

Prof. dr hab. Andrzej Wiśniewski
Instytut Fizyki PAN

Ocena prac stanowiących jednotematyczny cykl publikacji będących podstawą postępowania habilitacyjnego oraz dorobku naukowego doktor Marii Tekielak

Podstawą postępowania habilitacyjnego jest cykl dziewięciu prac naukowych opublikowanych w latach 2005 – 2011 w następujących czasopismach:

- Journal of Applied Physics (2 prace), IF (Impact Factor) = 2.1
- Journal of Magnetism and Magnetic Materials (3 prace), IF = 1.7
- IEEE Transactions on Magnetics (1 praca), IF = 1.1
- Materials Science Poland (3 prace), IF = 0.34

Dwie z nich to artykuły naukowe, a siedem to recenzowane prace konferencyjne publikowane w regularnych czasopismach naukowych. Jeśli chodzi o prace konferencyjne, to cztery spośród nich zostały opublikowane w materiałach dużych, renomowanych konferencji międzynarodowych (Joint European Magnetic Symposia (JEMS) – 3 prace oraz INTERMAG – 1 praca), natomiast trzy prace opublikowane w Materials Science Poland to materiały spotkania sieci MAG-EL-MAT (2 prace) i „workshopu” w Dreźnie. W pięciu pracach dr Tekielak jest pierwszym autorem, w jednej drugim, a w pozostałych trzech znajduje się na dalszej pozycji listy autorów. Biorąc pod uwagę, iż w większości artykułów dr Tekielak jest pierwszym autorem oraz na podstawie oświadczenia określającego jej indywidualny wkład do prac, a także uwzględniając oświadczenia współautorów dołączone do dokumentacji habilitacyjnej, można uznać, że wkład naukowy habilitantki w zdecydowanej większości tych prac był dominujący. Prace składające się na rozprawę habilitacyjną stanowią logiczny ciąg. Poświęcone są magnetycznym właściwościom ultracienkich warstw kobaltu, zarówno warstw pojedynczych, jak i układów wielowarstw. Tematykę tę z całą pewnością można uznać za bardzo ciekawą, zarówno z punktu widzenia badań podstawowych (magnetyzm układów o obniżonej wymiarowości), jak i zastosowań (nowy rodzaj pamięci magnetycznych, zjawisko gigantycznego magneto-oporu). Problemy, które dr Tekielak chciała zbadać były jasno określone, a przedstawione publikacje zawierają ich rozwiązanie. W swoich pracach skupiła się ona na:

- zrozumieniu wpływu struktury obszaru międzywarstwowego oraz naprężeń występujących na granicach sąsiadujących warstw na właściwości magnetyczne nanostruktur,

- badaniu procesów reorientacji wektora namagnesowania,
- identyfikacji i zrozumieniu właściwości powstających struktur domenowych,
- w przypadku wielowarstw: na badaniu sprzężenia magnetostatycznego pomiędzy warstwami.

Poniżej omówię bardziej szczegółowo prace składające się na rozprawę. Na wstępie chcę jednak zaznaczyć, iż w mojej opinii, na cykl publikacji będących podstawą postępowania habilitacyjnego składa się zdecydowanie zbyt wiele prac konferencyjnych, a zbyt mało prac tzw. regularnych (oryginalnych). Prace konferencyjne z reguły mają mniejszy oddźwięk w środowisku, traktowane są jako wstępne doniesienia, recenzowane są według trochę innych kryteriów niż prace oryginalne, na ogół są też one rzadko cytowane. Sądzę, że z powodzeniem przynajmniej 2 – 3 prace wchodzące w skład zgłoszonego cyklu mogły być opublikowane jako tzw. prace oryginalne. Wpłynęło by to zapewne pozytywnie na ich percepcję w szerszym środowisku naukowym, zajmującym się tematyką cienkich warstw magnetycznych. Uważam, że nie należy fetyszyzować w każdym przypadku liczby cytowań. Jednak fakt, iż prace składające się na habilitację były cytowane tylko 10 razy (po pominięciu autocytowań), tylko częściowo można wytłumaczyć tym, że dwie najciekawsze prace zostały opublikowane bardzo niedawno (w 2010 i 2011 r.). Wcześniejsze prace, jak sądzę, byłyby bardziej zauważone, gdyby wyniki w nich opublikowane złożyły się na 3 – 4 regularne publikacje, a nie na 7 prac konferencyjnych.

