



Recenzja w związku z postępowaniem w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego dr Bivasowi Ranie w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Przedstawiona poniżej ocena osiągnięć doktora Bivasa Rany została opracowana na podstawie następujących dokumentów:

- (i) Autoreferatu zawierającego opis Osiągnięcia Naukowego zatytułowanego „**Urządzenia magnoniczne działające w oparciu o anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem**”, Autoreferat zawiera informacje na temat aktywności naukowych i dydaktycznych Habilitanta, ogólne wprowadzenie w tematykę badań związanych z Osiągnięciem, opis prac własnych stanowiących to Osiągnięcie oraz innych prac.
- (ii) Wykazu osiągnięć naukowych .
- (iii) Dokumentu z deklaracjami współautorów o ich udziale w przygotowaniu prac stanowiących Osiągnięcie Naukowe.

Swoją recenzję konstruuję w następujący sposób:

1. Ogólne informacje dotyczące Habilitanta.
2. Opis i ocena Osiągnięcia Naukowego będącego podstawą wystąpienia Habilitanta o stopień naukowy
3. Opis pozostałych osiągnięć naukowych Habilitanta i innych elementów jego działalności naukowo-badawczej, a także działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej.
4. Podsumowanie w tym wnioski i rekomendacja.

1. Ogólne informacje dotyczące kariery i osiągnięć naukowych dra Bivasa Rany

Dr Bivas Rana studia wyższe zakończył w Indiach gdzie w 2007 roku przygotował pracę licencjacką (wyróżnioną) na Uniwersytecie Vidyasagar a następnie w 2009 roku wykonał (pod kierunkiem profesorów Bishnu P. Pal i Ravi Kumar Varshney) w Indian Institute of Technology Delhi pracę magisterską **Design and Fabrication of Fused Fiber Directional Coupler and Its Application as a Mach-Zehnder Interferometer Based Temperature Sensor**. W kolejnym okresie rozpoczął wieloletnią współpracę z prof. Anjanem Barmanem. Pod jego kierunkiem przygotował w Kalkucie w 2014 roku pracę doktorską **Quasistatic and Ultrafast Magnetization Dynamics in Magnetic Nanostructures** w Satyendra Nath Bose National Centre for Basic Sciences, Kolkata. Rozprawa ta została wyróżniona.

Od 2014, przez siedem lat, Habilitant prowadził badania (jako pracownik naukowy, badacz podoktorski) w Japonii w RIKEN w zespole profesora YoshiChika Otani. Wyniki prac dra Bivasa Rany uzyskane w RIKEN są podstawą omawianego Osiągnięcia Naukowego.

Od 2021 roku Habilitant jest zatrudniony na stanowisku adiunkta na Wydziale Fizyki, Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Dr Bivas Rana jest współautorem (według danych z maja 2022 podanych w Autoreferacie i w Wykazie aktywności naukowych), 40 artykułów w czasopismach naukowych oraz rozdziału w monografii naukowej *Nanomaterials and their Applications*, pp. 206, Allied Publishers Pvt. Ltd. (2011). W bazie Web of Science można odnaleźć następujące informacje: 40 sygnalizowanych wyżej artykułów było cytowanych 1140 razy (liczba cytujących artykułów 845); wskaźnik Hirscha **H: 20**.

W bazie Web of Science można odnaleźć również dwie kolejne prace (rozszerzające listę publikacji Habilitanta do 42), które ukazały się w drugiej połowie 2022 roku : (i) *Role of Spin-Orbit Coupling on Ultrafast Spin Dynamics in Nonmagnet/Ferromagnet Heterostructures*, *SCIENCE ADVANCES* 8 (39) (2022) oraz (ii) *Role of Spin-Orbit Coupling on Ultrafast Spin Dynamics in Nonmagnet/Ferromagnet Heterostructures*, *ADVANCED QUANTUM TECHNOLOGIES* 5 (8) (2022).

