

*Prof. dr hab. inż. Marek Przybylski
Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik,
Weinberg 2, 06120 Halle, Niemcy*

*i
Katedra Fizyki Ciała Stałego,
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,
Akademia Górniczo-Hutnicza,
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków*

R E C E N Z J A

pracy doktorskiej

p. mgr inż. Piotra Kuświka

pt.

„Wpływ bombardowania jonowego na właściwości magnetyczne układów warstwowych $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$ ”

Rozprawa doktorska p. mgr inż. Piotra Kuświka dotyczy wpływu bombardowania jonowego na własności magnetycznych układów wielowarstwowych $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$. Praca została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Feliksa Stobieckiego w Zakładzie Cienkich Warstw Instytutu Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk w Poznaniu.

Przedstawiona rozprawa jest efektem kilkuletniej pracy p. Piotra Kuświka w zespole prof. Feliksa Stobieckiego, co już samo w sobie jest świetną rekomendacją. Biorąc pod uwagę, że recenzowana praca jest kontynuacją głównego nurtu badań uprawianych w zespole prof. Stobieckiego od wielu lat, to nie dziwią wysokie oczekiwania związane z recenzowaną pracą. Przypuszczenia te potwierdzają się w trakcie lektury pracy, której wysoki poziom naukowy nie ulega najmniejszej wątpliwości. Praca jest poświęcona ważnym problemom będącym przedmiotem zainteresowania wielu laboratoriów na świecie nie tylko z powodów poznawczych, ale w szczególności ze względu na potencjalne zastosowania takich struktur np. do zapisu informacji (co zresztą autor wielokrotnie zauważa).

Praca ma typowy układ: wstęp (podstawowe własności magnetyczne układu $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$, procedura bombardowania jonowego, metodyka badawcza) + wyniki i dyskusja badań eksperymentalnych (opisywane razem z nieco zaskakującym podziałem wg energii bombardujących jonów). Pierwsze wyniki badań pojawiają się na stronie 66,

poprzedzone wstępem/przewodnikiem po rodzajach badanych próbek. Na stronie 99 pojawia się najistotniejszy dla pracy rozdział „Strukturyzacja magnetyczna z wykorzystaniem bombardowania jonowego”, czyli opis tego, do czego wcześniej opisane badania służyły. Część merytoryczna pracy kończy się krótkim podsumowaniem. Ostatnie 22 strony to spis literatury, skróty, symbole, spis rysunków i tabel (nigdy nie wiem po co się takie spisy zamieszcza...). Łączna objętość pracy to 149 stron, co jest objętością bardzo dużą. Należy jednak zauważyć, że „wyniki pomiarów i dyskusja” to jakieś 60 stron... Można też zadać pytanie, na ile tak szerokie wstępy są konieczne dla interpretacji i zrozumienia wyników uzyskanych przez Autora. Ale odpowiedź będzie korzystna dla Autora, który opisuje tylko to, co w dalszej części pracy jest rzeczywiście potrzebne.

Do części „teoretycznej” pracy nie mam wielu uwag, jakkolwiek nieco zaskoczył mnie rozdział 3.1, w którym autor opisuje efekt GMR w różnych „strukturach”. Oczywiście efekt GMR we wszystkich opisanych przypadkach występuje zawsze wtedy, gdy wzajemne namagnesowanie warstw ferromagnetycznych zmienia się z antyrównoległego na równoległe. Natomiast oczywiście taką zmianę można uzyskać za pomocą pola magnetycznego wykorzystując albo różne koercje obu warstw, albo efekt anizotropii „jednozwrotowej” (jak ją nazywa Autor) nie pozwalającej na zmianę namagnesowania jednej z warstw. Oczywiście warto zauważyć, że pośrednie sprzężenie magnetyczne pomiędzy obu warstwami nie jest wtedy potrzebne.