Oceniając prace będące podstawą postępowania habilitacyjnego omówię najpierw pięć prac dotyczących nanostruktur z pojedynczą warstwą kobaltu. Prace te zostały opublikowane w latach 2005 – 2007. Badane próbki były wytworzone metodą epitaksji z wiązek molekularnych (w Instytucie Fizyki PAN). Warstwa kobaltu była zarówno płaska, jak i miała kształt klina. Podstawową metodą doświadczalną wykorzystaną przez dr Tekielak były badania magneto-optyczne (polaryzacyjna mikroskopia i magnetometria Kerr). Przeprowadzone też były badania z wykorzystaniem mikroskopu sił magnetycznych, spektrometru rezonansu ferromagnetycznego i magnetometru z drgającą próbką. Należy podkreślić, że w Zakładzie Fizyki Magnetyków UwB, gdzie pracuje dr Tekielak, warsztat doświadczalny jest systematycznie rozwijany od kilkunastu lat, umożliwia to prowadzenie badań na najwyższym światowym poziomie. Dr Tekielak istotnie się do tego przyczyniła, o czym wspomnę jeszcze w drugiej części recenzji dotyczącej jej dorobku naukowego.

W publikacji H1 zbadano właściwości magnetyczne warstwy kobaltu w postaci klina, osadzonego na buforze z molibdenu i przykrytego warstwą złota. Za najciekawszy wynik przedstawiony w tej pracy można uznać obserwację, iż jeśli zewnętrzne pole magnetyczne

skierowane jest prostopadle do warstwy, obserwuje się występowanie dwóch procesów prowadzących do zmiany kierunku namagnesowania: zarodkowanie nowych domen i propagację ścian domenowych. Który z tych procesów występuje w danym obszarze klina kobaltu, zależy od jego grubości. W pracy tej określono również zależność pola koercji od grubości warstwy kobaltu. W pracy H2 przedstawiono wyniki badań warstwy kobaltu, która z obydwu stron sąsiaduje z warstwami złota. Grubość warstwy była stała, wynosiła 1,5 nm, była więc tak dobrana, by być poniżej wartości, przy której następuje reorientacja wektora namagnesowania: od kierunku prostopadłego w stosunku do warstwy, do kierunku w płaszczyźnie warstwy. Zbadano szczegółowo proces przemagnesowania, pokazano, że początkowo następuje nukleacja domen, a następnie zachodzi propagacja ścian domenowych o charakterze dendrytowym. Wyznaczono powierzchniową gęstość energii ściany domenowej oraz promień zakończenia domeny. Praca H3 zawiera wyniki badań warstwy kobaltu, z jednej strony sąsiadującej z warstwą złota (osadzonej na buforze z molibdenu), a z drugiej strony przykrytej warstwą wanadu lub molibdenu. Stwierdzono występowanie silnej anizotropii jednoosiowej w płaszczyźnie warstwy, która jest indukowana przez warstwę molibdenu. Powoduje to preferencję orientacji ścian domenowych, której nie obserwuje się, gdy warstwą przykrywającą jest wanad. Wpływ nieferromagnetycznej warstwy przykrywającej na anizotropię magnetyczną oraz na strukturę domenową przedyskutowano także w pracy H4. W badanych strukturach warstwa kobaltu miała kształt klina o grubości zmieniającej się od 0 do 2 nm. Wykazano, że to przy jakiej grubości kobaltu następuje zmiana kierunku namagnesowania (od kierunku prostopadłego do powierzchni warstwy, do kierunku równoległego), zależy od rodzaju zastosowanej warstwy przykrywającej (Mo, V, Au). Zaobserwowano również, że na uporządkowanie magnetyczne w warstwie kobaltu ma wpływ to, czy warstwa molibdenu znajduje się „pod” czy „nad” warstwą kobaltu. Ciekawym wynikiem było stwierdzenie silnego wpływu pokrycia warstwą wanadu na namagnesowanie kobaltu – nawet monowarstwa wanadu powoduje reorientację kierunku wektora namagnesowania. Wyjaśniono to zmianą uporządkowania magnetycznego w obszarze międzypowierzchni Co/V. Mianowicie, moment magnetyczny indukowany na powierzchni wanadu, ustawia się antyrównoległe w stosunku do momentu magnetycznego kobaltu, co powoduje efektywne obniżenie wartości momentu magnetycznego kobaltu. W ostatniej pracy z tego cyklu, H6, zbadano procesy magnesowania w warstwach kobaltu o kształcie klina, osadzanych na molibdenie i przykrytych złotem. W tym przypadku grubość klina kobaltu była dużo większa niż we wcześniejszych pracach – zmieniała się od 5 do 50 nm. Określono zależność pola koercji od grubości warstwy kobaltu. Zaobserwowano, iż tworzą się domeny

