 ustawy obowiązującej do 1. 10. 2018 roku. Wyżej wymienione artykuły pochodzą z lat 2017-2020, a wszystkie czasopisma, w których zostały opublikowane spełniają wymogi ustawowe, co pozwala formalnie zaliczyć cykl jako osiągnięcie habilitacyjne.

Wśród tytułów czasopism dominują pozycje wielodyscyplinarne o wysokim impakt faktorze zaliczane w bazie Web of Science do nauk fizycznych. Czasopisma stanowiące podstawę osiągnięcia habilitacyjnego kandydata są wysoko oceniane również przez MEiN. Na szczególną uwagę zasługuje praca opublikowana w *Science Advances* (200 pkt. MEiN). Pozostałe prace zostały opublikowane w równie wysoko punktowanych czasopismach (140 pkt. MEiN) : dwie w *Physical Review Applied*, jedna w *Physical Review B* i jedna w *Scientific Reports*. Wymienić tu jeszcze należy pracę wydaną w *Applied Physics Letters* (100 pkt. MEiN) oraz w *Journal of Condensed Matter* (70 pkt. MEiN). Artykuły te, w dniu sporządzania wniosku cytowane były 125 razy, a z wyłączeniem autocytowań około 50 razy.

Prace powstały podczas działalności naukowej dr. Rana w wysoko cenionej na świecie grupie badawczej prof. YoshiChika Otaniego w multidyscyplinarnym japońskim instytucie badawczym RIKEN. Oświadczenia współautorów i Habilitanta wskazują, że jego wkład w koncepcję badania, wykonywanie pomiarów, analizę danych i obliczenia teoretyczne we wszystkich pracach przedstawionych jako osiągnięcie habilitacyjne jest dominujący o czym może również świadczyć fakt, że dr Rana jest pierwszym autorem w sześciu, a autorem korespondencyjnym w pięciu publikacjach. Moje zdziwienie budzi jedynie fakt dość schematycznego przedstawienia roli Habilitanta w prowadzonych badaniach. Jak wynika z publikacji przygotowanie materiału do badań składało się z dwóch etapów: wykonania cienkowarstwowych heterostruktur, a następnie poddania ich litografii w celu uzyskania obiektów stosownych do planowanych badań. W zbiorze oświadczeń współautorów figurują Katsuya Miura i Hiromasa Takahashi z nieakademickiej jednostki naukowej (Research and Development Group, Hitachi Ltd.), którzy są współautorami we wszystkich siedmiu publikacjach, wykazując jako swój udział nanoszenie cienkowarstwowych heterostruktur („Deposition of magnetic thin film multilayers”). Tymczasem Habilitant w ocenie swojego udziału przypisuje wyłącznie sobie optymalizację warunków wytwarzania oraz wykonanie próbek. Szczególnie razi to w deklaracji dotyczącej pracy [H4] gdzie Habilitant stwierdza „Zoptymalizowałem warunki wytwarzania próbek i wspólnie z S. Choudhury wykonałem próbki” pomijając udział pozostałych uczestników eksperymentu. Tłumaczę to być może słabą znajomością obowiązujących zasad i brakiem doświadczenia Habilitanta, ale w kwestiach określania udziału uczestników projektu zalecana jest najwyższa ostrożność. Pomimo tej uwagi stwierdzam na podstawie oświadczeń Habilitanta i współautorów, że cykl publikacji stanowiących osiągnięcie „Urządzenia magnoniczne działające w oparciu o anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem” jest samodzielnym dorobkiem Habilitanta i może być rozpatrywany jako podstawa do uzyskania przez dr. Bivasa Rana stopnia doktora habilitowanego.

Tematyka osiągnięcia sytuuje się w głównym światowym nurcie spintroniki magnonowej łączącej elementy spintroniki, bazującej na spinowym przesyłaniu i przetwarzaniu informacji, z magnoniką, która wykorzystuje kolektywny ruch precesyjny uporządkowanych spinów magnetycznych. Koncept ten jest przedmiotem szeregu intensywnych badań ze względu na rosnące zapotrzebowanie na elektronikę zminiaturyzowaną, szybką i energooszczędną. Rozwiązania problemu poszukuje się wykorzystując fale spinowe, które mogą przenosić informację dzięki swoim właściwościom falowym bez wymogu ruchu elektronów, co może znacząco zmniejszyć zużycie energii w przyszłych urządzeniach spintronicznych. Spintronika magnonowa jest młodą, dynamicznie rozwijającą się dziedziną wiedzy i jako dziedzina pionierska stawia przed badaczami wysokie wymagania, prowokujące do rozwiązania fundamentalnych kwestii takich jak znalezienie korzystnych energetycznie sposobów wzbudzenia, manipulacji, kontroli i detekcji fal spinowych w oparciu o rozwiązania współpracujące z urządzeniami mikrofalowymi. Spośród szeregu sposobów, metody modyfikacji anizotropii magnetycznej polem elektrycznym okazują się najbardziej obiecujące w rozwoju urządzeń magnonicznych. W szczególności, anizotropia magnetyczna kontrolowana napięciem staje się niezwykle atrakcyjnym efektem, gdyż pozwala sterować urządzeniami spintronicznymi i magnonicznymi przy bardzo niskim poborze mocy. Badaniom

tego problemu Habilitant poświęcił swoje osiągnięcie prowadząc systematyczne pomiary eksperymentalne poparte analizą teoretyczną i uzupełniając w ten sposób zasób wiedzy w tej dziedzinie.

