

**Recenzja pracy doktorskiej mgr Krzysztofa Matlaka pt. „ Badanie magnetycznych przejść fazowych z zastosowaniem obrazowania magnetycznego oraz jądrowego rezonansowego rozpraszania promieniowania synchrotronowego”.**

Kiedy dostałem tą pracę do recenzji i przeczytałem tytuły jej rozdziałów miałem nadzieję zobaczyć struktury oraz ściany domenowe bardzo cienkich warstw żelaza, z monowarstwą włącznie, otrzymanych metodą epitaksji z wiązki molekularnej na podłożu wolframu, na płaszczyźnie (110) wolframu (Fe/W(110)). Wgłębiając się w treść pracy okazało się jednak, że na obecnym etapie jest to jeszcze niemożliwe.

Recenzowana praca składa się z czterech rozdziałów. Rozdział pierwszy (strona 8-19) poświęcony jest magnetycznym właściwościom cienkich warstw z reorientacją spinową w płaszczyźnie w układzie Fe/W(110). W rozdziale drugim (strona 20-65) Autor opisuje detalicznie podstawy mikroskopii Kerra oparte na magnetycznym efekcie Kerra (MOKE), łącznie ze zbudowanym przez siebie mikroskopem Kerra z możliwością jego zastosowania w warunkach ex-situ oraz in-situ. W końcowej części tego rozdziału omówione zostały fizyczne podstawy techniki NRS, czyli jądrowego, rezonansowego rozpraszania promieniowania synchrotronowego. W rozdziale drugim przedstawiono także wyniki próbnych (testowych) badań mikroskopem Kerra w modzie ex-situ w geometrii polanarnej super sieci Fe-Au sprzężonej z klinową warstwą Fe poprzez klinową warstwą Au. Gradienty klinowych warstw Fe i Au były ortogonalne. Badana struktura naniesiona była na MgO (001). Zestawione obrazy różnicowe pokazują wyraźnie tworzenie się struktury domenowej, jako funkcji zewnętrznego pola magnetycznego. W tym miejscu brakuje mi podania warunków, jakie musi spełniać obraz referencyjny. W jednym przypadku zbierany był w polu nasycającym próbkę, w innym, w polu znacznie wyższym od pola nasycającego.

Uzyskane tymi metodami wyniki badań (strona 66-96) epitaksjalnych warstw Fe/W(110), dotyczące przejścia fazowego reorientacji spinów (SRT), stanowią rozdział trzeci. Rozdział czwarty (strona 95-96) stanowi podsumowanie wyników pracy. Ba stronach 97-100 zestawiona została wykorzystana w pracy literatura (81 pozycji).

W zbudowanym mikroskopie Kerra w dalekim zasięgu do badań in-situ w ultra wysokiej próżni (także przy posługiwaniu się techniką NRS) mikroskop Questar 100 został zastąpiony soczewką skupiającą i to dodatkowo ustawioną pod kątem do osi wyznaczonej wiązką światła odbitego od badanej próbki. W prawdzie Autor podając wszystkie zalety tego

mikroskopu, wymienia także jego mankament, że wzrost powiększenia powoduje obniżenie kontrastu. Nie mogę uwierzyć, że jest to jedyny powód jego usunięcia.

Na stronie 64 rysunek 2.33 z podpisem „schematyczne przedstawienie układu MBE z bombardowaniem elektronowym, który służy do nanoszenia warstw podczas pomiaru NRS”. Z treści pracy wynika, że „komora preparacyjna (...) wyposażona jest w źródło MBE działające zarówno w oparciu o grzanie rezystywne jak również bombardowanie elektronowe (przedstawione na rysunku 2.33) chociaż działło elektronowe nie jest naniesione na rysunek 2.33. Odwróconą geometrię układu źródło jonów  $^{57}\text{Fe}$  (tygiel) i podkładu (W(110)) w porównaniu z normalnie stosowaną, trudno jednoznacznie zrozumieć. Do rysunku 2.34 przedstawiającego schematycznie technikę NRS z użyciem ultrawysoko próżniowego układu pomiarowego brak odnośnika w treści pracy. Uważam, że opis techniki NRS jest zbyt lakoniczny.

