



Świerk, 11 kwietnia 2024

Prof. dr hab. inż. Jacek Jagielski
NCBJ/DFM

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej p. magistra inżyniera Mateusza Kowacza

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska pana magistra inżyniera Mateusza Kowacza poświęcona jest zagadnieniom właściwości magnetycznych układów warstwowych. W pracy badano wpływ warstw antyferromagnetycznych przylegających do warstwy ferromagnetycznej, a także wpływ bombardowania wiązką jonów galu na właściwości magnetyczne.

Motywacją dla podjęcia tematyki badanej w pracy było dążenie do opracowania materiałów pozwalających na uzyskanie wysokich gęstości zapisu w pamięciach masowych. Problem ten jest niewątpliwie ważny, a zatem wybór tematu pracy należy więc uznać za uzasadniony i mający duże znaczenie naukowe i gospodarcze, zarówno obecnie jak i w dającej się przewidzieć przyszłości.

Praca obejmuje dość wąski zakres zagadnień obejmujący właściwie tylko trzy rodzaje warstw (NiO/Co/Au, NiO/Co/Pt i NiO/Co/NiO). Badania wpływu defektowania radiacyjnego przeprowadzono na układzie Ir/Co/Pt, nie jest jasne, dlaczego nie wybrano jednego z poprzednio badanych układów. Większość badań dotyczy pomiarów własności magnetycznych, przy dość ogólnikowym potraktowaniu badań strukturalnych, co, jak się wydaje, może również w dużym stopniu wpływać na właściwości magnetyczne.

Cała rozprawa liczy 167 stron, układ pracy jest dość standardowy. W kolejnych rozdziałach Autor omawia uzasadnienie kierunku badań, teoretyczne podstawy i stan wiedzy o właściwościach magnetycznych układów warstwowych, oddziaływanie wiązek jonów z takimi układami, a następnie przechodzi do części eksperymentalnej omawiając preparatykę próbek (Rozdział 3). W kolejnym rozdziale 4 powraca częściowo do opisów podsumowujących informacje literaturowe omawiając metody eksperymentalne stosowane w pracy. Główne wyniki pracy zawarte są w Rozdziałach 5 (wpływ warstwy NiO) i 6 (wpływ bombardowania jonowego). Obie te części opisane są na 45 stronach, co stanowi ok. 27% objętości całej pracy. Kończącą część rozprawy stanowią podsumowanie, spis akronimów, spis rysunków i spis tabel (co jest chyba zbędnym powtórzeniem w stosunku do głównej części pracy) oraz spis literatury. Z formalnego punktu widzenia uwagę zwraca brak sformułowania hipotezy badawczej jak również celu pracy, co zwykle pozwala na jasne i logiczne zdefiniowanie zadań badawczych realizowanych w pracy. W coraz większej liczbie prac doktorskich w podsumowaniu pracy zawarte są również plany Doktoranta co do dalszej działalności naukowej, nie jest to obowiązkowe, ale niewątpliwie cenne i wskazuje na właściwe przygotowanie Autora do dalszej pracy naukowej.

W pracy Doktorant nie zawarł informacji o swoim dorobku bibliograficznym, z danych możliwych do uzyskania wynika, że opublikował 7 prac, a jego indeks Hirscha wynosi 7 (według Scopus). Publikacje są w cenionych pismach jak Phys. Rev. B, Phys. Rev. Appl., Journ. Magn. Magn. Mat., czy Sci. Rep. W trzech publikacjach Doktorant jest pierwszym autorem. 6 z 7 publikacji to prace opublikowane w systemie Open Access. Są to dobre wyniki dla osoby kończącej przewód doktorski. Osobiście nie jestem zwolennikiem nadmiernego stosowania systemu Open Access co może prowadzić do pewnych wynaturzeń w publikowaniu prac naukowych (problemy opisane w liście Dyrektora NCN, Profesora Błockiego z 2018 roku). Nie zmienia to jednak faktu, że publikacje te należy oceniać równorzędnie z artykułami publikowanymi w tradycyjnym systemie, w którym nie jest konieczne opłacanie publikacji. Ciekawym uzupełnieniem informacji o dotychczasowych osiągnięciach Doktoranta byłyby dane dotyczące jego udziału w konferencjach naukowych i ewentualnych współpracach naukowych, szczególnie z ośrodkami zagranicznymi. Z tekstu rozprawy wynika, że Doktorant skutecznie współpracuje z ośrodkami krajowymi, zarówno w Poznaniu jak też w Białymstoku. To też jeden z elementów pozytywnej oceny pracy.

Pozostając przy kwestiach formalnych oceny nie jest dla mnie jasne, które fragmenty prac eksperymentalnych zostały wykonane osobiście przez Doktoranta, w których pracach uczestniczył, a które zostały wykonane przez inne osoby. Treść pracy sugeruje, że Doktorant wykonywał pomiary właściwości magnetycznych oraz procesy nakładania warstw NiO. W pozostałych przypadkach Autor podaje tylko nazwy ośrodków i nazwiska osób wykonujących prace. Proponowałbym, aby ten aspekt znalazł wyjaśnienie w treści odpowiedzi na recenzję lub w trakcie prezentacji Doktoranta w czasie obrony.

