

Poznań, 15 września 2023 roku

Prof. dr hab. Maciej Krawczyk
Instytut Spintroniki i Informatyki Kwantowej
Wydział Fizyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

S E K R E T A R I A T
Rady Dyscypliny AEEITK

21. 09. 2023

Wpłynęło dnia

Zarejestrowano pod nr

Podpis 

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Piotra Rzeszuta,

pt. „*Statyczna i dynamiczna charakterystyka magnetycznych złącz tunelowych z anizotropią prostopadłą*” (ang. „*Static and dynamics characterization of magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy*”), przygotowanej w dyscyplinie elektronika, odpowiadającej dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne,

w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pod kierunkiem prof. Witolda Skowrońskiego

Praca doktorska Piotra Rzeszuta, pt. „*Static and dynamics characterization of magnetic tunnel junctions with perpendicular anisotropy*” została przygotowana w dyscyplinie elektronika, odpowiadającej dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne (wg. klasyfikacji określonej w Rozporządzeniu MNiSzW z dnia 11 października 2022 roku w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych, Dz. U. 2022 poz.2202) w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie pod kierunkiem prof. Witolda Skowrońskiego. Praca jest napisana w języku angielskim na podstawie 3 publikacji naukowych stanowiących 3 rozdziały przedłożonej dysertacji. Prace te zostały opublikowane w (a) J. Appl. Phys. 125, 223907, (2019); (b) Sci. Rep. 12, 1 (2022) oraz jednej która została zamieszczona na serwerze arxiv: 2306.11608 (2023) (c). W publikacjach tych zawarte zostały badania naukowe kandydata będące podstawą przedłożonej pracy doktorskiej.

Celem pracy doktorskiej, który postawił sobie autor, było zbadanie magnetycznych złącz tunelowych z anizotropią prostopadłą oraz mieszaną w zakresie statycznym i mikrofalowym, pod kątem ich praktycznego wykorzystania, w szczególności do sztucznych sieci neuromorficznych. Jest to bardzo ambitny cel, mieszczący się w głównym nurcie badań aktualnie prowadzonych w magnetyzmie. Według mnie, cel ten został osiągnięty, a przedstawiona praca doktorska jest bardzo dobrze przygotowana, zawiera wiele interesujących wyników badawczych i propozycję praktycznego zastosowania urządzeń wykorzystujących magnetyczne złącza tunelowe.

Praca doktorska została napisana poprawnym językiem, a treści zostały przedstawione w spójny i logiczny sposób, a sama praca ma klarowną strukturę. Składa się z 8 rozdziałów, dość obszernej bibliografii i listy osiągnięć autora. Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do

rozprawy doktorskiej, gdzie w klarowny sposób uargumentowane zostało podjęcie tematyki, określony cel rozprawy i pokrótce omówiona struktura pracy. Rozdział 2 zawiera interesujące wprowadzenie w fizykę magnetycznych złącz tunelowych, z omówieniem podstawowych efektów fizycznych tam występujących jak i ich zastosowania. Autor nie ustrzegł się błędów redakcyjnych i językowych, w tym stosowanie łącznika zamiast myślnika, pominięte 'to' w 'non-collinear the current' (str. 17), podwójne zdefiniowanie skrótu „CIMS”, niezbyt precyzyjnie jest zdefiniowana wielkość 'p' (str. 18), na stronie 19 pozostało '|Delta', 'sich' zamiast 'such' na stronie 20 i na ostatniej stronie brakuje numeru referencji. W rozdziale 3 zamieszczona została praca (a) opatrzona krótkim wstępem wprowadzającym do wielostanowych MRAMów i streszczający przeprowadzone badania. Sama publikacja jest bardzo dobrze przygotowana i opisuje ciekawe rozwiązanie na realizację złącz MTJ w połączeniu szeregowym z możliwością kontroli ich stanów i stanowi podstawę kolejnych dwóch prac. Po lekturze, nie jest jasne dla mnie jak technologicznie jest realizowane szeregowe połączenie między sąsiednimi MTJ i czy to ogranicza potencjalną gęstość upakowania.