2. Opis i ocena Osiągnięcia Naukowego „Urządzenia magnoniczne działające w oparciu o anizotropię magnetyczną sterowaną napięciem”

Osiągnięcie Naukowe jest opisane w 7 następujących pracach wykonanych z udziałem Habilitanta (z deklaracji złożonych przez współautorów prac w dokumencie „**Coauthors statements Habilitation papers_BR-sig**” wynika, że wkład dr B.Rany w przygotowaniu tych publikacji był dominujący).

[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, 2318 (2017).

[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, 052404 (2017).

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

[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, eaba5457 (2020).

[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, 224412 (2019)

[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, 014037 (2020).

[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, 414002 (2020).

Wszystkie czasopisma, w których zostały opublikowane wyżej wymienione artykuły spełniają wymogi ustawowe.

W fizyce nanomagnetyzmu jednym z ciekawszych odkrytych efektów było zaobserwowanie możliwości zmian magnetycznej anizotropii przykładając pole elektryczne, tzw. efekt **VCMA** („*voltage-controlled magnetic anisotropy*”). Wykorzystanie VCMA do sterowania urządzeń spintronicznych i magnonicznych jest istotne w możliwych zastosowaniach ze względu na niewielki pobór mocy w stosunku do klasycznych rozwiązań. Habilitant podjął nowatorskie, kompleksowe badania układów magnonicznych sterowanych VCMA, koncentrując swoje prace na ultracienkich warstwach CoFeB w otoczeniu ciężkiego metalu i tlenku. Nanostruktury te charakteryzują się niewielkim tłumieniem wzbudzeń magnetyzacji. Znane z literatury prace innych autorów opisywały głównie teoretycznie możliwości generowania fal spinowych polem elektrycznym, nieliczne były prace eksperymentalne. Do przeprowadzenia badań Habilitant wytworzył na podłożach krzemowych metodą rozpylania jonowego a następnie wygrzewania dwa rodzaje nanostruktur: (i) ultracienkie

warstwy CoFeB (o różnej grubości) osadzone na buforze o odpowiedniej strukturze (z wykorzystaniem Ta, Pt, Cu, Ru) i przykrytej warstwą tlenków MgO i/lub Al₂O₃; (ii) warstwy podwójne CoFeB (których grubości umożliwiały uzyskanie stanów magnetyzacji prostopadłej i w płaszczyźnie warstwy) oddzielone warstwą tlenu MgO. Próbkę tę były następnie przez dr Bivasa Ranę odpowiednio strukturyzowane z wykorzystaniem technik litografii UV i elektronowej oraz trawienia jonami argonu. W kolejnym etapie wytworzone nanostruktury, nazywane też urządzeniami, były badane z pomocą różnorodnych, uzupełniających się technik pomiarowych: (i) magneto-optycznych MOKE: statycznej SMOKE i dynamicznej TRMOKE mikroskopii, spektroskopii nieelastycznego rozpraszania światła Brillouina **BLS** oraz (ii) elektrycznych: układu homodynamicznej detekcji ferromagnetycznego rezonansu FMR oraz spektroskopii FMR z wektorowym analizatorem sieci VNA-FMR; układów do pomiaru spinowego efektu Halla (**SHE**) i odwróconego efektu Halla (**ISHE**), tunelowego magnetooporu (**TMR**) oraz anomalnego efektu Halla (**AHE**). Habilitant wspomagał swoje badania obliczeniami, w tym symulacjami mikromagnetycznymi.

W Osiągnięciu Naukowym można wydzielić, zgodnie też z opisem Habilitanta, trzy tematyki związane z:

- A1. Indukowaniem, napięciem elektrycznym, rezonansu ferromagnetycznego oraz fal spinowych
- A2. Sterowaniem napięciem elektrycznym rekonfigurowalnych nanokanałów fal spinowych oraz częstotliwości fal spinowych i struktury pasmowej
- A3. Modulacją polem elektrycznym tłumienia magnetycznego oraz asymetrycznego zachowania magnetycznej anizotropii.

