

OPINIA
o rozprawie habilitacyjnej i dorobku naukowym
dr-a Lesława Smardza

Dr Lesław Smardz jest zatrudniony od roku 1983 w Instytucie Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu, obecnie na stanowisku adiunkta. Studia ukończył w roku 1983 (AGH w Krakowie, kierunek „Podstawowe Problemy Techniki”, specjalność: Fizyka Techniczna); pracę doktorską obronił w r. 1988 w zakresie fizyki ciała stałego (promotorem jego przewodu doktorskiego był prof. dr hab. Janusz Baszyński). Recenzowana rozprawa habilitacyjna dr-a Lesława Smardza nosi tytuł:

**„Własności magnetyczne wybranych układów warstwowych sprzężonych
wymienne”**

Jest ona przedłożona w formie 12 publikacji anglojęzycznych (wszystkie ukazały się w czasopismach z listy filadelfijskiej); do publikacji tych jest dołączony (liczący 38 stron) komentarz autorski. Wśród publikacji habilitacyjnych 4 prace są samodzielnymi, a pozostałe są współautorskie, przy czym Kandydat jest zawsze w nich pierwszym autorem; publikacje habilitacyjne ukazywały się w latach 1991-2006 w fizycznych czasopismach międzynarodowych (takich jak: *Journal of Applied Physics* – 1 praca, *J. of Magnetism and Magnetic Materials* – 2 prace, *physica status solidi* – 4 prace i w innych). Obiektem zainteresowania rozprawy habilitacyjnej Kandydata są własności strukturalne i magnetyczne układów wielowarstwowych. Przegląd tych własności jest także zawarty w dołączonym komentarzu autorskim. Poniżej omówię niektóre tylko aspekty recenzowanej rozprawy habilitacyjnej, uwypuklając te zagadnienia, które stanowią moim zdaniem najciekawsze rezultaty osiągnięte w rozprawie.

Tak więc, praca habilitacyjna Kandydata jest poświęcona badaniu strukturalnych i magnetycznych własności specyficznie wybranych układów wielowarstwowych; chodzi głównie o układy dwu- i trójwarstwowe, w których elementy składnikowe – podwarstwy –

pozostają we wzajemnym kontakcie poprzez sprzężenie magnetyczne, głównie natury wymiennej. Otóż specyficzność wyboru układów dwuwarstwowych polegała na tym, iż autor ograniczył się do badania jedynie układów typu ferromagnetyk/antyferromagnetyk z uwagi na to, iż realizujące się na ich międzywierzchniach oddziaływania produkują anizotropię jednozwrotową istotną dla zastosowań praktycznych (anizotropia jednozwrotowa przesuwając i poszerza równocześnie pętlę histerezy). Natomiast specyficzność wybranych układów trójwarstwowych zawiera się w tym, iż składające się nań dwie brzegowe podwarstwy ferromagnetyczne są wprawdzie przedzielone przekładką niemagnetyczną, ale jej grubość pozostaje w zakresie nanometrycznym umożliwiającym podwarstwom ferromagnetycznym pozostawać ze sobą w słabym sprzężeniu wymiennym; właśnie słabość tego sprzężenia ma znaczenie aplikacyjne.

Poniżej omówię niektóre z otrzymanych przez autora wyników, rozpoczynając od układu dwuwarstwowego Co/CoO, który został przez autora „wyprodukowany” w wyniku naturalnego utleniania powierzchniowej warstwy kobaltu w powietrzu w temperaturze pokojowej. Powstający tlenek kobaltu jest antyferromagnetykiem o stabilnych w czasie właściwościach; autor szacuje jego grubość na 4.4 nm, co wystarczająco zabezpiecza warstwę kobaltu przed dalszym utlenianiem. W takiej stabilnej strukturze realizuje się nowy typ sprzężenia wymiennego poprzez międzywierzchnię ferromagnetyk/antyferromagnetyk. Badania autora dowodzą, iż sprzężenia te prowadzą do pojawienia się efektywnego pola anizotropii jednozwrotowej; pole to jednakże zależy silnie od temperatury i zanika w temperaturze ok. 200 K. Tak więc efekt wywołany antyferromagnetyczną podwarstwą w badanym układzie Co/CoO nie mógł być zauważony w temperaturze pokojowej. Toteż zainteresowania autora przeniosły się następnie na inne układy dwuwarstwowe typu FM/AFM, w których wzmiankowana temperatura krytyczna (autor nazywa ją „temperaturą blokowania spinów”) jest większa od temperatury pokojowej. Poszukiwania zakończyły się pomyślnie gdy autor zajął się układami zawierającymi antyferromagnetyczny NiO: otóż dwuwarstwowe układy Co/NiO i Permaloj/NiO mają temperaturę „blokowania spinów” w granicach 500 K, tak więc efekty jednozwrotowej anizotropii mogą być w tych układach także obserwowane w temperaturze pokojowej.