Rozpoczynając czytanie brakuje jasnego i jednoznacznego wyjaśnienia po co w pracy znajduje się rozdział 4 mówiący o „Bombardowaniu jonowym układów warstwowych”. We „Wstępie” (na stronie 1) poświęcone jest temu tylko jedno zdanie nie stanowiące jednak wyjaśnienia istoty sprawy. Sytuacji nie poprawiają uwagi typu „Takie gęstości zapisu można osiągnąć w nośnikach z anizotropią prostopadłą, w szczególności, gdy są one poddane strukturyzacji topologicznej lub magnetycznej”. Dopiero na stronie 43 można przeczytać do czego potrzebne jest bombardowanie jonowe, co to jest „strukturyzacja magnetyczna” (że chodzi o lokalne zmiany bądź to anizotropii, bądź to oddziaływań pomiędzy dwoma warstwami), i do czego może to służyć.

Rozdział 5 stanowi zgrabne omówienie własności magnetycznych układów $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$. Układy te są przedmiotem badań w grupie prof. Stobieckiego od wielu lat, są więc systematycznie i szczegółowo scharakteryzowane.

Rozdział 6 to opis technik eksperymentalnych, w szczególności tych stosowanych przez Autora, a więc rentgenowskiej reflektometrii, magnetometrii z wirującą próbką, czy też pomiarów magnetooporu.

Muszę niestety przyznać, że w swojej zasadniczej części (rozdział 7) praca jest nieco nużąca i dość trudno się ją czyta. Powodem jest prawdopodobnie układ pracy, a więc systematyczne opisywanie tego co się dzieje, gdy próbki bombardowane są jonami o coraz wyższych energiach. Nie bardzo wiadomo dlaczego autor postąpił właśnie tak. Być może powodem był bezpośredni związek pomiędzy konkretną energią bombardujących jonów, a poświęcona danemu eksperymentowi publikacją (tak np. zjawiska będące następstwem bombardowania jonami o energii 10 keV, zostały opublikowane w pracy „A”, zaś efekty bombardowania jonami o energii 30 keV w pracy „B”, itd.). Wydaje się, że lepiej byłoby uszeregować podawane informacje wg własności fizycznych, których zmiana byłaby spowodowana bombardowaniem jonami (np. 7.1 „zmiany anizotropii powierzchniowej warstwy Co”, 7.2 „zmiany w warstwie $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ”, 7.3 „zmiany sprzężenia międzywarstwowego”, etc.). Szczególnie, że tych diskutowanych wielkości nie jest dużo, a autor wymienia je na początku podrozdziału 7.1 (na stronie 66).

Na szczęście autor zamieszcza ciekawe informacje „pochodne”, które urozmaicają lekturę. Przykładem jest rozważanie w podrozdziale 7.1.1 dotyczące rozdzielenia wkładów do mierzonej pętli histerezy pochodzących od obu warstw ferromagnetycznych.

Rozdział 7 jest niezwykle dokładnym i pełnym opisem aktywności badawczej Autora, zawierającym informacje o ogromnej liczbie próbek poddawanych bombardowaniu jonami o różnych energiach. To dobrze, że w pracy są tylko dwie tabele, a wyniki przedstawiane są głównie na wykresach.

Pierwsza część rozdziału 7 jest poświęcona efektom bombardowania jonami helu o stosunkowo niedużej energii (10 keV) próbek jednokrotnych $((\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au})_1)$ zarówno o zmieniającej się grubości warstwy Co, jak i próbek o zmieniającej się grubości przekładki Au. Pokazano, że bombardowanie jonami o tej energii stosunkowo słabo modyfikuje własności magnetyczne dla różnych grubości Co, przy czym powyżej pewnej dawki obszar grubości Co o prostopadłej anizotropii przestaje istnieć i materiał początkowo nieferromagnetyczny, powyżej pewnej grubości od razu staje się ferromagnetyczny z anizotropią typu łatwa płaszczyzna. Należy tutaj wyjaśnić, że, podobnie jako Autor, sytuacją „o anizotropii prostopadłej” nazywam sytuację, gdy anizotropia prostopadła dominuje nad anizotropią kształtu i kierunek prostopadły do powierzchni warstwy jest tzw. kierunkiem łatwego namagnesowania. Poza osłabieniem prostopadłej anizotropii powierzchniowej (wydedukowanym dla grubszych warstw na podstawie charakteru zmian efektywnej stałej anizotropii w funkcji grubości), obserwuje się zanik własności ferromagnetycznych dla cieńszych warstw Co. Bombardowanie jonowe ma też wpływ na sprzężenie

międzywarstwowe, jak można się domyślić tym silniejszy im cieńsza jest przekładka Au. Podzielam opinię Autora, że najbardziej prawdopodobną przyczyną jest zniszczenie przekładki prowadzące do bezpośredniego (mostki) sprzężenia magnetycznego pomiędzy warstwami.