A1. Indukowanie, napięciem elektrycznym, rezonansu ferromagnetycznego oraz fal spinowych

W pracy [H1] Habilitant badał rezonans ferromagnetyczny w układzie warstw podwójnych: (i) cienkiej warstwy swobodnej w której orientacja magnetyzacji była zmieniana (co rejestrowano z wykorzystaniem pomiarów tunelowego magnetooporu **TMR**) polem zewnętrznym przykładanym w płaszczyźnie i polem elektrycznym poprzez VCMA oraz (ii) grubszej warstwy odniesienia z magnetyzacją w płaszczyźnie. Określono warunki przejścia od liniowego do nieliniowego wzbudzenia FMR (z wykorzystaniem generatora mikrofal) oraz wpływu VCMA na to wzbudzenie. Podano teoretyczne podstawy nieliniowej dynamiki magnetyzacji.

W kolejnej pracy [H2] pokazano możliwości generowania poprzez VCMA koherentnych fal spinowych (**FS**) w pojedynczej ultracienkiej warstwie CoFeB o grubości tuż powyżej grubości reorientacji magnetyzacji z łatwej osi do łatwej płaszczyzny (**SRT**). Niewielka efektywna magnetyczna anizotropia umożliwiała wzbudzanie fal spinowych o dużej amplitudzie. Habilitant opracował magneto-optyczną metodę detekcji FS, umożliwiającą rejestrację sygnału o niewielkiej intensywności ze względu na znikome grubości magnetycznych warstw. Dr Bivas Rana zbadał podstawowe właściwości FS wzbudzanych VCMA, takich jak zależność amplitudy FS od wielkości przykładanego pola elektrycznego, tłumienie propagacji FS, prędkość FS. Nowa metoda generacji FS jest konkurencyjna do typowej, klasycznej metody generacji FS z wykorzystaniem anteny mikrofalowej wytwarzającej pole Oersteda. Generacja FS poprzez VCMA wzbudziła duże zainteresowanie - 27 prac cytowało publikację [H2], która była również wybrana jako RIKEN Research Highlight.

A2. Sterowanie napięciem elektrycznym rekonfigurowalnych nanokanałów fal spinowych oraz częstotliwości fal spinowych i struktury pasmowej.

Z serii publikacji stanowiących Osiągnięcie Naukowe, największe zainteresowanie zyskała publikacja [H3] (55 cytowań), w której habilitant zaprezentował nanokanały (**NK**) dla fal spinowych (**NKFS**) sterowane VCMA. Nanokanały były wytwarzane w ultracienkich warstwach CoFeB (o

grubościach poniżej SRT) w których oś łatwa magnetyzacji była prostopadła do powierzchni nanostruktury. W tym celu na próbce zamodelowano elektrody w kształcie pasków o szerokości 100nm. Napięcie przyłożone pomiędzy tymi paskami i warstwą buforową pozwalało, poprzez VCMA, na lokalną zmianę magnetycznej anizotropii i wytworzenie w ten sposób nanokanałów FS. Zmiana anizotropii powoduje zmianę dyspersji fal spinowych. W pracy przykładowo pole magnetyczne prostopadłe do powierzchni warstwy, co umożliwiało wytworzenie **MOFS** magnetostatycznych objętościowych fal spinowych. Fale spinowe w konfiguracji MOFS poruszają się na stosunkowo duże odległości co umożliwia realizację, w NKFS, szeregu operacji sterowanych napięciem: przełącznika FS, bramek logicznych, konstrukcji multipleksera i demultipleksera. Podobne operacje można wykonywać również z wykorzystaniem fal spinowych w geometrii Damona-Eshbacha (**DE**) w której FS poruszają się w kierunku prostopadłym do kierunku pola magnetycznego, przyłożonego w płaszczyźnie próbki.

