

НАУКОВІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ФІЗИЧНОЇ ОСВІТИ

О.В. Андрієнко

Сумський державний педагогічний університет ім. А.С.Макаренка

ДИFUЗІЙНІ ПРОЦЕСИ В АСИМЕТРИЧНИХ ПЛІВКОВИХ СИСТЕМАХ Co/Cu/Fe

Багатошарові плівкові композиції на основі металів набули досить широкого використання у багатьох галузях науки і техніки. Зокрема такі зразки використовують в атомній та космічній промисловості, медицині, мікроелектроніці та інших галузях.

Використання тонких плівок у техніці стало можливим після освоєння методів їх одержання з попередньо заданими фізичними властивостями. Це відкрило можливість їх широкого використання при виготовленні мікроелектронних приладів і сенсорів, елементів опто-і акустоелектроніки, спінтроніки, пристроїв для запису інформації та ін. На властивості багатошарових систем великою мірою впливають явища і процеси, які обумовлені взаємною дифузією. Особливо цікаві властивості з погляду фундаментальної фізики та практичного використання мають магнітні мультишари (ММШ), елемент періодичності яких містить феромагнетик. Серед різноманітних ефектів, що спостерігаються в ММШ, які складаються з магнітних та немагнітних шарів, до найбільш яскравих і важливих з точки зору практичного використання, безсумнівно, відноситься ефект гігантського магнітоопору (ГМО) або гігантського магніторезистивного ефекту, що проявляється в різкому зменшенні опору зразків при вміщенні їх в досить слабкому магнітному полі. Цікавість до таких об'єктів викликана як чисто науковим інтересом так і можливістю практичного використання цього явища для збільшення щільності запису інформації на жорсткий диск ПЕОМ.

Вивчення дифузії у твердих тілах визначається головним чином двома причинами. По-перше, знання дифузії істотно для розуміння змін, що відбуваються у твердих тілах при високих температурах. Процеси дифузії багато в чому визначають кінетику процесу окислення, відпалювання і т.д. Для детального дослідження цих процесів необхідні глибокі уявлення про дифузію у твердих тілах. По-друге, вивчення дифузії є цінним джерелом відомостей про рух атомів у твердих тілах.[1]

Плівки Co/Cu/Fe/P (P-підкладка) з товщиною шарів $d_{Co,Fe} = 10-50$ нм та $d_{Cu} = 2-20$ нм були отримані в вакуумній установці ВУП-5М (тиск газів залишкової атмосфери 10^{-4} Па) при кімнатній температурі. Конденсація плівок

здійснювалася на діелектричні пластини ситалу. Для рекристалізації та активації процесів дифузії плівки з підкладками відпалювалися в надвисокому безмасляному вакуумі (10^{-6} - 10^{-7} Па) за температури $T_{\text{відп}} = 700$ К впродовж 15 хвилин. Дослідження дифузійних процесів у тонко плівкових системах проводилося методом ВІМС на приладі МС-7201 М.

Метод ВІМС базується на зондуванні поверхні пучком прискорених іонів інертних газів з енергіями 1-20 кеВ, в результаті якого відбувається проникнення первинного пучка в глибину мішені, пружне або навпаки не пружне розсіювання, сорбція на поверхні і т.д. Одночасно з цим частину атомів зразка мішені, внаслідок отримання енергії, розпилюється у вигляді позитивно і негативно заряджених іонів або в нейтральному стані.[3]

Результати пошарового аналізу, компонентів тришарових систем показали, що невідпалені зразки, з товщиною шарів $d_{\text{Co,Fe}} = 10$ -50 нм та $d_{\text{Cu}} = 2$ -20 нм мають незначну область взаємної дифузії.

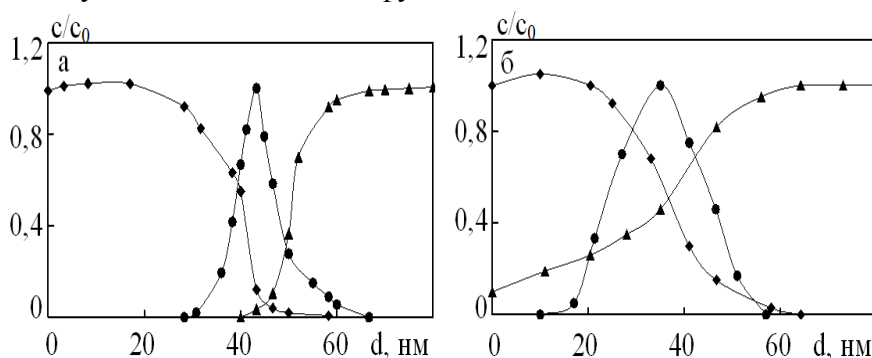


Рис1. Дифузійні профілі для плівок Co(35 нм)/Cu(20 нм)/Fe(35 нм)/П (\blacklozenge - Co, \bullet - Cu, \blacktriangle - Fe) в невідпаленому (а) та відпаленому стані за температури 700 К (б).

