

Warszawa, 19 czerwca 2015

Dr hab. Andrzej Wawro, prof. nzw. PAN
Instytut Fizyki PAN w Warszawie

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Huberta Głowińskiego
pt.: *Dynamika namagnesowania warstwowych struktur magnetycznych i nanostruktur*

Rozprawa doktorska mgr. inż. Huberta Głowińskiego, realizowana pod kierownictwem promotora prof. dra hab. Janusza Dubowika w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu, poświęcona jest badaniom eksperymentalnym dynamiki namagnesowania metalicznych cienkowarstwowych układów magnetycznych. Tego typu struktury od wielu lat są przedmiotem intensywnych badań ze względu na ciekawe efekty fizyczne w nich występujące oraz szeroki potencjał ich zastosowań praktycznych w dziedzinie szybko rozwijającej się spintroniki, która wykorzystuje posiadanie przez elektron nie tylko ładunku elektrycznego, ale również momentu magnetycznego – spinu. W kontekście postępującej miniaturyzacji oraz rosnącej częstotliwości pracy takich urządzeń, jak np. czujniki pracujące w oparciu o zjawisko gigantycznego magnetooporu (ang.: *GMR*), pamięci nieulotne wykorzystujące tunelowy efekt magnetooporowy (ang.: *MRAM*) czy nanooscylatory generujące sygnał mikrofalowy, podjęcie tej tematyki jest bardzo uzasadnione.

Zasadniczym celem pracy doktorskiej mgr. inż. Huberta Głowińskiego było określenie, głównie przy pomocy techniki pomiaru rezonansu ferromagnetycznego z wykorzystaniem wektorowego analizatora obwodów (ang.: *VNA-FMR*), parametrów mających wpływ na dynamikę namagnesowania układów cienkowarstwowych o grubościach pojedynczych nanometrów, w tym również takich układów, w których występowały sprzężenia pomiędzy warstwami, np. *exchange bias*. Przeprowadzone badania miały na celu pogłębienie niepełnego dotychczas zrozumienia zjawisk występujących na interfejsie pomiędzy warstwą antyferromagnetyczną oraz ferromagnetyczną (AFM/FM). Analizie poddano takie układy, jak: warstwy podwójne Co/IrMn, NiFe/NiMn, warstwy potrójne Au/Co/Au, warstwy wielokrotne Co₂FeSi/IrMn, warstwy CoFeB będące w kontakcie z dielektrykiem MgO oraz podwójne zawory spinowe o złożonej strukturze wielowarstwowej. W badanych układach określono: anizotropię prostopadłą, jednozwrotową, rotacyjną, rezonansowe zależności dyspersyjne $\omega(H)$, parametr tłumienia wzbudzeń spinowych α . Uwagę poświęcono również taśmom amorficznym o grubościach kilkunastu mikrometrów pod kątem występowania w nich zjawiska antyrezonansu ferromagnetycznego. W kontekście zastosowań praktycznych określone w niniejszej pracy parametry mają istotny wpływ np. na szybkość funkcjonowania urządzeń zbudowanych w oparciu o analizowane struktury czy na wartość prądu krytycznego potrzebnego do przełączenia jednostki pamięci *MRAM*.

Część analizowanych warstw o strukturze polikrystalicznej wykonano w Zakładzie Cienkich Warstw IFM PAN w Poznaniu metodą magnetronowego rozpylania jonowego. Innym źródłem pochodzenia próbek była firma Singulus (badania układów typu CoFeB/MgO prowadzone we współpracy z grupą prof. Tomasza Stobieckiego z AGH w Krakowie). Taśmy amorficzne były wytworzone przez komercyjnego producenta. Dla części badanych systemów przedstawiono rentgenowską analizę strukturalną. Badania dynamiki namagnesowania, stanowiące zasadniczą część eksperymentu, wykonano przy pomocy szerokopasmowego *VNA-FMR*. W porównaniu z tradycyjną metodą pomiaru *FMR* w urządzeniu z wnęką rezonansową, pracującym w ustalonej częstotliwości rezonansowej, zastosowanie *VNA-FMR* z paskowym falowodem koplanarnym (ang.: *CPW*) umożliwiło analizę dynamiki zarówno ze zmieniającym się polem magnetycznym, jak również z częstotliwością wzbudzeń w szerokim paśmie od MHz do kilkudziesięciu GHz. W szczególności zaletą tej techniki jest możliwość pomiaru rezonansu ferromagnetycznego w polach magnetycznych, które nie modyfikują struktury domenowej

badanych próbek. W czasie przeprowadzania eksperymentu urządzenie VNA było pierwszym tego rodzaju układem pomiarowym w Polsce. Ponadto zostały zmierzone pętle histerezy magnetycznej przy pomocy magnetometru z drgającą próbką (ang.: *VSM*) i wykorzystującego magnetoptyczny efekt Kerra (ang.: *MOKE*) oraz przeprowadzono pomiary magnetooporu.