Układy trójwarstwowe badane przez autora mają strukturę następującą: brzegowe podwarstwy są ferromagnetyczne (jest to żelazo lub kobalt), natomiast środkowa podwarstwa – tzw. przekładka – jest niemagnetyczna (tytan lub cyrkon). Do badania sprzężenia przenoszonego poprzez przekładkę niemagnetyczną pomiędzy podwarstwami ferromagnetycznymi autor użył struktury, w której przekładka miała kształt warstwy

klinowej, co umożliwiało badanie (na jednej i tej samej próbce) zmienności lokalnego oddziaływania wraz z grubością przekładki. Tą metodą określono zakresy grubości przekładki niemagnetycznej, dla których realizuje się sprzężenie ferromagnetyczne bądź antyferromagnetyczne; ten ostatni typ sprzężenia znaleziono w układach: Co/Ti/Co, Co/Zr/Co i Fe/Zr/Fe, natomiast w układzie Fe/Ti/Fe występowało tylko sprzężenie ferromagnetyczne. Ponadto w wielowarstwie Co/Ti/Co w tym zakresie grubości przekładki (około 2nm) gdzie zmienia się sprzężenie z ferro- na antyferromagnetyczne autor wykrył obecność bardzo słabego 90° oddziaływania wiążącego podwarstwy Co. Poczynione obserwacje prowadzą również autora do przyjęcia, iż w badanych przez niego trójwarstwach obszar międzywierzchniowy (będący quasi-amorficznym stopem formującym się na styku ferromagnetyk/niemagnetyk) jest obszarem magnetycznie „martwym”. Założenie to potwierdza następnie dodatkowymi pomiarami i szacuje, iż szerokość tej „magnetycznie martwej” warstwy jest w granicach 0.5-1.0 nm. Ze względu na obecność tego „martwego” obszaru zasięg sprzężenia międzywarstwowego w badanych próbkach jest bardzo krótki – autor szacuje, iż jest on w granicach 3.0-3.5 nm (konsekwencją tego jest m. in. to, iż pola koercji obu podwarstw ferromagnetycznych praktycznie nie zmieniają swojej wartości przy wzroście grubości przekładki ponad tę wartość graniczną).

Należy zauważyć, iż większość zbadanych przez siebie próbek wielowarstwowych autor wyprodukował w macierzystym instytucie, korzystając głównie z metody magnetronowego rozpylania katodowego w komorze wysokopróżniowej. Przy okazji, gdy mówimy o technologicznym aspekcie osiągnięć autora, warto zauważyć, iż należy doń także osobne zagadnienie, którym autor zajął się szczegółowo w trakcie badania magnetycznych własności układu Co/CoO, a mianowicie było to badanie kinetyki samego procesu utleniania próbek kobaltowych. Autor zauważył, iż szybkość utleniania ultracienkich warstw Co zależy od ich wyjściowej grubości: warstwy Co o grubości większej niż 5nm utleniają się natychmiast po wyjęciu z komory próżniowej, natomiast warstwy cieńsze utleniają się stopniowo i bardzo wolno, co pozwoliło autorowi przeprowadzić badania zależności sprzężenia międzywarstwowego od grubości antyferromagnetycznej podwarstwy CoO.