W dalszej części tego rozdziału (podrozdział 7.2) przedmiotem badań i analizy są podobne struktury magnetyczne jak poprzednio, tyle, że wielokrotnie powtórzone (warstwy wielokrotne, $N=10$), bombardowane jonami helu o energii rzędu 30 keV. Autor podzielił ten rozdział na dwie części dedykowane odpowiednio warstwom o zmieniającej się grubości Co (rozdz. 7.2.1) i o zmieniającej się grubości Au (rozdz. 7.2.2). Niestety, warstw wielokrotnych ze zmieniającą się grubością Co było kilka rodzajów... Nie czyta się łatwo, bo np. wydzielony podrozdział dedykowany warstwom wielokrotnym $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au})_{10}$ ma kolejne dwa nierozróżnialne podrozdziały, jeden dedykowany warstwie wielokrotnej o konkretnej grubości Co, a drugi warstwom wielokrotnym o zmieniającej się grubości Co. I tak, warstwy wielokrotne bez Co i warstwy wielokrotne bez $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ pozwoliły stwierdzić, że bombardowanie jonowe zmienia właściwości warstw Co (podobnie jak to obserwowano dla warstw jednokrotnych bombardowanych jonami helu o energii 10 keV), nie ma natomiast większego wpływu na warstwy $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$. Ciekawą obserwacją jest zachowana chemiczna ostrość interfejsów Co/Au aż do bardzo wysokich dawek bombardujących jonów. Wyniki dla warstw wielokrotnych $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au})_{10}$ wskazują na znaczne obniżenie anizotropii powierzchniowej przy niezmienionej anizotropii objętościowej dla dawek większych niż $10^{15} \text{ He}^+/\text{cm}^2$. Autor zaobserwował też zmiany amplitudy magnetooporu, które wyjaśnił jako efekt wzrostu gęstości defektów (a w konsekwencji zmniejszenia średniej drogi swobodnej elektronów) i wzrostem szorstkości interfejsów. Jednak zmianom anizotropii powierzchniowej i zmianom amplitudy magnetoopru nie towarzyszą żadne zmiany w pomiarach rentgenowskiej reflektometrii (XRR). Ciekawą obserwację poczynił Autor za pomocą mikroskopu sił magnetycznych (MFM) dla warstwy wielokrotnej o stałej grubości Co. Pokazał mianowicie, że period pasiastej struktury domenowej silnie maleje ze zmniejszaniem się anizotropii prostopadłej subwarstw Co. Na zakończenie tego rozdziału Autor pokazał, że bombardowanie jonami o energii 30 keV nie ma wpływu na charakter sprzężenia ferromagnetycznego pomiędzy warstwami $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ i Co, przynajmniej dla przekładek Au grubszych niż 1.5 nm.

Wreszcie kolejna część rozdziału 7 (podrozdział 7.3) poświęcony jest skutkom bombardowania warstw wielokrotnych $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au})_{10}$ jonami argonu o energii 100 keV. Własności magnetyczne po bombardowaniu określano z pomiarów krzywych