Rozprawa zawiera wstęp (rozdział 1), w którym przedstawiono motywację podjętych badań. Rozdział 2 stanowi teoretyczne wprowadzenie do zagadnień magnetyzmu w zakresie objętym przez część eksperymentalną. Zawiera on opis energii dających wkład do anizotropii magnetycznej, efektów związanych z dynamiką namagnesowania oraz zjawiska gigantycznego magnetooporu. W rozdziale 3 omówione zostały zastosowane techniki: pomiar rezonansu we wnęce mikrofalowej, szerokopasmowego rezonansu ferromagnetycznego z wykorzystaniem koplanarnego falowodu, magnetometrii z wibrującą próbką oraz magnetometrii magnetoptycznej, reflektometrii i dyfrakcji rentgenowskiej i magnetooporu. Pokróćce opisano również otrzymywanie warstw przy pomocy rozpylania jonowego. W rozdziałach 4 - 8, których zawartość zostanie szerzej omówiona w dalszej części recenzji, przedstawiono i analizowano kluczowe wyniki uzyskane przez doktoranta. Każdy z tych rozdziałów jest zakończony krótkim podsumowaniem. Najistotniejsze wyniki zebrano w krótkim podsumowaniu stanowiącym rozdział 9. Rozprawa kończy się dodatkiem A, w którym została opisana budowa spektrometru VNA-FMR, sterowanie oraz sposób rejestrowania danych. W dodatku tym przedstawiono również metodykę analizy uzyskanych danych. Liczba referencji cytowanych w rozprawie przekracza 100.

Rozdział 4 poświęcony jest właściwościom najprostszych układów rozważanych w rozprawie typu ferromagnetyk/antyferromagnetyk ze sprzężeniem typu *exchange bias* występującym na interfejsie. Szczególną uwagę poświęcono anizotropii rotacyjnej, której pochodzenie można wyjaśnić zróżnicowaną energią ziaren antyferromagnetyka sprzężonych z ferromagnetykiem. Pod tym kątem doktorant analizował trzy układy warstwowe.

Dla warstw Co/IrMn wyznaczona została relacja dyspersji $\omega(H)$ oraz pętle histerezy. Na ich podstawie określono pole anizotropii jednozwrotowej H_{ex} , czynnik żyromagnetyczny g oraz stwierdzono występowanie anizotropii prostopadłej

W warstwie podwójnej NiFe/NiMn z pomiarów kątowych wykonanych w klasycznej wnęce FMR oraz techniką VNA-FMR określono pole wymiany H_{ex} , pole anizotropii H_u , pole anizotropii rotacyjnej H_{rot} oraz namagnesowanie efektywne M_{eff} . Wyniki uzyskane dla warstwy podwójnej porównano z wynikami dla warstwy referencyjnej NiFe. W tym układzie anizotropia prostopadła jest zaniedbywalna. Występowanie sprzężenia na interfejsie powoduje przesunięcie zależności $\omega(H)$ względem warstwy referencyjnej. Na tej podstawie autor dyskutuje możliwe procesy przemagnesowania. Badania procesów namagnesowania w niskich temperaturach w urządzeniu PPMS miały na celu sprawdzenie, czy w warstwie antyferromagnetyka występują ziarna, które ulegają rotacji. Uzyskane wyniki wytłumaczono efektem zamrażania ziaren w niskich temperaturach. Ponadto zaobserwowano efekt treningu polegający na zmianie kształtu pętli histerezy w kolejnych cyklach przemagnesowania.