Nie kwestionując generalnie wniosków do jakich dochodzi autor objaśniając zaobserwowane przez siebie efekty sprzężenia podwarstw magnetycznych w wielowarstwowych układach, pragnąłbym jednakże dodać swój komentarz na temat natury badanych oddziaływań. Autor określa je jako „oddziaływania wymienne” a przecież nie sposób zaprzeczyć, iż w tych oddziaływaniach mają też swój udział oddziaływania magnetostatyczne. Czy nie byłoby więc bezpieczniej przyjąć, iż badane sprzężenia są

sprężeniami efektywnymi, w których tkwią zarówno przyczynki natury wymiennej jak i natury magnetostatycznej, zwłaszcza, że te ostatnie oddziaływania (pomimo tego, że są słabymi) stają się porównywalne z oddziaływaniami wymiennymi w okolicach punktu ich zmiany z charakteru ferro- na antyferromagnetyczny, lub odwrotnie?

W dorobku Kandydata znajdują się też publikacje wykraczające poza zakres zagadnień omawianych w habilitacji, a stanowią one aż ok. 80% całego dorobku; przykładowo należą do nich zagadnienia związane ze stopami metali odwracalnie absorbującymi wodór, czy też dotyczące wieloskładnikowych litych stopów magnetycznych. Autor badał też własności magnetyczne kryształów monochalkogenidków europu, wyznaczając energię występującego w tych materiałach bikwadratowego sprzężenia wymiennego. W sumie autor opublikował 75 prac naukowych, które były cytowane około 150 razy; w większości są to prace opublikowane w czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Wśród tych prac jest sześć, które autor opublikował samodzielnie (4 z nich weszły do zestawu habilitacyjnego). Dorobek konferencyjny też trzeba uznać za znaczny, gdyż składa się nań około 100 (przeważnie współautorskich) prezentacji konferencyjnych na poważnych krajowych i zagranicznych konferencjach (w tym są dwie prezentacje na zaproszenie). Taka wielka aktywność konferencyjna to pokłosie szerokiej współpracy Kandydata z wieloma ośrodkami krajowymi i zagranicznymi. Niewątpliwie od lat najbardziej intensywną współpracę prowadzi Kandydat z ośrodkiem w Julich oraz Uniwersytetem w Wersalu - w obu tych ośrodkach spędził łącznie ok. 3,5 roku. Ponadto współpracuje też z ośrodkami naukowymi w Kijowie, Orsay (Francja) i Perugii (Włochy), a także krajowymi: w Poznaniu (Politechnika Poznańska), Krakowie i Warszawie. Rezultatem takiego szerokiego frontu współpracy są oczywiście współautorskie publikacje, jednakże w przypadku prac habilitacyjnych dokumentacja przewodu habilitacyjnego zawiera oświadczenia współautorów, z których wynika, iż Kandydat był (w przypadku tych prac) głównym inicjatorem podejmowanych badań oraz ich głównym wykonawcą.

Łączny dorobek Kandydata należy uznać za znaczny, a samą rozprawę habilitacyjną za interesujący wkład autora do naszej wiedzy o naturze sprzężeń magnetycznych występujących w układach wielowarstwowych. Żałować jednak należy, iż ten dorobek naukowy nie jest wsparty podobnym dorobkiem dydaktycznym, skłonny jestem jednakże uznać, iż brak dorobku dydaktycznego jest kompensowany właśnie tym niemałym dorobkiem naukowym Kandydata. Tym bardziej, iż jego aktywność naukowa znajduje także swoje odzwierciedlenie w uczestnictwie w 9 grantach badawczych (3 granty samodzielnie kierowane przez Kandydata).

Całość dokumentacji habilitacyjnej została przez Kandydata przygotowana starannie. Niemniej autor nie ustrzegł się przed popełnieniem w swoim komentarzu drobnych usterek, które przytaczam z obowiązku: (1) w wykazie grantów badawczych są (przy niektórych z nich) podane złe lata ich trwania bądź brak jest stosownych numerów, pod jakimi te granty były realizowane; (2) podobne usterki są w wykazie literatury (patrz pozycje [28] i [31]); (3) podpis pod Rys. 2.13 jest niedopracowany.

Reasumując pragnę stwierdzić, iż zarówno sama rozprawa habilitacyjna dr-a Lesława Smardza jak i jego dorobek naukowy spełniają w moim przekonaniu wymagania Ustawy związane z przyznawaniem stopnia doktora habilitowanego, toteż wnoszę niniejszym o dopuszczenie Kandydata do kolokwium habilitacyjnego.



Prof. zw. dr hab. Henryk Puskarski

Poznań, dn. 10.11. 2006