

Streszczenie

Structural and magnetic properties of Co thin and ultra-thin films – ^{59}Co NMR study

Badanie strukturalnych i magnetycznych właściwości cienkich i ultra-cienkich warstw Co metodą jądrowego rezonansu magnetycznego

Magnetyczne oraz strukturalne właściwości ultracienkich warstw Co silnie zależą od typu górnej oraz dolnej międzywierzchni. Z tego względu ważnym jest, aby poznać naturę rozmaitych efektów międzywierzchniowych oraz ich wpływ na magnetyczne właściwości cienkich warstw Co. Ze względu na to, że układy zawierające cienkie warstwy Co są w dzisiejszych czasach ważnymi komponentami urządzeń spintronicznych to kluczowym zagadnieniem jest zbadanie magnetycznych i strukturalnych właściwości warstwy Co w różnych konfiguracjach międzywierzchni. Do zrealizowania tego celu użyto techniki ^{59}Co NMR (nuclear magnetic resonance - jądrowy rezonans magnetyczny) w przypadku kilku serii próbek zawierających cienkie warstwy Co jako główny składnik.

Zbadano wpływ górnej i dolnej warstwy na właściwości strukturalne i magnetyczne warstwy Co w zależności od charakteru (struktury krystalicznej oraz siły oddziaływania między dwoma komponentami) metalu tworzącego drugą warstwę. Do badań wybrano układy oparte na warstwach metali Co wraz z Au i Mo jako najczęściej stosowanymi w urządzeniach spintronicznych. Badania warstw Co przeprowadzono we wszystkich możliwych kombinacjach warstw Au i Mo jako warstw buforowych i przykrywających.

Kolejną z badanych serii próbek były warstwy Co wytworzone metodą epitaksji z wiązki molekularnej (MBE - molecular beam epitaxy) na buforze Au(111), w których grubość warstwy Co d_{Co} zmienia się od 1,5 nm do 10 nm. Próbki zostały zbadane ze względu na kluczową rolę międzywierzchni Co/Au w definiowaniu prostopadłej anizotropii magnetycznej (PMA - perpendicular magnetic anisotropy) w tym układzie. Wykazano, że warstwy Co o grubości warstwy $d_{\text{Co}} < 3$ nm tworzą ostrą (na poziomie atomowym) międzywierzchnię z podłożem Au(111) na znacznej części obszaru międzywierzchni Au/Co. Atomy Co znajdujące się w obszarze objętościowym warstwy charakteryzują się wyższą częstotliwością rezonansową niż ta, która obserwowana jest dla objętościowych próbek hcp Co z namagnesowaniem w płaszczyźnie co z kolei ujawnia zniekształconą strukturę heksagonalną o nieciągłym charakterze warstwy w próbkach z $d_{\text{Co}} < 3$ nm. Dla grubszych warstw o $d_{\text{Co}} \geq 3$ nm następuje strukturalne przejście do jednorodnej ciągłej heksagonalnej struktury w całej objętości warstwy Co, o czym między innymi świadczy przesunięcie częstotliwości rezonansowej do niższych wartości typowych dla próbek objętościowych. Dodatkowo zmierzono również twardość magnetyczną warstw Co w temperaturze 4.2 K wykorzystując do tego celu natężenie pola sztywności magnetycznej NMR (ang. – restoring field). Pomiar ten wykazał znacząco mniejszą sztywność magnetyczną w próbkach o ciągłej strukturze warstwy w porównaniu do próbek gdzie warstwa Co jest nieciągła.

Ostatnią z serii badanych próbek były polikrystaliczne warstwy Au/Co(30nm)/Au implantowane (z energią 40 keV) różnymi dawkami jonów tlenu (od 3×10^{16} jonów/cm² do 35×10^{16} jonów/cm²). Implantacja jonami tlenu jest nową i skuteczną metodą wywoływania efektu exchange bias (EB) w całej objętości warstwy Co. Badania NMR wykazały, że podczas gdy próbka nieimplantowana składa się z mieszaniny faz fcc Co (face centred cubic - kubiczna ściennie centrowana) i hcp Co (hexagonal close packed - heksagonalna gęstego upakowania) oraz obszarów w których płaszczyzny atomowe są błędnie uporządkowane, to z kolei implantowane próbki wykazują zgoła inne cechy strukturalne. Chociaż nie zaobserwowano alotropowej przemiany fazowej fcc > hcp, to w metalicznym Co następuje znaczna degradacja uporządkowania krystalicznego. W przypadku implantacji przy użyciu wysokiej dawki zaobserwowano obecność CoO w próbce w postaci zarejestrowanej nowej linii w widmie ^{59}Co NMR na częstotliwości około 490 MHz. Natężenia pól sztywności magnetycznej NMR wskazują na duży wzrost sztywności magnetycznej warstw w temperaturze 4.2 K wywołanej anizotropią wymiany wprowadzonej poprzez obecność antyferromagnetycznego CoO (tj. efektu EB). Co więcej, badanie ^{59}Co NMR z próbek wygrzewanych (573 K) wykazało radykalne zmiany strukturalne wskazujące na migrację zaimplantowanego tlenu z wewnętrznej części warstwy Co w wyniku aktywacji termicznej. Proces ten prowadzi do częściowej rekryształizacji warstwy Co.

Przemysław Nawrochi

19.05.2022 r.