w kształcie igieł, w których namagnesowanie jest zorientowane w płaszczyźnie warstwy. Orientacja i rozmiary tych domen były zależne od grubości klina kobaltu i orientacji zewnętrznego pola magnetycznego (przyłożonego w płaszczyźnie warstwy). Stwierdzono również, że tylko przy grubości kobaltu mniejszej niż 15 nm obserwuje się wpływ warstwy molibdenu na orientację ścian domenowych. Dla większej grubości kobaltu orientacja ta zależy tylko od kierunku zewnętrznego pola magnetycznego.

Druga grupa prac, złożona z czterech publikacji, poświęcona jest właściwościom warstw wielokrotnych. Są to prace, które zostały opublikowane w latach 2007 – 2011. Chcę zaznaczyć, że tę grupę prac oceniam wyżej od prac dotyczących warstw pojedynczych. Również, biorąc pod uwagę działalność naukową innych pracowników Zakładu Fizyki Magnetyków UwB, właśnie tematykę związaną z badaniem wielowarstw można uznać za tę, w której dr Tekielak odgrywa rolę lidera. Badane próbki były wytworzone (w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN) metodą magnetronowego rozpylania jonowego (sputteringu).

W pierwszej pracy z tego cyklu (H5) przedstawiono wstępne, niemniej ciekawe, wyniki badań wielowarstw Co/Au i Py/AuCo/Au, z liczbą powtórzeń od 1 do 15, o grubości kobaltu od 0,6 do 1,5 nm i grubości niemagnetycznej przekładki Au: 1,5 i 3,0 nm. Zbadano wpływ liczby powtórzeń oraz grubości warstwy kobaltu na strukturę domenową i kształt pętli histerezy. Ciekawy efekt spowodowało wprowadzenie warstwy permalaju – warstwa ta spowodowała ekranowanie pola magnetycznego sąsiednich warstw kobaltu. W efekcie tego magnetostatyczne sprzężenie między warstwami kobaltu uległo osłabieniu, co spowodowało, że przemagnesowanie poszczególnych warstw następowało niezależnie. W następnej pracy (H7), zbadano wielowarstwy o grubości kobaltu: 1, 2 i 3 nm. Za najciekawszy wynik można uznać obserwację poczynioną dla warstw kobaltu o grubości 2 i 3 nm. O ile w pojedynczej warstwie o takiej grubości, wektor namagnesowania leży w płaszczyźnie, to w miarę wzrostu liczby powtórzeń, następuje obrót namagnesowania do kierunku prostopadłego do warstwy.

W tej grupie prac, jak i w całym cyklu, wyraźnie wyróżniają się dwie prace (H8 i H9) opublikowane w J. of Appl. Phys. w roku 2010 i 2011. W pierwszej z nich, teoretycznej, przedstawiono wyniki symulacji mikromagnetycznych sprzężonego magnetostatycznie układu warstwy ferromagnetycznej i nieferromagnetycznej. Przeprowadzono bardzo kompleksową analizę, poczynając od pojedynczej warstwy i warstwy podwójnej, a kończąc na układzie wielowarstw. Symulacje pozwoliły na znalezienie rozkładu namagnesowania w poszczególnych warstwach. W pracy tej uzyskano wiele wartościowych wyników, których nie będę szczegółowo omawiał. Chcę jednak zwrócić uwagę na jeden z nich, który uważam za szczególnie ważny: stworzenie diagramu fazowego (Q , M), gdzie bezwymiarowy parametr