Autoreferat dr. Rana jest rodzajem obszernej monografii zbliżonej postacią do standardowej pracy doktorskiej i, oprócz omówienia publikacji stanowiących osiągnięcie, zawiera również obszerne wprowadzenie w problematykę anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem, opis sposobu wytwarzania badanych struktur wraz z obszernym opisem stosowanych metod badawczych oraz szczegółowy opis symulacji mikromagnetycznych i obliczeń dyspersji fali spinowej metodą fali płaskiej. Bez wątplenia ta część autoreferatu ma duży potencjał dydaktyczny i warta jest szerszego upowszechnienia w działalności akademickiej Habilitanta. Dr Rana wyszczególnił trzy kwestie badawcze opisane w publikacjach: efektywne wzbudzenie nieliniowego rezonansu ferromagnetycznego i koherentnie rozchodzących się fal spinowych w ultracienkich warstwach ferromagnetycznych poprzez sterowaną napięciem anizotropię magnetyczną [H1, H2], opracowanie sterowanych napięciem rekonfigurowalnych nanokanałów fal spinowych oraz modulację częstotliwości fal spinowych i struktury pasmowej [H3, H4, H5], jak również nieliniową modulację tłumienia magnetycznego przez pole elektryczne i asymetryczne zachowanie anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem zależne od rodzaju warstwy buforowej [H6, H7]. Wszystkie prace dotyczą heterostruktur CoFeB w różnych konfiguracjach, zmieniany był materiał warstwy buforowej, warstwy przykrywającej, grubość warstwy ferromagnetycznej oraz jej usytuowanie w heterostrukturze.

Przedstawię teraz zbiorcze omówienie wyników uzyskanych w pracach wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej, podkreślając ich najważniejsze osiągnięcia. W pracy [H1] pokazano, że poprzez systematyczne zwiększanie mocy wzbudzenia powyżej wartości progowej, możliwe jest przejście z reżimu liniowej do nieliniowej dynamiki magnetyzacji, określono właściwości nieliniowego rezonansu ferromagnetycznego, a wyniki doświadczeń poparte zostały symulacjami mikromagnetycznymi i dyskusją podstaw dynamiki nieliniowej. Kolejna praca [H2], będąca według Habilitanta pierwszym światowym doniesieniem pokazuje eksperymentalnie możliwość wzbudzenia koherentnych fal spinowych przez sterowaną napięciem anizotropię magnetyczną oraz opisuje strategię eksperymentalną pozwalającą na optyczną detekcję sygnałów fal spinowych o bardzo niskiej intensywności (warstwy ferromagnetyczne w badanych układach są ultracienkie, co powoduje trudności w uzyskaniu mierzalnego sygnału).

Kolejne prace [H3, H4, H5] są ponownie, według deklaracji Habilitanta, pierwszymi światowymi doniesieniami eksperymentalnymi dotyczącymi nanokanałów fal spinowych wykorzystujących anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem. Na szczególną uwagę zasługuje czysto obliczeniowa praca [H3], w której dr Rana wykonał symulacje mikromagnetyczne wykazujące, że do propagowania fal spinowych możliwe jest stworzenie rekonfigurowalnych nanokanałów o szerokościach rzędu kilkudziesięciu nm używając anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem. W oparciu o te symulacje dr Rana zaproponował i wykazał działanie kontrolowanych napięciem bramek logicznych XNOR i NAND oraz przełącznika fal spinowych. Kolejnym krokiem było zaprojektowanie zintegrowanego urządzenia zawierającego nanokanały fal spinowych i magnoniczne

urządzenia logiczne. Te rozważania częściowo urzeczywistniły się materialnie podczas realizacji wyników opisanych w pracy [H4] pokazującej, że częstotliwość fal spinowych propagujących się przez równoległe nanokanały indukowane anizotropią magnetyczną sterowaną napięciem może być modulowana intencjonalnie polem elektrycznym. Autorzy wyprodukowali dynamiczną macierz nanokanałów fal spinowych i określili magnoniczną strukturę pasmową i odpowiadające jej przerwy pasmowe modulowane poprzez zmianę napięcia. Praca ta otworzyła nowy kierunek badań dotyczący kontroli siły sprzężenia pomiędzy falami spinowymi propagującymi się przez indukowane napięciem nanokanały. Ostatni problem w tej grupie prac [H5] to pokazanie, że częstotliwość fal spinowych w ultracienkich warstwach ferromagnetycznych może być dobrana przez anizotropię magnetyczną kontrolowaną napięciem. Istotnym wynikiem pracy [H5] jest wykazanie, że fale spinowe mogą być propagowane w nanokanałach indukowanych anizotropią magnetyczną sterowaną napięciem także dla kierunku namagnesowania leżącego w płaszczyźnie magnetycznych cienkich warstw.