Згідно діаграми стану, дані плівкові системи характеризуються обмеженою розчинністю компонентів. Тому дана область може бути обумовлена конденсаційно- стимулюваною дифузиею та дифузиею по межах зерен.

Термообробка зразків з товщиною $d_{\text{Co,Fe}} = 30$ -50 нм та $d_{\text{Cu}} = 10$ -20 нм за $T_{\text{відп}} = 700$ К призводить до незначного подальшого проникнення атомів Co, Fe та Cu в сусідні шари, однак в цілому система залишається тришаровою.

Це можна пояснити незначною подальшою дифузиею по межах зерен та відведенням атомів дифузанта з меж зерен в об'єм кристалітів.

Слід відмітити, що однією з особливостей даних систем є здатність до утворення високодисперсних магнітних утворень (гранул) Co в немагнітній матриці Cu. Тому можливо, що в відпалених плівках у немагнітному прошарку реалізується гранульований стан. Але можна говорити, що в даній системі при достатньо товстому немагнітному прошарку ($d_{\text{Cu}} > 10$ нм) значною мірою зберігається індивідуальність шарів після термообробки. Незначний вплив відпалювання на дифузійні процеси автори [2] пояснюють тим, що межі зерен стають дифузійно насиченими на стадії конденсації верхнього шару. Такий

результат якісно узгоджується з даними про дослідження фазового складу, згідно яких плівки, як невідпалені так і відпалені за $T_{\text{відп}} = 700 \text{ K}$, можна вважати тришаровими.

Ще одним доказом суцільності немагнітного прошарку для плівок Co/Cu/Fe/П відпалених за $T_{\text{відп}} = 700 \text{ K}$, є реалізація ефекту гігантського магнітоопору. Хоча, слід відмітити, що для плівок з товщиною шарів $d_{\text{Co,Fe}} = 10 - 20 \text{ нм}$ та $d_{\text{Cu}} < 5 \text{ нм}$ відпалених за $T_{\text{відп}} = 700 \text{ K}$ спостерігається повне дифузійне перемішування.

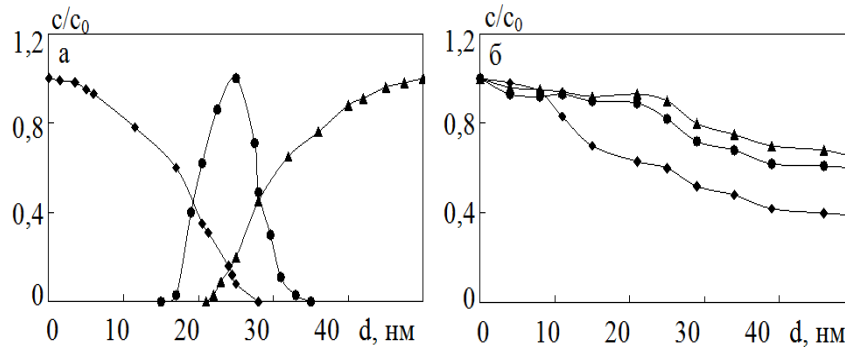


Рис2. Дифузійні профілі для плівок Co(20 нм)/Cu(10 нм)/Fe(20 нм)/П (◆◆◆ - Co, ●●● - Cu, ▲▲▲ - Fe) в невідпаленому (а) та відпаленому стані за температури 700 К (б).

Ці результати підтверджуються також і електронграфічними дослідженнями.

Для визначення ефективного коефіцієнта дифузії в плівках використане співвідношення Р. Уіппа.[5] Розраховані коефіцієнти дифузії в плівках на основі Co, Fe і Cu мають значення $10^{-18} - 10^{-20} \text{ м}^2/\text{с}$, що набагато більше за значення коефіцієнта об'ємної дифузії в масивних зразках цієї системи ($10^{-41} \text{ м}^2/\text{с}$). Це, найвірогідніше, пов'язане з тим, що в плівкових структурах дифузія протікає в основному по межах зерен, а вони в порівнянні з масивними зразками більш дефектні.[4]

Дослідження рельєфу поверхні невідпалених та відпалених за температур 550 К і 700 К плівок Fe(30 nm)/П та Cu(15 nm)/Fe(30 nm)/П (П-підкладка з відполірованого скла) здійснювалося за допомогою скануючого зондового мікроскопа NanoScope IIIa Dimension 300TM в режимі періодичного контакту. Ці плівки є складовими тришарових плівок Co/Cu/Fe/П, для яких спостерігається явище гігантського магнітоопору.