Q zdefiniowany jest jako stosunek energii anizotropii jednoosiowej do energii odmagnesowania nieskończonej warstwy, a N oznacza liczbę powtórzeń. Praca H9, to praca w zasadzie doświadczalna, chociaż także uzupełniona wynikami symulacji mikromagnetycznych. W tej pracy badano konkretny układ wielowarstw $(\text{Co}/\text{Au})_N$. Przeprowadzono analizę oddziaływań magnetostatycznych, przy ustalonej grubości warstwy kobaltu i złota, przy zmieniających się w szerokim zakresie wartościach parametru Q i liczby powtórzeń N . Badano sytuacje, w których pole jest przyłożone w płaszczyźnie próbki i prostopadle do niej. W przypadku tej pracy także należy powtórzyć stwierdzenie o uzyskaniu szeregu cennych wyników. Na pewno wynikiem zasługującym na wyróżnienie jest stworzenie przestrzennych rozkładów namagnesowania w poszczególnych warstwach ferromagnetycznych przy różnych wartościach Q i N . Pokazano, w oparciu o wyniki doświadczalne, jak i o symulacje, że zmiana wartości tych parametrów prowadzi do zmiany uporządkowania magnetycznego: od jednorodnego namagnesowania w płaszczyźnie warstwy do złożonych struktur typu worteksowego z rdzeniem zorientowanym w płaszczyźnie.

Do grupy prac poświęconych wielowarstwom mam dwie uwagi krytyczne.

W pracach dotyczących wielowarstw zabrakło informacji na temat jakości krystalograficznej warstw kobaltu, osadzanych metodą magnetronowego rozpylania jonowego (sputtering). Warstwy te, w odróżnieniu od warstw osadzanych metodą MBE, mają charakter polikrystaliczny, zapewne wykazują teksturę, brak jest jednak informacji na ten temat. Nie jest również oczywiste, jaką strukturę krystalograficzną ma kobalt. Informacje na temat tekstury można znaleźć w publikacjach grupy z Instytutu Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu (gdzie warstwy były wytwarzane), uważam jednak, że habilitantka powinna o tym wspomnieć w swoich pracach, jak również w „przewodniku” po publikacjach. Jest to istotne, jeśli chce się „zszyć” informacje o właściwościach warstwy kobaltu zebrane w trakcie badania warstw pojedynczych (otrzymanych metodą MBE) i wielowarstw.

Na pewno dr Tekielak słusznie przyjęła, że przy większej grubości warstwy magnetycznej, na własności badanych układów decydujący wpływ mają oddziaływania magnetostatyczne pomiędzy sąsiednimi subwarstwami magnetycznymi. Ogólnie jednak, w układach wielowarstwowych oprócz sprzężeń magnetostatycznych występować mogą także inne rodzaje oddziaływań np. sprzężenie typu RKKY lub poprzez mostki ferromagnetyczne. Ponieważ badane układy są metaliczne, wpływ oddziaływań typu RKKY może być istotny. W pracach H5 i H7, omawiając sprzężenie pomiędzy warstwami, nie wspomina się w ogóle o oddziaływaniach RKKY. W części badanych w pracy H5 wielowarstw, warstwa Au rozdzielająca warstwy kobaltu ma grubość 1,5 nm – nie jest wcale oczywiste, że

wystarczająco dużą by „wyłączyć” całkowicie oddziaływanie RKKY. Warto było ten aspekt skomentować. Natomiast w pracy H9 (w której badano warstwy o grubości warstwy złota 3 nm) ten problem jest przedyskutowany.

Dorobek naukowy dr Tekielak, zgodnie z bazą Web of Science (WoS), składa się z 34 publikacji. Sześć z tych publikacji ukazało się przed uzyskaniem stopnia doktora. Dodatkowo dr Tekielak opublikowała 6 prac w czasopismach nie uwzględnionych w bazie WoS. Należy podkreślić, że część artykułów współautorstwa dr Tekielak została opublikowana w czasopismach o bardzo wysokim IF – dwie prace w Phys. Rev. Lett. (IF = 7.6) lub wysokim IF – jedna praca w Appl. Phys. Lett. (IF = 3.8), jedna praca w Nanotechnology (IF = 3.7), cztery prace w J. of Appl. Phys. (IF = 2.1). Prace te były dotychczas cytowane 130 razy (bez uwzględnienia autocytowań), indeks Hirscha wynosi 6. Jakkolwiek nie można uznać, w momencie pisania recenzji, że liczba cytowań jest wysoka, to jestem przekonany, że ulegnie to szybko zmianie. Pięć bardzo dobrych prac (w tym dwie składające się na habilitację) zostało opublikowanych bardzo niedawno (lata 2009 – 2011). Jestem przekonany, że prace te będą często cytowane. Biorąc to pod uwagę oceniam dorobek naukowy dr Tekielak zdecydowanie pozytywnie.