namagnesowania $M(H)$ i pomiarów magnetooporu $R(H)$ stwierdzając, że skutki takiego bombardowania są bardzo podobne do tych będących wynikiem bombardowania jonami helu o energii 30 keV. W każdym razie bombardowanie jonami argonu o energii 100 keV powoduje zmiany własności magnetycznych już przy stosunkowo niewielkich dawkach. A dawki powyżej $10^{14} \text{ Ar}^+/\text{cm}^2$ powodują już silne mieszanie objętościowe i wynikające z tego zmniejszanie się całkowitego momentu magnetycznego układu wielowarstwowego, całkowity zanik własności ferromagnetycznych dla najcieńszych (0.45 nm) warstw Co, większą liczbę ziaren superparamagnetycznych, czy wręcz zmiany strukturalne widoczne w pomiarach XRR. Z punktu widzenia anizotropii magnetycznej, podobnie jak to było w przypadku warstw bombardowanych jonami helu o energii 30 czy 10 keV, zmiany dotyczyły tylko wkładu powierzchniowego do energii anizotropii odpowiedzialnego za prostopadłe namagnesowanie warstw Co. Wkład objętościowy praktycznie nie ulegał zmianie, co w konsekwencji powodowało zmniejszanie się grubości odpowiadającej zmianie kierunku łatwego namagnesowania (SRT) wraz ze zwiększaniem dawki. Podobnie (jak w przypadku bombardowania jonami helu o energii 30 keV) zachowują się zmiany magnetooporu w funkcji wielkości dawki bombardujących jonów, które wydają się wskazywać, że obserwowaną redukcję magnetooporu należy przypisać wzrostowi oporu spowodowanemu rosnącą gęstością defektów w objętości warstwy, a także zmianom struktury interfejsów.

Wreszcie rozdział 7.4 dotyczy praktycznego wykorzystania wiedzy o skutkach bombardowania w zależności od energii i dawki jonów. Autor proponuje dwie metody magnetycznej strukturyzacji: (1) bombardowania jonowego poprzez maskę utworzoną z dwuwymiarowej heksagonalnej sieci kulek polistyrenowych zmieniającego lokalnie anizotropię magnetyczną i (2) bombardowania jonowego poprzez wierzchnią warstwę Au, zmieniającego koercję w sposób liniowo zależny od grubości wierzchniej warstwy Au, pozwalającego na kontrolowany ruch ściany domenowej wzdłuż gradientu koercji. Pierwsza metoda testowana była na warstwach: (1) wielokrotnych o grubości Co 0.6 nm bombardowanych jonami o energii 10 keV, (2) wielokrotnych o grubości Co 0.6 nm bombardowanych jonami o energii 100 keV, (3) pojedynczych o zmiennej grubości Co bombardowanych jonami o energii 100 keV. Wynik testowania można podsumować stwierdzając, że Autorowi nie udało się uzyskać jednodomenowych obszarów z prostopadłą anizotropią magnetyczną w wyniku bombardowania warstw wielokrotnych jonami o energii 10 keV, udało się to natomiast w przypadku bombardowania jonami o energii 100 keV przy dawkach powyżej $10^{16} \text{ Ar}^+/\text{cm}^2$. Jeśli grubość warstwy Co wynosiła 0.6 nm, to obszary bombardowane traciły własności ferromagnetyczne (i powstawały izolowane jednodomenowe

obszary ferromagnetyczne o prostopadłej anizotropii w nieferromagnetycznej matrycy), przy grubościach do 1.1 nm obszary nieferromagnetyczne pozostały odseparowane od siebie (i powstał ciągły obszar ferromagnetyczny z prostopadłą anizotropią), natomiast przy grubościach Co większych niż 1.3 nm obszary bombardowane stały się obszarami z anizotropią w płaszczyźnie (a więc powstały obszary ferromagnetyczne o prostopadłej anizotropii w ferromagnetycznej matrycy o anizotropii w płaszczyźnie). W przypadku metody wykorzystującej zmiany H_c w funkcji grubości wierzchniej warstwy Au, udało się te zmiany potwierdzić, a ruch ściany domenowej wzdłuż gradientu koercji zobaczyć za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego.

Rozprawa doktorska p. mgr inż. Piotra Kuświka kończy się krótkim, acz zdecydowanym „Podsumowaniem”.

Praca jest przykładem wszechstronnego podejścia do rozwiązywanych problemów. Metodyka badań, a w szczególności zastosowane techniki pomiarowe takie jak magnetometria z wibrującą próbką (VSM), magnetoptyczny efekt Kerra (MOKE), a w szczególności pomiar magnetooporu, są, moim zdaniem, prawidłowe i optymalne do założonego celu pracy. Przeprowadzona analiza wyników pomiarowych jest (poza niewielkimi wyjątkami) pełna i logiczna. Konkluzje wydają się być znaczące dla zrozumienia zjawisk magnetycznych zachodzących w wyniku bombardowania jonowego, a ich potwierdzeniem są zaproponowane (z sukcesem) metody magnetycznej strukturyzacji.