W rozdziale 4 przedstawiony jest ogólny opis sztucznych sieci neuromorficznych, który tym samym stanowi wprowadzenie do pozostałych dwóch rozdziałów-publicacji. Choć jest to krótkie wprowadzenie, to zawiera dużo interesujących informacji pozwalających ze zrozumieniem śledzić treść pozostałych publikacji, w szczególności czytelnikom nie będącym specjalistami w sieciach neuromorficznych. Jest drobna pomyłka w nazwie FPGA na stronie 30, gdzie chyba powinno być „Field” zamiast Flexible, jeśli to się odnosi do standardowych układów FPGA. Rozdział 5 zawiera wprowadzenie i publikację demonstrującą realizację eksperymentalną sieci neuromorficznej na bazie kilku złącz MTJ w połączeniu z obwodem w standardowej technologii CMOS i wykorzystanie jej do rozpoznawania obrazów, konkretnie cyfr zapisanych w macierzy 20x20 pikseli. Pod względem fizycznym, brakuje mi w pracy dokładnej informacji o strukturze MTJ wykorzystanych do tej realizacji. Praca ta wskazuje na dużą wiedzę i doświadczenie kandydata w projektowaniu i realizacji złożonych układów spintronicznych, a także wykorzystaniu jej do konstrukcji nowych urządzeń. Rozdział 6 zawierający wprowadzenie i publikację (c) rozwijają tematykę wykorzystania złącz MTJ do przetwarzania informacji. Te badania skoncentrowane są na synchronizacji oscylatorów typu STO w zakresie mikrofalowym, z polem mikrofalowym pojedynczego nanoscylatora na bazie złącza MTJ i dwóch takich nanoscylatorów w połączeniu szeregowym. Praca ta została zrealizowana we współpracy z zespołem z Japonii. Przedstawione wyniki są interesujące i nowatorskie (wykorzystanie dwa razy wyższych częstotliwości pola i szeregowo połączonych MTJ) i wskazują obiecujący kierunek dalszych badań do wykorzystania sieciach neuromorficznych, jednoznacznie potwierdzające kompetencje kandydata. Trochę brakuje mi pogłębionej dyskusji nad możliwością synchronizacji większej liczby nanoscylatorów jak i fizycznego mechanizmu wyjaśniającego poprawę synchronizacji przy użyciu referencyjnego sygnału o podwójnej częstotliwości. Mam nadzieję, że uda się autorom opublikować tę pracę w bardzo dobrym czasopiśmie.

Pracę kończy lista cytowanych w pracy doktorskiej prac naukowych i lista osiągnięć autora. Bibliografia zawiera 100 pozycji, co pokazujące bardzo dobre rozeznanie autora w

aktualnej literaturze przedmiotu, obejmujące zarówno prace z fizyki jak i z technologii. Pod względem redakcyjnym brakuje ujednoczenia w pisowni tytułów czasopism, tj. z małych czy wielkich liter. Wśród osiągnięć kandydata do stopnia doktora warto wymienić współautorstwo w 9 publikacjach naukowych i dwóch polskich patentach oraz uzyskanie i prowadzenie projektu „Diamentowy grant” i uczestnictwo w realizacji dwóch innych projektach.

Podsumowując, stwierdzam, że pan mgr inż. Piotr Rzeszut przedłożył bardzo dobrą pracę doktorską, zawierającą oryginalne wyniki badawcze związane ze złączami tunelowymi, ich wytwarzaniem i demonstrację ich praktycznego wykorzystania, eksperymentalną charakteryzację układów a także elementy teoretyczne związane z analizą danych. Doktorant zademonstrował szeroką wiedzę w omawianej tematyce i umiejętność samodzielnego prowadzenia badań. Tym samym, stwierdzam, że zgodnie z art. 13 ust. 1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 roku Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669 z późn. Zm.) rozprawa doktorska spełnia wymagania do uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie elektronika, odpowiadającej dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, dyscyplinie Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne.

Biorąc pod uwagę wysoką jakość pracy doktorskiej i cały dorobek doktoranta, obejmujący 9 publikacji naukowych, współautorstwo w dwóch patentach, aktywność grantową i konferencyjną, wnoszę również o wyróżnienie rozprawy doktorskiej pana mgr inż. Piotra Rzeszuta.

Maciej Krawczyk



Prof. dr hab. Maciej Krawczyk
Instytut Spintroniki i Informatyki Kwantowej
Wydział Fizyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 2
61-614 Poznań
Email: krawczyk@amu.edu.pl