

Prof.dr hab. Janusz Baszyński
Instytut Fizyki Molekularnej PAN
Ul. Smoluchowskiego 17
60-179 Poznań

Poznań, 2010-11-29

Ocena rozprawy doktorskiej

mgr. inż. Piotra Kuświka

pt. „*Wpływ bombardowania jonowego na właściwości magnetyczne układów warstwowych $Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au$* ”

Mgr inż. Piotr Kuświk urodził się 17 maja 1982 r. w Kaliszu. Tam też w latach 1997-2001 uczęszczał do III Liceum Ogólnokształcącego im. M. Kopernika. W latach 2001-2006 odbył studia na Politechnice Poznańskiej na Wydziale Fizyki Technicznej - Specjalność: Fizyka komputerów i symulacje komputerowe.

Jego praca magisterska pt. *„Wytwarzanie cienkich warstw ZnTe i CdSe metodą impulsowego naparowania laserowego oraz zbadanie ich właściwości strukturalnych”* została wyróżniona przez Rektora Politechniki Poznańskiej. Promotorem tej pracy był Prof. dr hab. Maciej Oszwałdowski.

W latach 2006-2010, jako stypendysta Prezesa PAN, był uczestnikiem Studium doktoranckiego w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu.

Rezultatem tych studiów jest rozprawa doktorska

pt. „*Wpływ bombardowania jonowego na właściwości magnetyczne układów warstwowych $Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au$* ”

wykonana w Instytucie Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu pod kierunkiem Prof. dr. hab. Feliksa Stobieckiego.

Magnetyczne struktury wielowarstwowe są przedmiotem badań od dziesiątków lat ze względu na ich unikalne własności magnetyczne, pozwalające na badania poznawcze jak i ich zastosowania w technice. Związane to jest z ich wymiarowością i periodycznością, ogólnie mówiąc. W ostatnim czasie - ze względu na nowe wymagania urządzeń informatycznych co do zwiększenia gęstości zapisu magnetycznego do rzędu Tb/cal² – prowadzone są prace nad strukturyzacją warstw, co powinno umożliwić wytwarzanie odpowiednich nanostruktur magnetycznych. Spośród metod, pozwalających na lokalne zmiany własności magnetycznych, perspektywnymi wydają się być implantacje atomów lub bombardowania jonami gazów odpowiednich struktur warstwowych materiałów magnetycznych.

Recenzowana praca doktorska mgr. inż. Piotra Kuświka jest poświęcona tym zagadnieniom.

Ocena rozprawy doktorskiej

Przedstawiona rozprawa doktorska jest rezultatem badań zrealizowanych przez mgr. inż. Piotra Kuświka w zespołach wielu ośrodków naukowych:

- 1/ Instytutu Fizyki Molekularnej PAN (preparatyka struktur wielowarstwowych, pomiary XRR, XRF, VSM i magnetooporu)
- 2/ Uniwersytetu w Białymstoku – Prof. Andrzeja Maziewskiego (pomiary magnetoptyczne i mikroskopem sił magnetycznych)
- 3/ Uniwersytetu w Kassel Prof. Arno Ehresmanna (bombardowanie jonowe)
- 4/ Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych- Prof. Jacka Jagielskiego (bombardowanie jonowe).

Udział doktorant w badaniach, których wyniki są podstawą recenzowanej rozprawy doktorskiej, mogę ocenić jedynie na podstawie informacji zawartej w tej pracy (strona 52) jak poniżej:

„Autor rozprawy doktorskiej przeprowadził samodzielnie pomiary XRF, VSM i magnetooporu oraz wykonał część naświetlań jonowych. Aktywnie uczestniczył w pomiarach MFM i P-MOKE. Opracowanie wyników i ich interpretacja realizowana była przez autora rozprawy doktorskiej w konsultacjach z reprezentantami grup uczestniczącymi w realizowanych eksperymentach.”

Przedstawiona rozprawa doktorska charakteryzuje się bardzo starannym opracowaniem edytorskim, co z przyjemnością podkreślam.

Układ tej 149 stronicowej pracy doktorskiej jest typowy i zawiera: wstęp, sześć rozdziałów, podsumowanie oraz literaturę – 150 pozycji bibliograficznych - aż po rok bieżący. Ten obszerny zestaw literatury świadczy o bardzo dobrym rozpoznaniu przez doktoranta tematyki, w zakresie której wykonano pracę dokorską.