W kolejnym etapie dr B.Rana zaprezentował rekonfigurowalny polem elektrycznym kryształ magnoniczny [H4] – układ nanokanałów fal spinowych sterowanych VCMA. Jednowymiarowy kryształ magnoniczny, o okresie 440nm, wytworzono poprzez naniesienie na CeFeB(1.6nm)/MgO/Al₂O₃ sieci, przewodzących prąd, pasków o szerokości 220 nm w postaci warstwy tlenku indowo-cynowego (**ITO**). Była również wykonana warstwa referencyjna z jednorodnym pokryciem ITO. Przezroczyste pokrycie warstwy magnetycznej umożliwiło badanie dynamiki magnetyzacji z wykorzystaniem techniki optycznej - spektroskopii BLS. Grubość warstwy CoFeB (była dobrana tuż powyżej grubości SRT), umożliwiała uporządkowanie typu łatwa płaszczyzna magnetyzacji. Przykładając napięcie V_G do naniesionych pasków można było w obszarze pod paskiem (obszar 2 według konwencji z Autoreferatu) zwiększać lub zmniejszać magnetyczną anizotropię, w zależności od znaku napięcia V_G . Badano techniką BLS zależność dyspersyjną (częstotliwość f od wektora falowego k) termicznie wzbudzanych magnonów w geometrii Damona-Eshbacha (DE) w polu przykładanym w płaszczyźnie, prostopadłe do pasków. Po przyłożeniu do pasków napięcia $V_G < 0$ zaobserwowano pojawienie się w widmie dwóch modów o energii: (i) mniejszej $M1(-)$ i (ii) większej $M2(-)$. Zwiększając k zaobserwowano dla modu $M2(-)$ w zakresie do $k_{kr} = 7.1 \times 10^6 \text{ rad m}^{-1}$ zmniejszanie częstotliwości f (dyspersja o ujemnym nachyleniu) a następnie wzrost f (dyspersja o dodatnim nachyleniu). Ze wzrostem k dla modu $M1(-)$ w zakresie do $k_{kr} = 7.1 \times 10^6 \text{ rad m}^{-1}$ zwiększała się częstotliwości f (dyspersja o dodatnim nachyleniu), przy dalszym wzroście k , zmiany f nie były zauważalne. Oba mody są rozdzielone przerwą częstotliwościową, która staje się minimalna przy $k_{kr} = 7.1 \times 10^6 \text{ rad m}^{-1}$. Na podstawie modelowania charakterystyk dyspersyjnych i profili przestrzennych magnetyzacji wywnioskowano, że (i) mod $M2(-)$ związany jest z propagacją fal spinowych wzdłuż kanału 2 w obszarze pod paskiem – elektrodami bramki (obszar 2); (ii) mod $M1(-)$ związany jest z propagacją fal spinowych wzdłuż kanału 1 obszarze poza paskiem (obszar 1). Ciekawy wynik uzyskano po zmianie znaku napięcia przykładanego do pasków $V_G > 0$. Mod 1 $M1(+)$ jest przełączany do kanału 2 a mod 2 $M2(+)$ do kanału 1. Habilitant wykazał, że polem elektrycznym może zmieniać strukturę pasmową fal spinowych, regulować wielkości przerwy energetycznej pomiędzy modami.

W pracy [H5] pokazano możliwość sterowania częstotliwością fal spinowych poprzez VCMA. Badania wykonano na ultracienkich warstwach CoFeB o grubościach 1.6, 1.8 i 2nm. Zwiększanie grubości powodowało zmniejszanie pola efektywnej anizotropii (w każdym w tych przypadkach ujemnego pola anizotropii, co powodowało uporządkowanie typu łatwa płaszczyzna magnetyzacji). Pomiary wykonano z wykorzystaniem dwóch zestawów anten mikrofalowych o rozmiarach : (i) 50 μm do badania praktycznie jednorodnego rezonansu ferromagnetycznego **UFMR** oraz (ii) 600 nm do badania fal spinowych, maksymalna wydajność tej anteny jest uzyskiwana przy $k = 7.55 \times 10^6 \text{ rad m}^{-1}$ (FS o długości $\lambda = 832 \text{ nm}$), fale generowano w geometrii Damona-Eshbacha. Wzbudzenia magnetyzacji UMFR i fal spinowych były badane (z wykorzystaniem naniesionych na próbce dodatkowych elementów) techniką odwrotnego spinowego efektu Halla **ISHE**. Na