Do interesujących wyników pracy zaliczyłbym m. in.:

- (1) zmniejszanie się H_c w wyniku bombardowania jonowego, co świadczy o zredukowanej efektywnej anizotropii, a nie o wprowadzaniu defektów,
- (2) wyznaczenie stałych anizotropii ze zmierzonej wartości pola nasycającego (H_s), odseparowanie wkładu objętościowego od wkładu powierzchniowego do energii anizotropii, a w konsekwencji wykazanie, że zanik anizotropii prostopadłej jest spowodowany osłabieniem anizotropii powierzchniowej,
- (3) stwierdzenie, że istotnym zmianom anizotropii powierzchniowej nie towarzyszą widoczne zmiany w pomiarach reflektometrycznych, czyli że przyczyną zmian może być np. relaksacja naprężeń,
- (4) zaobserwowanie związku pomiędzy periodem domenowej struktury pasmowej, a także kontrastem pomiędzy domenami, a zwiększającą się dawką bombardujących jonów, co jest efektem zwiększonej gęstości ścian domenowych wynikającej z obniżenia anizotropii powierzchniowej,

(5) zaobserwowanie, że anizotropie w warstwach $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ i Co mają wpływ na zależność $R(H)$, ale nie mają wpływu na wielkość magnetooporu,

(6) pokazanie, że charakter zależności magnetooporowych w niskich temperaturach jest podobny do tego przed bombardowaniem, a przyczyną jest typowa temperaturowa zależność anizotropii, czy wreszcie

(7) ciekawa obserwacja nierównomiernego rozłożenia kontrastu w obrazkach z mikroskopu sił magnetycznych wynikająca z wpływu pola rozpraszającego ferromagnetycznej igły mikroskopu.

Za najważniejsze osiągnięcia Autora przedstawione w recenzowanej rozprawie doktorskiej uważam:

1. Pełne, szerokie i szczegółowe podejście do postawionego problemu naukowego, w szczególności poprzez zdefiniowanie i zbadanie wszystkich możliwych układów referencyjnych umożliwiających poprawną interpretację zmian własności magnetycznych będących następstwem bombardowania jonami o różnych energiach,

2. Pokazanie, że zanikanie anizotropii prostopadłej w wyniku bombardowania jonowego jest efektem zanikania prostopadłej anizotropii powierzchniowej będącym wynikiem zmian struktury interfejsów Co/Au,

3. Skuteczne wykorzystanie wyników badań do lokalnej strukturyzacji magnetycznej z wykorzystaniem masek z kulek polistyrenowych,

4. Zaproponowanie zupełnie nowej metody modyfikacji własności magnetycznych, a w szczególności kontrolowanego ruchu ścian domenowych, przy pomocy klina Au.

Równocześnie praca stawia wiele interesujących pytań i otwiera pole do dalszych badań, co także należy uznać za duże osiągnięcie Doktoranta.

Z obowiązku recenzenta: za pewną uwagę krytyczną uważam niejasno sformułowany cel pracy w jej wstępnych rozdziałach. Mam też wspomniane już wcześniej zastrzeżenia do układu pracy, szczególnie do systematyki opisu wyników w rozdziale 7. Nie formułowałbym też konkluzji typu: „strukturyzacja polegająca na lokalnej zmianie właściwości magnetycznych może być zrealizowana zarówno z wykorzystaniem jonów helu jak i argonu, pod warunkiem odpowiednio dobranej dawki i energii jonów”, choćby dlatego, że wniosek taki był dość łatwy do przewidzenia i znany wcześniej z literatury.

Zwróciłbym też uwagę na istniejące, przynajmniej potencjalnie, ograniczenia w porównywaniu wniosków Autora dla różnych energii bombardujących jonów ze względu na fakt, że jonami helu o energii 10 keV bombardowane były tylko warstwy jednokrotne,

jonami helu o energii 30 keV tylko warstwy wielokrotne, które były też co prawda bombardowane jonami o energii 100 keV, ale były to wtedy jony argonu. Należy przy tym pamiętać, że w warstwach wielokrotnych, w wyniku wielokrotnego powtarzania podstawowej sekwencji układu, degradują się interfejsy, czyli zachodzi efekt nieco zbliżony do efektów bombardowania jonami wysokich energii.