We wprowadzeniu doktorant uzasadnił celowość merytoryczną podjęcia prac nad zbadaniem strukturyzacji układów warstwowych ($Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au$)_N poddanych bombardowaniu jonami He⁺ i Ar⁺ o energiach rzędu (10÷100) keV.

Rozdział 2 jest bardzo starannie i wyczerpująco opracowanym, na podstawie obszernej literatury, opisem anizotropii magnetycznej oraz oddziaływań międzywarstwowych.

W rozdziale 3 przedstawiono efekty magnetooporowe obserwowane w cienkich warstwach magnetycznych.

Rozdział 4 jest poświęcony efektom strukturalnym występującym w układach warstwowych w procesie bombardowania jonowego.

W rozdziale 5 doktorant przedstawił szczegółowo rezultaty wieloletnich badań układów wielowarstwowych $(Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au)_N$ przeprowadzonych w Zakładzie Cienkich Warstw IFM PAN oraz w innych ośrodków badawczych.

Materiał zawarty w powyższych rozdziałach świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu doktoranta do przeprowadzenia zaplanowanych badań.

Rozdział 6 jest poświęcony lapidarnemu przedstawieniu stosowanej przez doktoranta preparatyki oraz technik pomiarowych stosowanych w przeprowadzonych badaniach.

Badane układy wielowarstwowe $(Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au)_N$ otrzymywano metodą rozpylania jonowego na naturalnie utlenione podłoża Si(100). Uzyskane próbki były polikrystaliczne z teksturą (111) subwarstw Au.

Bombardowanie jonowe wykonano wiązkami He^+ o energii 10 keV lub Ar^+ o energii 100 keV przy gęstości prądu jonowego do $2.5 \mu A/cm^2$.

Parametry strukturalne badanych układów wyznaczano korzystając z reflektometrii rentgenowskiej oraz fluorescencji rentgenowskiej.

Właściwości magnetyczne badanych struktur warstwowych określano z pomiarów magnetometrycznych – oscylująca próbka oraz magnetoptycznego efektu Kerra w konfiguracji polarnej. Pomiary magnetooporu wykonywano posługując się czteropunktową sondą o liniowej konfiguracji elektrod stosując prąd o natężeniu 10 mA. Powyższe pomiary przeprowadzono w polach magnetycznych o natężeniach do 20 kOe. Do obserwacji struktury domenowej posługiwano się mikroskopem sił magnetycznych stosując pola magnetyczne o natężeniu do 1 kOe.

Braki tego rozdziału polegają również na pominięciu odnośników literaturowych do prac inicjujących poszczególne metody badawcze a także np. wzorów na XRR.

Istotną część recenzowanej pracy doktorskiej stanowi rozdział 7 obejmujący wyniki przeprowadzonych badań i ich dyskusję.

Doktorant przedstawił wyniki następujących badań:

- 1/ Wpływu bombardowania jonami He^+ o energiach 10 keV na struktury:
 $(Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au)$, $(Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co-klin/Au)$ oraz $(Ni_{80}Fe_{20}/Au-klin/Co/Au)$
- 2/ Wpływu bombardowania jonami He^+ o energiach 30 keV na struktury:
 $(Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co-t/Au)_{10}$ oraz $(Ni_{80}Fe_{20}/Au-t/Co/Au)_{10}$
- 3/ Wpływu bombardowania jonami Ar^+ o energiach 100 keV na struktury
 $(Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au)_{10}$
- 4/ Wykorzystania bombardowania jonowego poprzez maski z sieci nanokulek polistyrenowych do strukturyzacji magnetycznej

Rezultaty uzyskane w trakcie wykonanych badań są przedstawione w 3 pracach współautorskich (w dwóch doktorant jest pierwszym współautorem) opublikowanych w *Acta*

Physica Polonica A (2008, 2009) oraz jednej współautorskiej opublikowanej w *Phys. Rev. Lett.* (2010).