Dr Tekielak od początku swojej pracy naukowej specjalizowała się w badaniach magnetooptycznych: tej tematyki dotyczyła jej praca magisterska, a następnie praca doktorska pod tytułem „Magnetyczna anizotropia i przejścia fazowe związane z reorientacją namagnesowania w warstwach granatów domieszkowanych kobaltom”, której promotorem był prof. A. Maziewski, a która była obroniona w Instytucie Fizyki PAN w 1998 roku. Po uzyskaniu stopnia doktora dr Tekielak praktycznie całkowicie skupiła się na badaniach nanostruktur magnetycznych, głównie zawierających ultracienkie warstwy kobaltu. Ponieważ ta tematyka w dużej mierze złożyła się na prace będące podstawą postępowania habilitacyjnego, nie będę jej szczegółowo omawiał. Wspomnę tylko o bardzo ciekawych pracach, których była współautorką, a które dotyczyły modyfikacji magnetycznych właściwości warstw Pt/Co/Pt poprzez defektowanie jonami Ga oraz o badaniach warstw kobaltu osadzanych na podłożach schodkowych. Dr Tekielak uczestniczyła również w badaniach procesów namagnesowania w nanodrutach z permaloju oraz w mikrodrutach kobaltowych.

Na podkreślenie zasługuje wkład dr M. Tekielak w tworzenie i rozbudowę kilku układów pomiarowych, m.in.: polaryzacyjnych układów mikroskopowych, opartych na efekcie Faradaya, do obserwacji magnetycznych struktur domenowych. Dr Tekielak

współtworzyła oprogramowanie do analizy otrzymywanych obrazów. Brała także aktywny udział w budowie systemu cyfrowej analizy obrazów uzyskanych za pomocą kamery CCD. Zaproponowała i rozwinęła metodę obrazowania remanencyjnego w oparciu o rejestrację obrazów za pomocą polaryzacyjnej mikroskopii magnetoptycznej Kerra. Metoda ta okazała się szczególnie przydatna przy badaniu próbek, w których warstwa kobaltu miała kształt klina.

Dr Tekielak ma istotne osiągnięcia dydaktyczne: prowadziła wykład monograficzny i ćwiczenia „Cyfrowa obróbka obrazu”, wykład „Analiza obrazów” oraz ćwiczenia rachunkowe z fizyki, a także liczne zajęcia laboratoryjne w ramach różnych pracowni. Przygotowywała materiały pomocnicze i stanowiska pomiarowe do zajęć dydaktycznych. Była promotorem 3 prac magisterskich i 9 prac licencjackich. Dr Tekielak owocnie współpracuje z kilkoma ośrodkami zagranicznymi (m. in.: Rosja, Ukraina, Niemcy, Czechy, Francja, Hiszpania). Była na dwumiesięcznym stażu naukowym w Institute for Physical High Technology w Jenie oraz na czteromiesięcznym stażu w Leibniz Institute for Solid State and Materials Research w Dreźnie. Ma bardzo dobrą współpracę nawiązaną wcześniej lub w czasie działalności sieci MAG-EL-MAT z IF PAN, IFM PAN, AGH, ITME. Aktywnie uczestniczyła w konferencjach krajowych i międzynarodowych: wygłosiła dwa referaty zaproszone: na konferencji JEMS 2010 (w Krakowie) i na XL Zjeździe Fizyków Polskich (Kraków, 2009), jest też współautorką 85 prezentacji konferencyjnych. Dr Tekielak nie kierowała żadnym projektem, była jednak aktywnym wykonawcą licznych projektów, także wykonywanych w ramach Krajowych Sieci Naukowych i programu POIG. Należy także pamiętać o jej aktywnej działalności organizacyjnej na rzecz Oddziału Białostockiego PTF i Okręgowej Olimpiady Fizycznej (coroczny udział w organizacji Okręgowych Olimpiad od 1996 r.). Dr Tekielak należała do zespołu, który w 1987 roku otrzymał nagrodę MNiSW, wielokrotnie otrzymywała nagrody Rektora Uniwersytetu Warszawskiego, a następnie Rektora Uniwersytetu w Białymstoku.

W podsumowaniu stwierdzam, że mimo krytycznych uwag związanych ze zbyt dużą liczbą publikacji konferencyjnych zgłoszonych jako osiągnięcie habilitacyjne, oceniając łącznie prace stanowiące jednotematyczny cykl publikacji będących podstawą postępowania habilitacyjnego i dorobek naukowy dr Marii Tekielak, uznaję, że spełnione są wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki. Wnioskuje o nadanie dr Tekielak stopnia naukowego doktora habilitowanego.

Andrzej Niśmura