

Recenzja
rozprawy habilitacyjnej dr Macieja Urbaniaka p.t. „Właściwości
magnetyczne i magnetoopór warstw wielokrotnych typu
[NiFe/Au/Co/Au]_N”

Dr Maciej Urbaniak uzyskał stopień magistra fizyki w roku 1994 (UAM) a stopień doktora - w roku 1999; pracę doktorską wykonał pod kierunkiem Profesora Feliksa Stobieckiego w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, gdzie jest obecnie zatrudniony na etacie adiunkta. Od roku 2004 pracuje w Zespole Cienkich Warstw i prowadzi intensywne badania własności wielowarstw magnetycznych; jest to właśnie dziedzina w ramach której mieści się jego rozprawa habilitacyjna.

Rozprawa habilitacyjna dr Macieja Urbaniaka przedstawiona została w formie zestawu złożonego z 10 publikacji, które ukazały się na przestrzeni lat 2004-2008; 8 publikacji ukazało się w czasopismach znajdujących się na tzw. liście filadelfijskiej. Dwie publikacje są samodzielne (ukazały się one w roku 2008) a pozostałe prace są wieloautorskie, jednakże nazwisko Kandydata jest zawsze (z wyjątkiem jednej pracy) na pierwszym miejscu. Podkreślić należy, iż 4 prace ukazały się w prestiżowych czasopismach (*J. Appl. Physics*, *Appl. Phys. Letters* oraz *J. Phys.: Condensed Matter*).

Praca habilitacyjna Kandydata jest poświęcona badaniu własności magnetycznych i transportu elektronowego układów wielowarstwowych otrzymywanych metodą rozpylania jonowego z podstawową komórką bazową o następującej sekwencji podwarstw: (*permaloj/złoto/kobalt/złoto*); powyższa sekwencja przeplatających się podwarstw magnetycznych i niemagnetycznych może być powtarzana N-krotnie (największa krotność badanych w pracy habilitacyjnej

układów sięgała $N=30$). Szczególne zainteresowanie takimi układami wielowarstwowymi w literaturze światowej wynika z faktu, iż dla odpowiednio dobranych grubości podwarstw w zakresie nanometrycznym magnetyzacja podwarstw magnetycznych przyjmują spontanicznie kierunki wzajemnie do siebie prostopadłe. Wynika to z faktu, iż w podwarstwach Co dominuje „prostopadła” anizotropia typu łatwa oś, a w podwarstwach NiFe – anizotropia typu łatwa płaszczyzna. Niekolinearność rozkładu momentów magnetycznych, występująca w rozważanych układach warstwowych, czyni takie układy atrakcyjnymi z uwagi na potencjalne możliwości zastosowań praktycznych, głównie z powodu ich ciekawych charakterystyk magnetooporowych.

Systematycznie prowadzone badania własności magnetooporowych rozważanego układu wielowarstwowego w zespole kierowanym przez Profesora Feliksa Stobieckiego w IFM PAN w Poznaniu doprowadziły do odkrycia interesującego efektu *osobliwego* dla badanego układu wielowarstwowego. Otóż okazało się, iż wykres zmierzonej zależności oporu elektrycznego od wartości pola magnetycznego przyłożonego prostopadłe do warstwy wykazuje istnienie lokalnego minimum w zakresie małych (rzędu kilkuset kA/m) wartości pola zewnętrznego; minimum jest zlokalizowane w otoczeniu zerowej wartości pola magnetycznego i nie występuje gdy pole zewnętrzne jest przyłożone równoległe do płaszczyzny warstwy. Wyjaśnienie przyczyn wystąpienia takiego minimum magnetooporowego stanowi w moim przekonaniu najistotniejszą część osiągnięć Habilitanta. O ile bowiem cała gama wyników eksperymentalnych prezentowanych w rozprawie jest efektem pracy całego zespołu, w którym znacznym był (jak wynika z przedłożonych oświadczeń współautorskich) udział Habilitanta – o tyle modelowo-teoretyczne wyjaśnienie mechanizmów prowadzących do wystąpienia wspomnianego minimum magnetooporowego – należy uznać za samodzielne osiągnięcie Habilitanta. Dlatego też w dalszej części recenzji omówię jedynie osiągnięcia zawarte w obliczeniach numerycznych przeprowadzonych przez Habilitanta w celu uzasadnienia naczelnej tezy rozprawy.

Otóż tezę tę można wypowiedzieć następująco: Zaobserwowane minimum magnetooporowe występujące w prostopadłym polu zewnętrznym w zakresie pól odpowiadających histerezie podwarstwy kobaltu jest przejawem istnienia osobliwej pasiastej struktury domenowej w podwarstwie kobaltu właśnie w tym zakresie pól, a przekaz informacji o istnieniu tej struktury domenowej – od podwarstwy kobaltu do podwarstwy permaloju – następuje na drodze sprzężenia magnetostatycznego pomiędzy nimi. Wysłunięcie takiej hipotezy jest usprawiedliwione głównie z tego powodu, iż badane podwarstwy kobaltu (o grubości w zakresie nanometrycznym) posiadają silną anizotropię powierzchniową (rzędu 0.5 erga/cm^2) typu „łatwa oś” sprzyjającą wystąpieniu w nich pasiastej struktury domenowej. Wydaje się, iż dowód tej hipotezy przedstawiony dalej przez Autora jest fizycznie uzasadniony, pomimo tego, że ogranicza się on jedynie do pokazania jakościowej zgodności doświadczenia z teorią.