Głównym celem badań podjętych w ramach tej pracy doktorskiej było określenie wpływu bombardowania jonami He^+ i Ar^+ na anizotropię magnetyczną subwarstw Co i oddziaływanie pomiędzy warstwami ferromagnetycznymi w układach warstwowych $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au})_N$ dla $N=1$ i $N=10$ z różną grubością subwarstw Co i Au. Podjęte w tym celu prace miały na celu określenie procedury wytwarzania obiektów, na których możliwe byłoby prowadzenie finezyjnych pomiarów zmian anizotropii magnetycznej oraz wyznaczenie oddziaływań magnetycznych w powyższych strukturach.

Określenie mechanizmów tych zmian było celem poznawczym. Rozpoznanie tych mechanizmów było podstawą do opracowania procedur wytwarzania struktur magnetycznych o oczekiwanych własnościach, które mogłyby spełniać wymogi aplikacyjne. Wykazano możliwość wytwarzania na dużych powierzchniach sieci uporządkowanych submikronowych struktur magnetycznych z wykorzystaniem bombardowania jonowego poprzez maskowania kulkami polistyrenowymi. Drugim przykładem wykorzystania rozpoznanych mechanizmów jest wytworzenie struktur wielowarstwowych charakteryzujących się monotonicznym gradientem pola koercji wzdłuż próbki stosując bombardowanie jonowe poprzez klinową warstwę złota.

Mgr inż. Piotr Kuświk w przedstawionej pracy doktorskiej wykazał się bardzo szeroką wiedzą literaturową w zakresie prowadzonych badań, którą wykorzystał do interpretacji wyników otrzymanych w trakcie badań

Do ważniejszych rezultatów, wynikających z badań stanowiących podstawę recenzowanej pracy doktorskiej, zaliczam:

- stwierdzenie zaniku magnetycznej anizotropii prostopadłej subwarstw Co jako rezultatu zmniejszenia anizotropii powierzchniowej związanej z międzywierzchniami Au/Co i Co/Au, które uległy zmianom strukturalnym wskutek bombardowania jonowego.
- wytworzenie dwuwymiarowej heksagonalnej sieci submikronowych struktur z prostopadłą anizotropią magnetyczną w $(\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}/\text{Au}/\text{Co}/\text{Au})_N$ stosując bombardowanie jonowe poprzez maski z kulek polistyrenowych.
- wytworzenie gradientu pola koercji w układzie warstwowym

$\text{Au}_{(\text{klin } 0=100\text{nm})}/(\text{Co}_{0.6\text{nm}}/\text{Au}_{2\text{nm}})_3$ przez zastosowanie bombardowania jonowego poprzez klinową warstwę Au.

Ocena dorobku mgr. inż. Piotra Kuświka

Dorobek naukowy doktoranta obejmuje 10 publikacji wieloautorskich, z których 8 opublikowano w czasopiśmie z listy filadelfijskiej, w tym 4 z nich są podstawą rozprawy doktorskiej. Doktorant jest także współautorem komunikatów: 7 na konferencjach krajowych oraz 10 na konferencjach międzynarodowych.

W mojej ocenie mgr inż. Piotr Kuświk w pełni wykazał, iż posiada umiejętność rozwiązywania postawionego zadania badawczego w dziedzinie fizyki cienkich warstw będąc współpracownikiem w zespołach badawczych różnych ośrodków. Spełnione zatem są warunki stawiane rozprawom doktorskim.

Wnioskuję o dopuszczenie doktoranta do publicznej obrony rozprawy jako kolejnego etapu na drodze do uzyskania stopnia doktora w dziedzinie fizyki.

Wnioskuję o uznanie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Piotra Kuświka

pt. *„Wpływ bombardowania jonowego na właściwości magnetyczne układów warstwowych $Ni_{80}Fe_{20}/Au/Co/Au$ ” „za wyróżniającą”*. Istotnym osiągnięciem doktoranta jest zastosowanie w badaniach nowatorskiej preparatyki otrzymywania do badań struktur wielowarstwowych i ich strukturyzowania poprzez bombardowanie jonami gazów. Stosowana metodyka badań umożliwiła określenie mechanizmu odpowiedzialnego za zmiany ich własności magnetycznych. Rezultat ten umożliwił preparatykę struktur warstwowych Co/Au charakteryzujących się gradientem pola koercji, co może być wykorzystane w konstrukcji urządzeń do nanotransportu magnetycznego.