Mam też kilka drobnych uwag. Przykładowo wymieniam podpisy pod rysunkami, które są niepełne, w szczególności nie zawsze wymieniana jest próbka, do której odnoszą się wyniki przedstawione na rysunku. Na stronie 66 Autor wymienia dyskutowane później wielkości fizyczne. Niestety wymienia tylko symbole. Znaczenia niektórych z nich można się domyślić na podstawie lektury wcześniejszych rozdziałów (koercja, pole nasycenia), niektóre są częściowo wyjaśnione w podpisach rysunków, ale... W szczególności nie wiadomo, czy „kąt określający skrócenie płaszczyzny polaryzacji światła” to rotacja (ang. *rotation*), czy też może eliptyczność (ang. *ellipticity*), czyli tak naprawdę nie wiadomo jaką wielkość autor mierzył za pomocą magnetoptycznego efektu Kerra. Przykładem drobnej niedoskonałości może też być rysunek 7.21, z podpisu pod którym trudno się zorientować, czy w obu przypadkach dawki były takie same... Dopiero czytając pracę po raz drugi zorientowałem się, że tak naprawdę chodzi o nominalnie takie same próbki, nie poddane żadnemu bombardowaniu, ale dedykowane dwóm różnym eksperymentom.

Za niepotrzebne i nieprzydatne uważam spisy rysunków i tabel (szczególnie, że są tylko dwie) zamieszczone pod koniec pracy, odpowiednio na stronach 139 i 149. Poza drobnymi błędami językowymi jest też w pracy trochę błędów typograficznych. Nie umniejsza to oczywiście w niczym wartości merytorycznej pracy.

Znamienne jest „Podsumowanie”, w którym główną uwagę zwraca autor na zaproponowane technologie strukturyzacji magnetycznej (opisane w rozdziale 7.4), bo o to w tej grze chodzi. A wszystko to co jest opisane wcześniej, to to co wiedzieć trzeba, aby strukturyzację magnetyczną skutecznie zastosować.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że praca nie stanowi opisu dokonań całego zespołu pracującego nad realizacją projektu badawczego, lecz jest samodzielny opracowaniem tylko własnego wkładu Autora. Wyraźnie wskazuje na to uwaga zamieszczona na końcu rozdziału 6 opisującego „metodykę badawczą”, gdzie w sposób jednoznaczny autor określa, które pomiary zostały w całości wykonane przez niego, które z udziałem autora, a które zostały zapożyczone tylko na cele pełniejszej interpretacji wyników.

Jeszcze bardziej godnym podkreślenia jest dojrzałość naukowa z jaką Autor prowadził swoje badania. Każde posunięcie eksperymentalne jest głęboko przemyślane, poprzedzone

analizą teoretyczną, często symulacjami. Z kolei każdy otrzymany wynik jest szczegółowo interpretowny, i wszystkie, nawet najdrobniejsze, obserwacje do końca wyjaśnione.

Pan mgr inż. Piotr Kuświk jest współautorem 10 publikacji, z których cztery dotyczą bezpośrednio tematyki pracy doktorskiej, czyli magnetycznych skutków bombardowania jonowego układów wielowarstwowych $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$, kolejne cztery dotyczą własności magnetycznych i strukturalnych struktur typu $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au}$ lub $(\text{Co}/\text{Au})_N$, a pozostałe dwie mają charakter metodyczny. Prace te w większości zostały opublikowane w *Acta Physica Polonica* (czemu nie w czasopiśmie o wyższym *impact factorze*?). W szczególności te prace, których pierwszym autorem jest Doktorant, zawierają istotną część recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Mając na uwadze bardzo pozytywną ocenę pracy doktorskiej i dorobku naukowego p. mgr inż. Piotra Kuświka, stawiam wniosek o jego dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego, a także o wyróżnienie pracy.



Prof. dr hab. inż. Marek Przybylski

Halle, 29 listopada 2010