powierzchni próbki znajdowały się również elektrody bramki, umożliwiające modyfikacje magnetycznej anizotropii poprzez VCMA. Do najciekawszych wyników [4] można zaliczyć wykazanie możliwości znaczącej zmiany częstości FS poprzez VCMA oraz możliwości wytworzenia poprzez VCMA nanokanałów FS w nanostrukturach z magnetyzacją w płaszczyźnie (wniosek na podstawie symulacji mikromagnetycznych).

W tym miejscu chciałbym zasygnalizować występowanie usterek w Autoreferacie np. w podrozdziale 5.8.5 *Pomiar sygnałów FMR i FS poprzez pompowanie spinowe i odwrotny spinowy efekt Halla*: Rys. 8 ilustruje układ pomiarowy z „mikroantenami” do rejestracji jednorodnego rezonansu UFMR 8b odpowiada większemu obszarowi niż zaznaczono na 8a; brakuje układu z „nanoantenami” jak na rys. 18 a i b (lub na Fig.1 z [H4]). Jest to jednak zastrzeżenie do tekstu Autoreferatu, którego sposób przygotowania nie podlega ocenie, i nie zmienia mojej pozytywnej oceny Osiągnięcia Naukowego.

A3. Nieliniowa modulacja tłumienia magnetycznego przez pole elektryczne i asymetryczne zachowanie anizotropii magnetycznej sterowanej napięciem.

Wpływ otoczenia warstwy CoFeB na możliwości sterowania polem elektrycznym, napięciem V_G , magnetycznej anizotropii i tłumienia FMR analizowano w pracach [H6,H7] poprzez badanie jednorodnego rezonansu ferromagnetycznego UFMR, korzystając z konstrukcji urządzenia pomiarowego z pracy [H5] z 50 mikronowymi antenami do generacji UFMR. Grubości warstw odpowiadają uporządkowaniu typu łatwa płaszczyzna magnetyzacji.

W pracy [H6] pomiary wykonano na ultracienkich warstwach CoFeB przy trzech otoczeniach warstwy magnetycznej: nanostrukturach Ta/CoFeB(1.6,1.8,2.0,2.2nm)/MgO, oraz na dwóch nanostrukturach referencyjnych Cu/CoFeB(1.6nm)/MgO i Ta/CoFeB(1.6nm)/Al₂O₃. W pracy [H7] badania przeprowadzono na : (i) dwóch seriach próbek CoFeB o zmiennej grubości t i różnej warstwie buforowej Ta/CoFeB(1.6,1.8,2.0,2.2,5.0nm)/MgO, Pt/CoFeB(1.4,1.5,1.7,2.0nm)/MgO oraz (ii) dwóch próbkach referencyjnych Cu/CoFeB(1.6nm)/ MgO i Ta/CoFeB(1.6nm)/Al₂O₃.

W warstwach Ta/CoFeB/MgO zaobserwowano liniową zależność zmian pola anizotropii $\mu_0 H_p$ od przyłożonego napięcia V_G , wyznaczono liniowy współczynnik VCMA β , który zwiększał się przy zmniejszaniu grubości warstwy magnetycznej t . Z analizy zmienności, w funkcji grubości t , pola anizotropii $\mu_0 H_p$ i współczynnika β wykazano, że parametry te są związane z interfejsami warstwy CoFeB. Przy zmniejszaniu grubości warstwy magnetycznej, bez przykadanego napięcia ($V_G = 0$), obserwowany wzrost współczynnika tłumienia α krzywej rezonansowej FMR związany z pompowaniem spinów SP. Zbadano zależność $\alpha(V_G)$, przy mniejszych grubościach t wykazano znaczącą nieliniowość tej zależności. Efekt ten tłumaczono z uwzględnieniem sprzężenia spin-orbita Rashby na granicy CoFeB/MgO.

