

Opinia  
o pracy doktorskiej  
mgr inż. Sławomira Ziętki  
pt. Spin diode effect in metallic multilayers and multiferroic heterostructures

1. Informacje o recenzowanej pracy

Recenzja pracy powstała na zlecenie Pana Dziekana Wydziału Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji AGH prof. dr hab. Krzysztofa Boryczko – pismo nr. IET.510-14/15/163/2017 z dnia 28 lutego 2017. Recenzowana praca doktorska składa się z pięciu podstawowych części.

a) Część pierwsza wstępna (pierwsze trzy rozdziały - 6 stron) to wstęp, omówienie zjawisk magnetorezystancyjnych AMR i GMR w ferromagnetycznych strukturach cienko-warstwowych oraz teoria zjawisk dynamicznych w tych strukturach.

b) Następną część (8 stron) omawia metody eksperymentalne badania zjawisk dynamicznych w strukturach cienko-warstwowych. Omawiana jest metoda pulsacyjnej mikrofalowej magnetometrii PIMM, analizy wektorowej rezonansu ferromagnetycznego oraz efekt diody spinowej. Porównaniu tych metod poświęcony jest artykuł opublikowany na konferencji IEEE Microwave, Radar and Wireless Communications.

c) W następnej trzeciej części (16 stron) analizowane jest zjawisko diody spinowej w strukturach GMR typu zawór spinowy (spin valve). Do tej części dołączone dwa artykuły – jeden opublikowany w Physical Review B, a drugi w Applied Physics Letters. W pierwszym z nich obszernie przedstawiony jest efekt prostowania spinowego – teoria zjawiska oraz wyniki badań eksperymentalnych. Badano efektywne pole anizotropii, zjawisko magnetorezystancyjne oraz dynamikę zjawisk. Porównano też efekt prostowania spinowego w strukturach typu AMR i GMR.

W drugim z artykułów analizowany jest wpływ grubości przekładki metalicznej (a więc wpływ sprzężenia między warstwami ferromagnetycznymi) na zjawisko prostowania spinowego.

d) Część czwarta (13 stron) poświęcona jest stosunkowo nowemu elementowi wykorzystującemu różne zjawiska i różne struktury. Badany jest głównie element w którym na podłożu piezoelektrycznym naniesiona jest struktura magnetorezystancyjna. W takim elemencie przez zmianę napięcia na podłożu piezo (a więc przez wprowadzanie dodatkowego naprężenia) można wpływać na parametry elementu magnetorezystancyjnego. Do tej części dołączone są dwie publikacje – jedna w Applied Physics Letters, a druga w Journal of Magnetism and Magnetic Materials. W pierwszym z nich analizowana jest możliwość sterowania zjawiskiem rezonansu ferromagnetycznego i prostowania spinowego za pośrednictwem napięcia przyłożonego do podłoża piezoelektrycznego.

W drugim artykule analizowany jest wpływ naprężeń wprowadzanych przez podłożo piezo na rezonans fali spinowej i rezonans ferromagnetyczny w elemencie magnetorezystancyjnym.

Dodatkowo przedstawiono analizę mikromagnetyczną elementu oraz możliwość symulacji zjawisk.

e) Ostatnia część to podsumowanie efektów pracy oraz dodatek opisujący technologię wytwarzania badanych elementów.

## 2. Ocena pracy

Przedstawiona praca doktorska dotyczy analizy teoretycznej i eksperymentalnej dynamiki zjawisk w strukturach cienkowarstwowych w zakresie mikrofalowym, ze szczególnym uwzględnieniem efektu diodowego. Tematyka pracy ma istotne znaczenie praktyczne z dwóch powodów. Zjawiska magnetorezystancyjne uchodzą za bardzo szybkie – układ oddzielenia galwanicznego bazujący na zjawisku GMR produkowany przez firmę Nonvolatile Electronics umożliwia transfer danych z szybkościami większymi niż to oferują połączenia światłowodowe. Ponieważ zakres mikrofalowy staje się coraz atrakcyjniejszy dla elektroniki przemysłowej i użytkowej elementy magnetorezystancyjne mogą być konkurencyjne w stosunku do tradycyjnej elektroniki. Aby jednak można było je stosować konieczna jest bardziej wnikliwa analiza zjawisk dynamicznych, np. rezonansów czy efektu diodowego. Temu mogą służyć wyniki recenzowanej pracy doktorskiej.

Z drugiej strony efekty dynamiczne w zakresie mikrofalowym mogą być podstawą do konstrukcji nowych urządzeń, takich jak generatory, modulatory, prostowniki, detektory mocy etc. Autor wymienia tego typu urządzenia, ale nie omawia ich potencjalnych zalet i zastosowań. Trudno jest dzisiaj prorokować, które z omawianych zjawisk znajdą na trwałe praktyczne rynkowe zastosowania – jak to się stało na przykład w przypadku głowic odczytowych. Będę wdzięczny jeśli w ramach dyskusji podczas obrony pracy doktorskiej doktorant poda bardziej konkretne informacje na temat potencjalnych zastosowań praktycznych wyników swojej pracy.

Przedstawioną pracę oceniam bardzo wysoko uwzględniając jej poziom trudności. Praca stanowi dobry przykład równowagi między analizą teoretyczną zjawisk jak i częścią eksperymentalną. Badania i pomiary w zakresie mikrofalowym są bardzo trudne i wymagają dużej precyzji. Moi koledzy zajmujący się podobnymi pomiarami mówili mi, że mają zwyczaj fotografować ustawienie przyrządów, bo nawet drobne ich przesunięcie może wpływać na wyniki badań.

Trzeba podkreślić, że stosowane technologie wytwarzania struktur są bardzo nowoczesne. Jest to prawdopodobnie rezultat możliwości jakie daje nowe centrum zorganizowane przy AGH.

Na szczególne podkreślenie zasługuje dorobek publikacyjny doktoranta. Wszystkie pięć publikacji włączonych do pracy ukazało się w najbardziej prestiżowych pismach naukowych, takich jak Physical Review czy Applied Physics Letters. W tych pismach szczególną wagę przywiązuje się do oryginalności pracy i jej wkładu w stan wiedzy (obok oczywiście wysokich wymagań merytorycznych).

## 3. Podsumowanie

Recenzowaną pracę oceniam bardzo wysoko, jako wyróżniającą się pracę na światowym poziomie - biorąc pod uwagę poziom trudności i jej nowatorstwo. Stwierdzam bez wątpliwości, że praca spełnia wymagania odpowiednich przepisów i może być dopuszczona do publicznej obrony.

Jej poziom merytoryczny jak i fakt opublikowania wyników w tak wielu najbardziej renomowanych czasopismach naukowych sprawia, że równie wysoko oceniłbym ją gdyby była przedstawiana jako rozprawa habilitacyjna. Dlatego stawiam wniosek o rozważenie uznania jej za pracę wyróżniającą się.

Warszawa, 2 maj 2017