Як видно з рис.3 (а, б), мідь в значній мірі змінює топографію поверхні плівки Fe (а). Максимальний перепад профілю для невідпалених плівок (б) Cu(15 nm)/Fe(30 nm)/П складає 7 – 20 nm. Після відпалювання в надвисокому безмасляному вакуумі за температури 550 К (с) спостерігаються зерна з розмірами у площині плівки від 35 nm до 200 nm і висотою від 17 nm до 50 nm, відповідно. Відпалювання за температури 700 К (d) призводить до суттєвого згладжування поверхні, але появи мікроотворів у плівці міді.

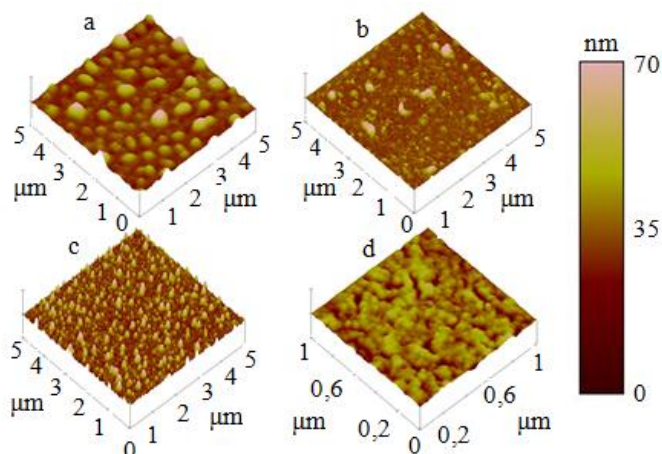


Рис. 3. АФМ-зображення рельєфу поверхонь: а – невідпалена плівка Fe/P, б – невідпалена плівка Cu/Fe/P, с – відпалена (550 К) плівка Cu/Fe/P, д – відпалена (700 К) плівка Cu/Fe/P

Література

1. В.Б. Лобода, Ю.А. Шкурдода, С.Н. Пирогова, Вісник СумДУ 8, 107 (2004).
2. І.М. Пазуха, С.І. Проценко, І.Ю. Проценко та ін., Вісник СумДУ, Серія Фізика, математика, механіка, 9, 7 (2006).
3. О.А. Білоус, Л.В. Дехтярук, І.Ю. Проценко, С.І. Черноус, Вісник СумДУ. Сер. Фізика, математика, механіка, 4, №3: 67 (2001).
4. Проценко С.І., Чешко І.В., Одноворець Л.В., Пазуха І.М., Структура, дифузійні процеси і магніторезистивні та електрофізичні властивості плівкових матеріалів (Суми: СумДУ: 2008).
5. L.V. Dekhtyaruk, S.I. Protscenko, A.M. Chornous, I.O. Shpetnyi, Ukr. J. Phys., 49, № 6: 587 (2004).

Анотація. У роботі розглядається інтерес до дослідження електрофізичних властивостей багатошарових плівкових систем та методика отримання тришарових плівок Co/Cu/Fe/P та методика дослідження дифузійних процесів методом вторинної іонної мас спектрометрії.

У статті розглянуті експериментальні результати досліджень дифузійних процесів у тришарових плівках Co/Cu/Fe/P.

Ключові слова: плівкові системи, дифузія, дифузійні процеси, плівка, відпалювання.

Аннотация. В работе рассматривается интерес к исследованию электрофизических свойств многослойных пленочных систем и методика получения трехслойных пленок Co / Cu / Fe / P и методика исследования диффузионных процессов методом вторичной ионной масс спектрометрии.

В статье рассмотрены экспериментальные результаты исследований диффузионных процессов в трехслойных пленках Co / Cu / Fe / P.

Ключевые слова: пленочные системы, диффузия, диффузионные процессы, пленка, отжиг.

Summary. *In this paper the interest in the electrical properties of multilayer film systems and methods of obtaining layered films Co / Cu / Fe / P and technique to study diffusion processes by secondary ion mass spectrometry.*

The article describes the results of experimental studies of diffusion processes in layered films of Co / Cu / Fe / P.

Keywords: *film system, diffusion, diffusion processes, film, annealing.*