W warstwie referencyjnej Cu/CoFeB(1.6nm)/MgO zarejestrowano nieliniową zależność $\alpha(V_G)$ z czego wywnioskowano, że za nieliniowość nie jest znacząco odpowiedzialny ciężki metal (np. Ta) w warstwie buforowej. Zamiana warstwy pokrycia z MgO na Al₂O₃ spowodowała silne zmniejszenie współczynnika β z -7.1 mT/V) do -0.5 mT/V oraz znaczący wzrost współczynnika tłumienia α .

W warstwach CoFeB osadzonych na buforze Pt [H7], przy zmniejszaniu grubości t , zaobserwowano zaskakujący efekt – zmianę współczynnika β po zmianie zwrotu V_G : (i) β_1 przy $V_G < 0$ oraz (ii) β_2 przy $V_G > 0$. Podobne asymetrie były obserwowane w badaniach układów bardziej złożonych - magnetycznych złącz tunelowych. W próbkach Pt/CoFeB/MgO bardzo silnie wzrosła szerokość linii rezonansowej HWHM (wyznaczona przy $f=0$) w porównaniu z HWHM określonej dla warstw osadzonych na buforze Ta. Przy zmniejszaniu grubości warstwy magnetycznej w próbkach Pt/CoFeB/MgO brak było monotonicznych zmian pola magnetycznej anizotropii, B.Rana_recenzja_habilitacji_AM_230112

parametrów β_1 oraz $HWHM(f=0)$. Jest to najślabszy fragment opisywanego Osiągnięcia Naukowego. Habilitant ogranicza się do stwierdzeń, że warunki osadzania warstw Pt/CoFeB/MgO nie były właściwie zoptymalizowane, co doprowadziło do niskiej jakości warstw oraz, że bufor Pt nie jest zbyt dobrą warstwą buforową do wytwarzania wysokiej jakości warstw CoFeB. Sukcesem pracy [H7] jest pokazanie, że możliwe było wytworzenie warstwy CoFeB na Pt o wybranej grubości 1.5nm z porównywalną wielością parametru β_1 jak β wyznaczony w warstwach CoFeB (o podobnej grubości) osadzanych na Ta.

3. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowych Habilitanta i innych elementów jego działalności naukowo-badawczej, a także działalności organizacyjnej, dydaktycznej i popularyzatorskiej.

Dr Bivas Rana opublikował kilkanaście prac, które nie zostały włączone do Osiągnięcia Naukowego, ale są ściśle związane z dorobkiem habilitacyjnym. Prace te znajdują się w Autoreferacie w spisie publikacji na liście z numeracją [P1-P15].

W pracy [P1] zbadano indukowaną VCMA dynamikę magnetyzacji w magnetycznym złączu tunelowym.

Oryginalny sposób wytwarzania skyrmionów w nanostrukturach wytworzonych w oparciu o warstwy Pt/Co/Ir (w których występuje oddziaływanie Dzialoshinskii-Moriya DMI) zaproponowano w pracy [P4]. Skyrmiony powstawały, w dużym obszarze próbki, poprzez oddziaływanie na spiny powierzchniowych fal akustycznych. Ta metoda generacji skyrmionów jest konkurencyjna do innych stosowanych dotychczas metod np. wykorzystujących prąd elektryczny. Publikacja [P4] została wybrana jako „RIKEN Research Highlight”.

Ciekawe były wyniki badań [P7-P9] akustycznego rezonansu ferromagnetycznego i sprzężenia magnon-fonon. Fonony akustyczne były wykorzystywane do indukowania, poprzez modulację anizotropii magnetycznej, rezonansu FMR w cienkiej warstwie Ni. Praca [P7] była wyróżniona w RIKEN. Akustyczne wzbudzenie FMR było możliwe również w ultracienkich warstwach Ta/CoFeB/MgO [P9] poprzez sprzężenie fal akustycznych z falami spinowymi. Praca [P9] została wyróżniona w komunikacie prasowym RIKEN.