Ostatnim typem opisanym w tym rozdziale były warstwy wielokrotne $Co_2FeSi/IrMn$. Półmetaliczne właściwości stopów Heuslera prowadzą do silnej polaryzacji spinowej, która może być wykorzystana w urządzeniach pracujących w oparciu o efekt *GMR* lub tunelowego magnetooporu (ang.: *TMR*). Kształt pętli histerezy wskazuje na występowanie sprzężenia warstw Co_2FeSi z przekładkami IrMn o różnej wartości dla poszczególnych warstw składowych. Na tej podstawie zidentyfikowano linie rezonansowe pochodzące od określonych warstw. Występowanie dość dużych różnic anizotropii rotacyjnej w poszczególnych warstwach wytłumaczone zostało coraz większą ilością ziaren antyferromagnetyka w kolejnych warstwach sprzężonych z warstwą ferromagnetyka.

W rozdziale 5 opisana została dynamika namagnesowania struktur warstwowych Au/Co/Au i CoFeB/MgO z anizotropią powierzchniową. Wyniki dyskutowane są w kontekście szorstkości interfejsów i jakości krystalicznej warstw buforowych.

W układach Au/Co/Au stwierdzono korelację pomiędzy anizotropią magnetyczną a właściwościami strukturalnymi bufora, zależnymi od jego grubości. Za wzrost anizotropii objętościowej odpowiada poprawiająca się tekstura, natomiast rosnąca szorstkość interfejsów powoduje obniżenie prostopadłej anizotropii powierzchniowej.

Druga grupa badanych struktur typu CoFeB/MgO, dostarczona przez firmę Singulus, stanowi bazę do wytwarzania złączy tunelowych. Z pomiarów *VNA-FMR* uzyskano zależność $\omega(H)$ oraz mapy absorpcji mikrofalowej dla kierunków trudnego i łatwego namagnesowania dla warstwy CoFeB o grubości 1.43 nm. Za rozbieżności obserwowane szczególnie w niższych polach w kierunku trudnym odpowiada brak pełnej kolinearności wektora namagnesowania i pola, spowodowany występowaniem anizotropii. Został on potwierdzony w pomiarach *MOKE* i *VSM*. Przeprowadzono również szereg pomiarów *VNA-FMR* dla różnych grubości warstw CoFeBr. Na ich podstawie wyznaczono stałe anizotropii objętościowej i powierzchniowej. Pokazano także silną zależność parametru tłumienia α od grubości bufora w postaci trójwarstwy Ta/Ru/Ta.

Dynamika namagnesowania podwójnych zaworów spinowych jest tematem rozdziału 6. W kontekście potencjalnych zastosowań jest to najciekawsza część rozprawy. Układy tego typu znajdują zastosowanie w spintronice jako zawory spinowe, a ostatnio jako nanooscylatory wykorzystujące przekazywanie momentu pędu elektronu. Służą do generowania prądu o częstotliwości mikrofalowej. Szczególna uwaga poświęcona jest układom złożonym, zawierającym prostopadle namagnesowany polaryzator, warstwę swobodną, łatwo zmieniającą kierunek namagnesowania, oraz analizator o zakotwiczonym kierunku namagnesowania wskutek oddziaływań typu *exchange bias*. W takich układach czas przemagnesowania warstwy swobodnej jest krótszy od 50 ps. W rozdziale tym porównano struktury podwójnego zaworu z polaryzatorem (*SVP*) i bez niego (*SV*) pod kątem wpływu pola rozproszonego pochodzącego od polaryzatora na pozostałe składniki struktury. Zbadano również efekt wygrzewania na właściwości magnetyczne układów.

Rolę polaryzatora pełniły warstwy wielokrotne typu Au/Co. Warstwę swobodną stanowił permaloj. Analizatorem była warstwa Co sprzężona z antyferromagnetyczną warstwą IrMn. Właściwości poszczególnych komponentów (polaryzatora i analizatora) jako indywidualnych układów były analizowane w poprzednich rozdziałach. Dyfrakcja rentgenowska (ang.: *XRD*) pokazała silną teksturę grubszych warstw oraz większe ziarno w grubszym buforze (wyznaczone z formuły Scherrer'a). Reflektometria rentgenowska (ang.: *XRR*) potwierdziła założone grubości warstw i pozwoliła na określenie szorstkości interfejsów na poziomie 0,2 – 0,7 nm.

W strukturach *SVP* dobrze rozróżnialne piki w widmach *VNA-FMR* pozwoliły na wyznaczenie dla każdego ze składników: M_{eff} , anizotropii magnetycznej oraz sprzężenia *exchange bias* analizatora. Pomiary *PMOKE*, dając sumaryczny sygnał od całej struktury *SVP*, potwierdziły oszacowaną przy pomocy techniki *VNA-FMR* wartość anizotropii i sprzężenia.