Oryginalnym pomysłem używanym w pracy jest wykorzystanie techniki Focused Ion Beam (FIB) do badania wpływu defektowania radiacyjnego i mieszania jonowego układu wielowarstwowego. Warto w tym miejscu zwrócić uwagę, że programy Monte Carlo jak SRIM czy TRIDYN były rozwijane na potrzeby klasycznej implantacji jonów, a więc wiązek jonów o energii rzędu dziesiątek keV lub więcej. Obliczenia wykonane przy użyciu tych programów w dość ekstremalnym przypadku ciężkiego jonu jakim jest gal o niskiej energii poniżej 10 keV mogą być obciążone znacznym błędem. Nie znalazłem też dyskusji problemu rozpylania próbek padającą wiązką galu, co jest dość dziwne, jako że wiadomym jest iż układ FIB służy zasadniczo do trawienia jonowego materiałów. Przyjmując prawdopodobnie zaniżony współczynnik trawienia jonowego jako równy 10 można oszacować, że przy fluencji $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ strawieniu ulega warstwa o grubości rzędu 2 nm, a więc cała warstwa zewnętrzna metalu nałożona na próbki. Warto byłoby, aby Doktorant ustosunkował się do tych zagadnień w trakcie obrony.

Z pozytywnych aspektów pracy chciałbym podkreślić ponadprzeciętny dorobek publikacyjny Doktoranta oraz konsekwentny rozwój tematyki badawczej w grupie połączony z rozbudową dedykowanego wysoko zaawansowanego wyposażenia eksperymentalnego wykorzystywanego w pracy. To, oczywiście, efekt pracy zespołowej, tym niemniej uważam, że praca w dobrze działającej grupie jest cennym elementem kształtowania młodego pracownika naukowego o pozytywnym wpływie na jego umiejętności i przygotowanie do dalszej pracy naukowej. Uwagę zwraca też bardzo szeroki zakres badań właściwości magnetycznych warstw i zaawansowane eksperymenty wymagające niewątpliwie dobrych umiejętności doświadczalnych Doktoranta. Wnioski z tej części rozprawy są jednoznaczne:

Doktorant w pełni opanował warsztat naukowy niezbędny dla prowadzenia badań właściwości magnetycznych materiałów.

Oczywistym obowiązkiem recenzenta jest krytyczna analiza pracy. Z najważniejszych uwag, jakie nasunęły mi się w trakcie lektury rozprawy chciałbym zaliczyć:

Brak systematycznego opisu wykonanych i badanych próbek. Naturalnym miejscem byłaby tu część eksperymentalna, gdzie omawiane jest nakładanie warstw. Można znaleźć te informacje w dalszych częściach pracy, ale logiczne byłoby zebranie ich w jednym miejscu.

Brak opisu właściwości strukturalnych nałożonych warstw. Biorąc pod uwagę, że Doktorant miał dostęp do FIBa spodziewanym minimum byłoby wykorzystanie do tego celu techniki SEM lub EDS, już sama mikrotopografia powierzchni wyjaśniłaby kilka wątpliwości związanych np. z interpretacją wyników uzyskanych mikroskopią sił atomowych. Do wątpliwości takich zaliczyłbym np. dane opisane w Rozdziale 5.2. Z Rys. 5.6 Autor wyciąga wnioski, że średni rozmiar ziaren jest równy ok. 20 nm, co jest wielkością zbliżoną lub nawet przewyższającą sumaryczną grubość warstw. Nie jest jasne, czy oszacowane w ten sposób rozmiary ziaren dotyczą warstwy buforowej Ti/Au, warstwy NiO, warstwy kobaltu czy wreszcie wierzchniej warstwy metalu. Pomijam w tym miejscu fakt, że przy analizie tak cienkich warstw wskazane byłoby użycie techniki TEM na przekrojach układu wielowarstwowego. Rozumiem, że to bardziej zaawansowana i trudniejsza technika, tym niemniej najważniejszy element jakim jest preparatyka lameli był dostępny dla Doktoranta (ponownie, jest to technika FIB).

W pracy Doktorant wspomina o zagadnieniu możliwego utleniania warstwy kobaltu i powstawaniu fazy CoO. Zjawisko to wydaje się istotne dla interpretacji uzyskanych wyników, tym niemniej nie jest dyskutowane przy analizie uzyskanych wyników pomiarów magnetycznych. Autor analizuje natomiast dość zaawansowane wyniki dla utleniania niklu metodą XAS, nie jestem pewien, czy dla interpretacji danych są one ważniejsze niż utlenianie kobaltu.

Pewną niezręcznością redakcyjną jest też wykorzystywanie w pracy rysunków, które są kopiowane z innych dokumentów. Myślę tu np. o rysunkach 5.4, 5.6 czy 6.4. Dbłość o poprawność deontologiczną jest szczególnie ważna przy opracowywaniu dysertacji doktorskiej, to kształtuje nawyki na dalsze etapy działalności Doktoranta.

Podsumowując: pomimo pewnych usterek formalnych i redakcyjnych uważam, że rozprawa przedstawiona przez pana magistra inżyniera Mateusza Kowacza spełnia wymogi oczekiwane od rozpraw doktorskich określone w odpowiednich przepisach (Ustawa z dnia 20 lipca 2018 roku *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce*, Dz. Ust. 2018 poz 1668 z późniejszymi zmianami oraz Uchwała Rady Naukowej IFM PAN) i wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

/podpisał: prof. dr hab. Jacek Jagielski/