Habilitant jest współautorem pięciu prac przeglądowych (P11-P15): (i) **“Towards magnonic devices based on voltage-controlled magnetic anisotropy”** Commun. Phys. 2, 90 (2019) praca była cytowana 48 razy i została wyróżniona jako „**Editor's Highlight 2019**”; (ii) pracy **The 2021 Magnonics Roadmap** w Journal of Physics-Condensed Matter 22 (41) Oct 13 (2021) ta wieloautorska praca cieszy się dużym zainteresowaniem – była już cytowana 129 razy, uzyskała miano „**highly cited paper**” (od września/października 2022 r. ten artykuł otrzymał liczbę cytowań, które umieszczają go w pierwszym 1% prac z akademickiej dziedziny fizyki na podstawie prognozy często cytowanych danych dla danej dziedziny i roku publikacji), (iii) dwóch prac z 2022 roku opublikowanych w Nanotechnology (2022) Applications of nanomagnets as dynamical systems: I i II; (iv) wieloautorskiej pracy **Advances in Magnetism Roadmap on Spin-Wave Computing** opublikowanej w IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS 58 (6) (2022).

Dr Bivas Rana wygłosił 6 wykładów na zaproszenie. Na międzynarodowych konferencjach Habilitant przedstawił 9 prezentacji ustnych oraz 19 posterów.

Dr Bivas Rana jest koordynatorem dwóch projektów realizowanych obecnie w Polsce finansowanych przez: (i) NCN (2021-2024) projekt „**Magnon-phonon coupling in magnetic 2D heterostructures in presence and absence of skyrmion lattice**” (ii) ID-UB “Initiative of Excellence - Research University”, Adam Mickiewicz University, (2022-2023) projekt **Role of bulk and interfacial spin-orbit coupling on interfacial physical properties and laser induced ultrafast dynamics in CoFeB/MgO heterostructures**. W czasie pobytu w Japonii Habilitant był koordynatorem dwóch projektów finansowanych przez: (i) Hitachi Ltd. (2014-2019) projekt **Creation of low-power computing device using the spin wave and spin current** oraz (ii) RIKEN (2019-2021) projekt **Development of all electric-field controlled magnonic crystals and magnonic logic gates** (under Incentive research grant of RIKEN).

Dr Bivas Rana był/jest zaangażowany w kształcenie studentów i doktorantów. W Kalkucie opiekował się, we współpracy z prof.A.Barmanem, trzema studentami. W Japonii opiekował się czterema studentami przy przygotowywaniu prac doktorskich, magisterskiej i licencjackiej. Pomoc Habilitanta związana była z wprowadzeniem studentów w techniki wytwarzania nanostruktur, ich modyfikacji, wykonywania pomiarów a zwłaszcza efektów indukowanych polem elektrycznym, interpretacją wyników. Od 2021 dr Bivas Rana opiekuje się w Poznaniu doktorantem podejmującym badania sprzężenia magnon-fonon przy realizacji projektu NCN Sonata.

Habilitant, na stanowiskach jakich był zatrudniany nie miał możliwości prowadzenia klasycznych zajęć dydaktycznych. Na podstawie materiałów z Autoreferatu oraz seminarium jakie Habilitant zaprezentował na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku w 2022r. uważam, że dr Bivas Rana posiada umiejętności do prowadzenia wykładów.

4. Wnioski końcowe i rekomendacja.

Podsumowując stwierdzam, że Osiągnięcie Naukowe dr Bivasa Rany stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie nauki fizyczne w zakresie fizyki nanomagnetyzmu, otwiera nowe, ciekawe kierunki badań z perspektywami zastosowań. Prace Habilitanta spotkały się z dużym zainteresowaniem w środowisku fizyków o czym świadczą liczne cytowania, zaproszenia dr Bivasa Rany do udziału w przygotowaniu prac przeglądowych, wyróżnienia jakie uzyskały publikacje. Osiągnięcie spełnia wymagania 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. Wnioskuje o nadanie doktorowi Bivasie Ranie stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych, w dyscyplinie nauki fizyczne.

Białystok 2023.01.12