Pomiary transportowe pokazały dość niską wartość magnetooporu $\Delta R/R = 0,46\%$ z wąskim zakresem pól magnetycznych, w którym magnetoopór przyjmował maksymalną wartość.

Porównanie struktur *SVP* i *SV* pozwoliło na określenie wpływu polaryzatora wywieranego na pozostałe elementy układu poprzez rozproszone pole magnetyczne. W ten sposób wytłumaczono węższe linie w widmie *VNA-FMR* oraz węższe pętle histerezy magnetycznej w strukturze *SV*. Również wyższa wartość magnetooporu (1.25%) spowodowana była słabszym bocznikowaniem. Obecność polaryzatora wpływała w *SVP* także na właściwości strukturalne pozostałych elementów, a w konsekwencji – na ich właściwości magnetyczne, np. na jednorodność magnetyczną opisywaną parametrem ΔH_0 . Z kolei różnice wielkości parametru α wynikały z odmiennej efektywności pompowania spinów w strukturach *SV* i *SVP*.

Ewolucja właściwości magnetycznych pod wpływem wygrzewania struktur prostych *SVP*, inwersyjnych *SVI* oraz *SV* w polu magnetycznym pokazała indukowanie się oddziaływania typu *exchange bias*.

W badaniach magnetycznych struktur metalicznych wykonywanych techniką *VNA-FMR* z użyciem *CPW* rozkład pola nie jest jednorodny w próbce i może zaburzać jakość wyników pomiarowych. Ponadto indukowane prądy wirowe mogą generować dodatkowe pola magnetyczne. Zagadnieniu temu poświęcony jest rozdział 7 rozprawy, w którym analizowany jest wpływ grubości bufora oraz sekwencji warstw składowych na sygnał *VNA-FMR*.

Badaniu poddano struktury podwójnego zaworu spinowego, zawierające polaryzator, warstwę swobodną oraz analizator, osadzone na buforach w formie warstw wielokrotnych Ti/Au o różnych grubościach oraz dwie próbki referencyjne w postaci warstwy Co na klinowym buforze Ti/Au. Badania *VSM* oraz *VNA-FMR* potwierdziły oczekiwane anizotropowe właściwości. Zauważono, że amplitudy sygnału od warstw składowych były wyraźnie większe dla grubszych, dobrze przewodzących buforów. Efekt ten wytłumaczono ekranowaniem pola mikrofalowego. Dodatkowe pomiary na warstwach referencyjnych potwierdziły występowanie tej zależności. Ponadto pokazano, że przy różnych sekwencjach polaryzatora, warstwy swobodnej i analizatora stosunki intensywności linii absorpcyjnych nie odpowiadają stosunkom namagnesowania odpowiednich składników wskutek asymetrii i niejednorodności pola mikrofalowego w technice *VNA-FMR*. Autor przeprowadził interpretację uzyskanych wyników. Pokazał, że przy przejściu przez warstwę magnetyczne pole mikrofalowe zmienia się liniowo. Na tej podstawie skonstruowano profil pola dla próbek o różnej sekwencji warstw składowych. Pokazano, że położenie warstwy antyferromagnetycznej w sekwencji miało kluczowe znaczenie ze względu na jej najwyższą oporność.

W ostatniej części rozprawy, opisującej uzyskane wyniki – rozdziale 8 – dyskutowane są pomiary ferromagnetycznego rezonansu (ang. *FMR*) i antyrezonansu (ang.: *FMAR*) wykonane na dwóch taśmach amorficznych: Metglas 2826MB, zawierającej Fe, Ni, Mo, B i $\text{Fe}_{53.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9\text{Ni}_{20}$ oraz na folii niklowej. Jednoczesna rejestracja obu wielkości była możliwa dzięki zastosowaniu techniki *VNA-FMR* oferującej szerokie pasmo pomiaru absorpcji promieniowania mikrofalowego. Doktorant wyznaczył z dużą dokładnością wartości namagnesowania nasycenia M_s oraz czynnika g .