Ostatnie dwie prace [H6, H7], które osobiście umieściłabym na początku cyklu, poświęcone są sterowaniu stałą tłumienia rezonansu ferromagnetycznego w ultracienkich warstwach ferromagnetycznych za pomocą pola elektrycznego oraz wpływem warstwy buforowej na współczynnik anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem dla różnych jego polaryzacji. Publikacja [H6] pokazuje, że tłumienie rezonansu ferromagnetycznego w ultracienkich warstwach ferromagnetycznych może być regulowane przez pole elektryczne w sposób nieliniowy pomimo liniowego charakteru anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem oraz pokazuje jak grubość warstwy ferromagnetycznej, wybór warstwy buforowej i warstwy przykrywającej wpływa na wzajemny stosunek tłumienia liniowego i nieliniowego. Praca [H7] natomiast opisuje w jaki sposób materiał warstwy buforowej dla napięcia o różnej polaryzacji wpływa na współczynnik anizotropii magnetycznej, który może ulec zmianie z symetrycznego na asymetryczny wraz ze zmianą grubości warstwy ferromagnetycznej.

O randze prac stanowiących podstawę osiągnięcia habilitacyjnego stanowi zarówno prestiż czasopism, w których zostały opublikowane jak i liczba cytowań tych prac, która w stosunkowo krótkim czasie przekroczyła 200 (Google Scholar, 28.12.2022). Pokazuje to, że mamy do czynienia z badaniami naukowymi na najwyższym światowym poziomie, zauważonymi i docenionymi w środowisku naukowym.

Podsumowując, przedstawione osiągnięcie habilitacyjne zawiera istotne wyniki dotyczące zachowania fal spinowych wzbudzanych przez anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem w heterostrukturach CoFeB. Prace dr. Bivas Rana są oryginalne i nowatorskie, a udział Habilitanta w ich powstaniu znaczny co skłania mnie do stwierdzenia, że przedstawione osiągnięcie habilitacyjne spełnia z należytą warunkami ustawowe.

Ocena pozostałego dorobku i aktywności naukowej

Pozostały dorobek dr. Bivas Rana, nie włączony do osiągnięcia habilitacyjnego, zawiera 33 publikacje dotyczące anizotropii magnetycznej, dynamiki przemagnesowania, zjawisk związanych z indukowaniem fal spinowych w magnetycznych wielowarstwach i układach cienkowarstwowych. Prace te, w których dr Rana siedmiokrotnie występuje jako pierwszy autor, opublikowane zostały w czasopismach o bardzo dobrym międzynarodowym zasięgu,

takich jak *Physical Review Research*, *Science Advances*, *Nature Nanotechnology*, *Physical Review B*, *ACS Nano*, *Advanced Functional Materials*, wymieniając tylko najbardziej znaczące. Wśród tych prac jest 15 artykułów ściśle związanych z tematyką osiągnięcia habilitacyjnego w wartościowy sposób uzupełniających wiedzę opisaną w autoreferacie, w których dr Rana pełnił wiodącą rolę. Są wśród nich również artykuły przeglądowe oraz rozdział monografii dotyczące najnowszych osiągnięć w dziedzinie urządzeń magnonicznych sterowanych polem elektrycznym, opartych na rozchodzeniu się fal spinowych w ultracienkich warstwach ferromagnetycznych. Ten pokaźny i wartościowy dorobek uzupełnia około 15 wystąpień na konferencjach międzynarodowych, w tym 5 wykładów na zaproszenie oraz prezentacja kilkudziesięciu plakatów, bądź osobiście (blisko 20), bądź też przez współpracowników.

Prace dr. Rana były cytowane 995 razy (stan na dzień sporządzenia wniosku), z wyłączeniem autocytowań liczba ta wynosi 882. Sumaryczny impakt faktor czasopism, w których publikował dr Rana wynosi 223.358, co daje średni impakt faktor na pracę: 5.5839. W dziedzinie uprawianej przez Habilitanta jest to bardzo dobry wynik.

Jest obecnie koordynatorem dwóch krajowych projektów finansowanych przez NCN i UAM, a w czasie pobytu w Japonii kierował dwoma projektami finansowanymi przez Hitachi Ltd. i RIKEN.

Zdobywając wykształcenie zawodowe w Indiach, następnie pracując w Japonii, a obecnie w Polsce dr Rana wykazał się istotną aktywnością naukową realizowaną w więcej niż jednej instytucji naukowej i spełnia kolejny warunek ustawy w kwestii nadania stopnia doktora habilitowanego.

Podsumowując stwierdzam, że osiągnięcie naukowe dr. Bivasa Rana stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, wnoszące znaczny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie nauki fizyczne, dotyczącej fal spinowych indukowanych przez sterowaną napięciem anizotropię magnetyczną, ich własności i zastosowań, spełniając wymagania art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wobec powyższego stwierdzenia wnioskuję o realizację kolejnych etapów postępowania habilitacyjnego przewidzianych w wyżej wymienionej ustawie.

Jhanta Jasztalek