Podstawowym celem badawczym recenzowanej pracy było przejście reorientacji spinów (SRT), a właściwie zmiana kierunku łatwej magnetyzacji epitaksjalnych warstw Fe/W(110) in-situ w ultrawysokiej próżni, które zachodzi między kierunkami [1-10] a [001] w płaszczyźnie (110). Zmiana kierunku łatwej magnetyzacji jest funkcją zarówno grubości jak i temperatury warstwy. Żeby temu zadaniu sprostać autor wykonał pomiary mikroskopem Kerra na klinowej warstwie Fe(110)/W(110) o granicznych grubościach (100 ÷ 140) Å. Z położenia granicy między obszarami o magnetyzacji w kierunku [1-10] oraz [001] uzyskanych z obrazów różnicowych pomierzonych mikroskopem Kerra, dla szeregu pól zewnętrznych ( $-B_{\text{ext}}$  do  $+B_{\text{ext}}$ ) dla określonej grubości klina, Autor wyznaczył grubość krytyczną  $d_c$  oraz odpowiadające jej pole krytyczne  $B_C$ . Powtórzenie tego cyklu pomiarowego dla kilku temperatur pozwoliło na wyznaczenie zależności grubości krytycznej przejścia reorientacji spinów od temperatury. Ponowne wykonanie pomiaru w 343 K (po uprzednim oziębieniu próbki z 423 K) otrzymano grubość krytyczną, w granicach niepewności pomiarowej taką samą jak przy wzroście temperatury, co mogłoby sugerować, że przejście SRT jest przejściem odwracalnym.

Badanie SRT wywołane zmianą temperatury Autor obserwował także w stanie remanencji epitaksjalnej próbki klinowej w zakresie grubości (50 ÷ 70) Å. Wyniki pomiarów grubości krytycznych  $d_c$  jako funkcji temperatury dla warstwy naniesionej w 473 K oraz w temperaturze pokojowej pokazane są na rys. 3.18. Wartości grubości krytycznej oraz szybkości ich wzrostu są wyższe dla próbki naniesionej w temperaturze 473 K w porównaniu

z próbką naniesioną w 300 K. Przy określonej (oszacowanej) niepewności pomiarów, wszystkie wyniki  $b_c = f(T)$  dla temperatury nanoszenia 473 K oraz 300 K zostały dopasowane pojedynczymi prostymi. Zwraca jednak uwagę fakt, że jakość dopasowania prostej regresji sześciu punktów zakresu temperatur (400 ÷ 440) K byłaby lepsza, ale z mniejszym nachyleniem. Tego drobnego odchylenia Autor nie dyskutuje, jako możliwego dodatkowego czynnika mającego wpływ na zmianę zależności grubości krytycznej przejścia SRT w tym zakresie temperatur.

Obrazowanie MOKE (Mikroskopia Kerra) informuje tylko o powierzchniowych zmianach orientacji momentu magnetycznego. Wnętrze próbki jest dla tej techniki niedostępne. W tym sensie stara terminologia SMOKE informowała o tej niedogodności. Tą niedogodność Autor wyeliminował zastosowaniem techniki NRS. Wektor falowy  $\mathbf{k}$  promieniowania X skierowany był równoległe do kierunku [1-10] w płaszczyźnie warstwy Fe. Formowanie warstwy Fe w kształcie klina zostało zastąpione jej ciągłym nanoszeniem w czasie wykonywania pomiarów NRS. Szybkość pomiaru tej techniki ( $\approx 10$  s) zapewniała także maksymalną eliminację adsorpcji gazów resztkowych, które mają wpływ na proces SRT.