Układ rozprawy odzwierciedla logiczną metodologię przeprowadzonych badań i analizę otrzymanych wyników. W początkowej części pracy scharakteryzowane są właściwości prostych układów warstw podwójnych, które w układach bardziej złożonych pełnią rolę analizatora i polaryzatora. W kolejnej części analizowane są właściwości magnetyczne i transportowe owych złożonych struktur, mających postać podwójnego zaworu spinowego. Wyniki uzyskane w pierwszej części pracy ułatwiają interpretację pomiarów przeprowadzonych na tych strukturach. W dalszym rozdziale dyskutowane są dodatkowe aspekty – wpływ bufora oraz sekwencja elementów składowych – domykające całość podjętej tematyki. Ostatni fragment pracy – rozdział 8 – znacząco różni się od profilu poprzednich rozdziałów, zarówno pod kątem rodzaju próbek jak i badanych zjawisk fizycznych. Rodzaj charakteryzowanych materiałów wychodzi poza zakres określony tytułem rozprawy. I choć opisane jest tu nowe zjawisko fizyczne – antyrezonans ferromagnetyczny – to zamieszczenie tego rozdziału może stwarzać wrażenie, że praca poświęcona jest raczej możliwościom pomiarowym, jakie oferuje technika *VNA-FMR*, a nie dynamice namagnesowania struktur cienkowarstwowych.

Do najważniejszych osiągnięć pracy doktorskiej mgr. inż. Huberta Głowińskiego można zaliczyć wymienione poniżej zagadnienia.

1. W prostych układach warstwowych typu ferromagnetyk/antyferromagnetyk, w których występuje sprzężenie *exchange bias*, wyznaczone zostały różne rodzaje anizotropii, w tym – rotacyjna. Szczegółowo omówione zostały ich źródła.
2. Udokumentowano wpływ polaryzatora o namagnesowaniu prostopadłym na dynamikę namagnesowania warstwy swobodnej w podwójnych zaworach spinowych. Wyczerpująco scharakteryzowano procesy przemagnesowania zachodzące w tych złożonych strukturach.
3. Zbadany został wpływ rodzaju i grubości warstwy buforowej na intensywność mierzonego sygnału pomiarowego w technice *VNA-FMR*.

4. Określony został profil pola mikrofalowego propagującego się w głąb złożonych struktur wielowarstwowych. Jego natężenie w poszczególnych warstwach składowych determinuje dynamikę namagnesowania analizowanych układów.

Dogłębna analiza powyższych zagadnień pozwala na pewną interpretację uzyskiwanych wyników i może być istotna przy projektowaniu układów spintronicznych znajdujących praktyczne zastosowania, np. nanooscylatorów służących do generowania prądów o częstotliwości mikrofalowej.

Oprócz niewątpliwych silnych stron praca zawiera też kilka słabszych punktów:

1. Charakterystyka strukturalna interfejsów badanych warstw, które wywierają zasadniczy wpływ zarówno na anizotropię warstw magnetycznych jak i na sprzężenie pomiędzy warstwą ferromagnetyczną i antyferromagnetyczną nie jest pełna. Takie pomiary przeprowadzono w zasadzie jedynie dla podwójnych zaworów spinowych (rozdział 6 i 7). Jednak struktury te składają się z kilkunastu warstw składowych i zawierają tyleż interfejsów. Uzyskanie całkowicie wiarygodnego dopasowania do wyników *XRR* z użyciem dwukrotnie większej ilości parametrów (grubość warstw składowych i szorstkość interfejsów) jest niewątpliwie utrudnione. W szczególności w rozprawie brakuje charakterystyki interfejsów w prostych układach: Co/IrMn, NiFe/NiMn, CoFeB/MgO. Dla układu Co₂FeSi/IrMn doktorant wnioskuje nt. wpływu jakości interfejsów na przesunięcie składowych pętli bez przeprowadzonych pomiarów. Przy omawianiu struktury Au/Co zauważony jest wzrost tekstury warstwy Au(111) wraz z jej grubością bez pokazania źródłowych dyfraktogramów typu *rocking curve*. W tekście rozdziału 5 autor podaje wartości szorstkości interfejsów oszacowanych z pomiarów *XRR* (str. 60), natomiast w podsumowaniu stwierdza (str. 69), że parametry te zostały uzyskane z pomiarów mikroskopii sił atomowych. A właśnie ta technika, szeroko dostępna, dająca bezpośrednie i pewne wyniki, jest najbardziej adekwatna do oceny szorstkości interfejsów w układach cienkowarstwowych. Szorstkość ta odgrywa szczególną rolę w przypadku interfejsów pomiędzy ferromagnetykiem i antyferromagnetykiem, o czym wspomina autor rozprawy cytując model Malozemoffa [17].
2. W rozdziale 4.2 analizowany jest układ Co/IrMn. Wierzchnia warstwa Co nie jest przykryta. W wyniku utlenienia może na jej powierzchni pojawić się antyferromagnetyczny tlenek kobaltu, który zwłaszcza w przypadku warstwy Co o grubości 5 nm może istotnie zaburzać właściwości analizowanej struktury.
3. W pracy pojawia się kilka stwierdzeń mających charakter raczej spekulacji niż wniosków dobrze ugruntowanych pomiarami. Przykładami są następujące zdania: *Efekt ten [różne pola rezonansowe zależne od historii próbki] w zakresie małych można wytłumaczyć reorganizacją namagnesowania ziaren antyferromagnetyka na interfejsie FM/AFM* (str. 47) oraz *Różnice te [dotyczą wielkości przesunięcia pętli] wynikają z rosnącej jakości interfejsów kolejnych warstw* (str. 51).
- 4 Na str. 57 autor przypisuje występowanie anizotropii jedynie wkładowi pochodzącemu od powierzchni: *Przy transformacji orientacji namagnesowania z płaszczyzny do kierunku prostopadłego do płaszczyzny anizotropia kształtu (rozdział 2.1.3) jest dokładnie kompensowana przez anizotropię powierzchniową*. W dalszej części pracy ten błąd już nie występuje.
5. Z uwagi na występowanie silnej tekstury (111) w warstwie Au w układzie Co/Au (str. 60) i strukturach podwójnego zaworu spinowego (str. 74) należy liczyć się z koherentnym wzrostem naprężonej warstwy Co i w związku z tym z pojawieniem się anizotropii magnetycznej. W rozprawie autor nie wspomina o takim wkładzie do anizotropii magnetycznej.
6. Brakuje podania przyczyny występowania oraz orientacji kierunku trudnego namagnesowania w warstwach CoFeB/MgO
7. W rozdziale 8 autor wyznaczył wartości czynnika *g* dla trzech badanych materiałów. Dwa z nich zawierają atomy Ni i Fe, które odpowiadają za magnetyczne właściwości. W tym kontekście brakuje komentarza uzyskanego wyniku.

Inne potknięcia natury edytorskiej:

- w wielu przypadkach początek zdania rozpoczyna się małą literą;
- w tekście rozprawy występują literówki i błędne sformułowania gramatyczne;
- na osiach wykresów reprezentujących jednostki umowne występuje skala cyfrowa (np. Rys. 4.1, 4.9, 6.9);
- opis osi wykresów ma niejednakowy charakter: *pole* (Rys. 4.9 i 5.3) vs *H* (Rys. 4.8 i 5.2) oraz *frequency* (rys. 5.10);
- w opisie konfiguracji pomiarów MOKE zamiast *namagnesowania* powinno być *przyłożone pole magnetyczne* (str. 35);
- wprowadzony został pomyłkowy opis bufora: IrMn zamiast NiMn (str. 43 i podpis Rys. 4.4);
- warstwa swobodna nazwana jest analizatorem (str.61).

Wyniki przedstawione w rozprawie doktorskiej opisane są w dwunastu pracach opublikowanych w recenzowanych czasopismach, z których przeważająca część ma zasięg międzynarodowy i znajduje się na tzw. liście filadelfijskiej. Zaliczają się do nich: *Applied Physics Letters* (IF=3,739), *Physical Review B* (3,564), *Journal of Applied Physics* (2,259), *Acta Physica Polonica A* (0.511). W czterech pracach doktorant jest pierwszym współautorem. Wg danych z bazy Web of Science z dnia 18 czerwca 2015 publikacje te są cytowane 28 razy (23 razy bez autocytowań), a czynnik h wynosi 4. Należy również podkreślić, że doktorant miał swój znaczący udział w budowie układu, na którym przeprowadzał pomiary opisane w recenzowanej pracy.

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr. inż. Huberta Głowińskiego pt. *Dynamika namagnesowania warstwowych struktur magnetycznych i nanostruktur* spełnia ustawowe wymogi (Art. 13 Ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003) stawiane pracom doktorskim z fizyki. W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr. inż. Huberta Głowińskiego do kolejnych etapów przewodu doktorskiego.