W przeprowadzonych przez Habilitanta numerycznych badaniach wydzielić można dwa etapy. Pierwszy etap polegał na przeprowadzeniu symulacji mikromagnetycznych w oparciu o ogólnodostępny program OOMMF. Symulacje te potwierdziły, iż pola magnetostatyczne indukowane strukturą domenową podwarstw Co wywierają istotny wpływ na orientację momentów magnetycznych podwarstw NiFe zmniejszając kąt rozwarości pomiędzy magnetyzacją obu podwarstw magnetycznych, co w efekcie prowadzi do obniżenia oporu układu. Aczkolwiek efekt obliczeń nie był zadawalający pod względem ilościowym (co można usprawiedliwić bardzo uproszczonym modelem zastosowanym do obliczeń w postaci prostej „*nie-meandrującej*” struktury domenowej), to jednak sam fakt, iż symulacje mikromagnetyczne potwierdzają istnienie sprzężenia pomiędzy podwarstwami magnetycznymi jest już bardzo istotny. Drugi etap przeprowadzonych obliczeń numerycznych opierał się na przystosowaniu teorii Draaismy-de Jonge z roku 1987 do rozważanych układów wielowarstwowych i pokazaniu, iż wynikająca z tej teorii struktura domenowa indukowana oddziaływaniami dipolowymi w podwarstwie Co istotnie prowadzi do takich wartości pola magnetostatycznego działającego na podwarstwę permaloju, przy których obliczone charakterystyki magnetooporowe

układu wielowarstwowego $[\text{NiFe}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}]_N$ wykazują istnienie pożądanego minimum lokalnego w zależności opór-(prostopadłe) pole zewnętrzne.

Przeprowadzony przez Autora dowód na istnienie sprzężenia magnetostatycznego pomiędzy podwarstwami kobaltu i permaloju jest bardzo interesujący i uznaję ten wynik za bardzo wartościowe osiągnięcie Habilitanta. Wydaje się, iż wynik ten pozwala sądzić, iż sprzężenia takie będą także obecne poza zakresem pól, w którym występuje minimum magnetooporowe. W rozprawie habilitacyjnej nie znalazłem co prawda żadnej sugestii, która uprawniała by mnie do przyjęcia takiej rozszerzonej hipotezy, lecz moim zdaniem ostatnio przeprowadzone (również w zespole Profesora F. Stobieckiego) pomiary *rezonansu ferromagnetycznego* na układach wielowarstwowch tego samego typu zdają się wskazywać na to, iż ta rozszerzona teza również może być uzasadniona.

Całkowita liczba publikacji Habilitanta wynosi 48 prac. Przy tym dorobku liczba cytowań prac Kandydata nie jest zbyt wysoka (24 cytowania) lecz można to usprawiedliwić faktem, iż najbardziej wartościowe publikacje (w liczbie pięciu) ukazały się stosunkowo niedawno, bo w roku 2008, i jeszcze nie weszły do obiegu informacyjnego. Jednakże inne formy aktywności naukowej Kandydata raczej skłaniają do wniosku, iż wykazuje się on już zauważalną samodzielną aktywnością naukową. Jego prace konferencyjne były prezentowane 44 razy, przy czym osobiście wygłaszał 7 referatów, w tym dwa z nich były referatami wygłaszanymi na zaproszenie. Kandydat odbył 4 krótkoterminowe staże zagraniczne (w sumie trwały one około pół roku) przebywając w różnych centrach badawczych na terenie Niemiec (podkreślić należy, że były to znaczące ośrodki w zakresie badań magnetycznych). Niestety trzeba zauważyć też, że nie wzbogaca sylwetki Habilitanta śladowa wręcz obecność w jego życiorysie działalności dydaktycznej oraz organizacyjnej, jak również brak kierowania samodzielnym grantem badawczym.

Dokumentacja habilitacyjna została przygotowane starannie i przejrzystie. Dołączony do tej dokumentacji komentarz autorski (liczący 29 stron) jest napisany także starannie z b. niewielką ilością znalezionych przeze mnie usterek (przykładem takich usterek niech będą dwie *różne* pozycje literaturowe [38] i [40] noszące takie

same referencje). Pozwolę sobie także w tym miejscu zaproponować autorowi aby używał terminu „międzywierzchnia” zamiast „interfejs” oraz „podwarstwa” zamiast „subwarstwa”.

Reasumując uważam, iż zarówno przedstawiona rozprawa habilitacyjna jak i dorobek naukowy Kandydata usprawiedliwiają jego wystąpienie o stopień doktora habilitowanego, gdyż oba te elementy spełniają w stopniu bardzo przyzwoitym wymagania stawiane w tym zakresie przez Ustawę. ***Wnoszę więc o dopuszczenie Kandydata do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.***



Prof. zw. dr hab. Henryk Puskarski

Poznań, dn. 28 stycznia 2010.