Numerycznej analizie mierzonych widm czasowych Autor dokonał drogą ich symulacji przy użyciu programu CONUSS, opartego na dynamicznej teorii rozpraszania promieniowania synchrotronowego. Pomiar NRS na warstwie o grubości (45 ÷ 56,8) Å nanoszonej w sposób ciągły w temperaturze pokojowej pokazał, że proces reorientacji momentów magnetycznych rozpoczął się od warstwy najbliższej podłoża wolframu (110) z kierunku [1-10] dla warstwy o grubości 51,6 Å i poprzez stany niekolinearne ułożenia momentów magnetycznych w całej objętości warstwy, i przy grubości 56,8 Å przyjął orientację [001] aż do warstwy wierzchniej. **Wynik ten uważam za jeden z najwartościowszych wyników tej pracy.** Wynik ten zmienił utrzymujące się ponad 30 lat przekonanie, że przejście SRT dla układu Fe/W(110) prowadzi do jednorodnego rozkładu namagnesowania warstwy Fe w kierunku prostopadłym do jej powierzchni.

Ten wartościowy rezultat zainspirował Autora do badania zjawiska SRT dla przypadku wzrostu warstwy Fe w wyższej temperaturze tj. 523 K oraz jaki jest mechanizm SRT indukowany zmianą temperatury. Widma czasowe zmierzone dla trzech kątów poślizgu ( $\Theta=0,1^\circ, 0,25^\circ, 0,35^\circ$ ) charakteryzowały się mocną zmiennością struktury zdudnień z uwagi na zmianę głębokości penetracji wiązki promieniowania synchrotronowego. Obróbka widm

czasowych drogą ich symulacji przy użyciu oprogramowania CONUSS doprowadziła do wyniku, że proces rotacji spinów z kierunku [1-10] zapoczątkowany został na powierzchni warstwy i drogą niekolinearnej rotacji w kierunku [001] zakończony został na międzywierzchni Fe/W. W dalszej części pracy Autorowi udało się udowodnić, że proces SRT jest procesem odwracalnym. Odwracalność procesu SRT indukowanego zmianą temperatury nie jest jednak w 100 % pewna z uwagi na adsorpcję i desorpcję gazów resztkowych mających wpływ na ten proces.

Do istotnych osiągnięć tej pracy zaliczam:

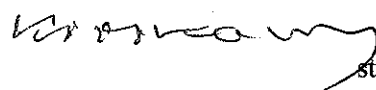
- Zbudowanie mikroskopu Kerra wraz z oprogramowaniem do rejestracji i analizy obrazów różnicowych wraz z jego adaptacją do istniejącej aparatury ultrawysokiej próżni,
- Wyznaczenie granicy między obszarami o magnetyzacji w kierunku [1-10] i [001] oraz grubości krytycznej warstw, jako funkcji temperatury,
- Zastosowanie techniki NRS dla charakteryzacji przejścia SRT, tzn. zmian kierunku łatwej magnetyzacji od kierunku [1-10] do [001] jako funkcji grubości i temperatury warstw w całej ich objętości.

Praca napisana jest poprawnym językiem polskim oraz fizycznym. Nie podoba mi się jednak wprowadzanie angielskiego słowa „skrosować” polaroidy w miejsce polskiego skrzyżować. Na stronie 71 (..) „metodą regresji” dopasować prostą, należałoby zmienić na „prostą regresji dopasować metodą najmniejszych kwadratów”. Jakies rozważania opieramy „na czymś”, a nie „o coś”.

Te kilka uwag nie podważa w niczym jakości i wartości merytorycznej pracy. Pana magistra Krzysztofa Matlaka oceniam jako utalentowanego doświadczalnika, który potrafi dobrać metodę pomiarową dla potrzeb rozwiązania określonego problemu. Mam tu na myśli technikę NRS do rozwiązania problemu przejścia reorientacji spinów (SRT). W mojej ocenie praca zasługuje na wyróżnienie.

Rozprawa doktorska magistra Krzysztofa Matlaka spełnia wszystkie ustawowe wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Stawiam zatem wniosek do Rady Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH o dopuszczenie magistra Krzysztofa Matlaka do dalszych etapów związanych z przewodem doktorskim, do publicznej obrony pracy doktorskiej włącznie.

Przeszów, 15.10.2013

  
str. 4