

УДК 621.793

І.А. Владимирський, І.О. Круглов, М.Ю. Вербицька, О.В. Фігурна
Національний технічний університет України “КПІ”, Київ, Україна

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ПРОМІЖНОГО ШАРУ Ag НА ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ТОНКОПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ FePt/Ag/FePt

Background. Film compositions with chemically ordered and magnetically hard $L1_0$ -FePt phase are the perspective materials for ultrahigh density magnetic recording. The deposition on heated substrate or providing an annealing is required for $L1_0$ -FePt phase formation. However, heat treatment causes the grains growth and increase of surface roughness of the films, which complicates the practical use of these materials. The introduction of intermediate layers of “third” elements between FePt alloy layers is one of the possible solutions of this problem, which can reduce the temperature of $A1$ -FePt \rightarrow $L1_0$ -FePt phase transformation.

Objective. Investigation of the influence of intermediate Ag layer thickness on the structure and magnetic properties of FePt/Ag(7.5; 30 nm)/FePt compositions.

Methods. Film compositions were obtained by magnetron sputtering, structure and properties before and after heat treatment were investigated by X-ray diffraction, atomic force microscopy, magnetometry and resistometry.

Results. It is determined that increasing of Ag layer thickness from 7.5 nm up to 30 nm leads to a reduction of the $L1_0$ -FePt phase formation temperature for ~ 100 K and to an increase of the compositions coercivity.

Conclusions. A possible explanation for the phenomenon of $L1_0$ -FePt phase formation temperature reduction with increasing Ag intermediate layer thickness lies in the difference between the stress states that occur in these films during annealing due to differences in linear expansion coefficients of their layers. The thickness increase of the intermediate Ag layer increases the composition coercivity as a result of saturation of the grain boundaries of the $L1_0$ -FePt phase with non-magnetic ingredient and limitation of the exchange interaction between the grains.

Keywords: magnetic recording; film compositions; FePt; coercivity.

Вступ

Одним із важливих напрямів застосування наноматеріалів є індустрія магнітного запису інформації на жорсткі носії. Згідно із законом Мура, щільність магнітного запису збільшується у 2 рази кожні 18 місяців. Для підтримання цієї тенденції необхідним є використання як носіїв інформації принципово нових тонкоплівкових феромагнітних матеріалів з товщиною в декілька десятків нанометрів.

Однак при зменшенні товщини матеріалу, а відповідно і об'єму його магнітних комірок, носій може переходити у суперпарамагнітний стан навіть за кімнатної температури за рахунок теплових коливань атомів у вузлах кристалічної ґратки. Нанорозмірні плівкові композиції на основі FePt з упорядкованою магнітно-твердою фазою $L1_0$ -FePt вважаються перспективним матеріалом для магнітного запису інформації завдяки високим значенням енергії магнітокристалічної анізотропії ($K_u = 7 \cdot 10^6$ Дж/м³) та коерцитивної сили ($H_c = 1600$ кА/м). Такі високі значення магнітних характеристик дають змогу значно підвищити енергетичний бар'єр переходу матеріалу в суперпарамагнітний стан і, відповідно, забезпечують потенційно можливу щільність запису. Для формування впорядкованої фази $L1_0$ -FePt необ-

хідне осадження плівки на нагріту підкладку або проведення високотемпературного відпалу. Проте термічна обробка викликає ріст зерен і поверхневої шорсткості плівкових композицій, що призводить до зменшення потенційної щільності магнітного запису і ускладнює практичне використання цих матеріалів [1]. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є введення проміжних шарів легувальних елементів між шарами сплаву Fe₅₀Pt₅₀, що може сприяти зниженню температури фазового перетворення $A1$ -FePt \rightarrow $L1_0$ -FePt завдяки виникненню напруженого стану в плівковому матеріалі внаслідок незбігу параметрів кристалічної будови шарів, а також різниці у їх температурних коефіцієнтах лінійного розширення.

Зокрема, як легувальні елементи пропонується використовувати С [2], Cu [3–5], Ag [6–10], Ti [11], Bi [11], Au [12, 13], Cr [14, 15], MgO [15]. У нашій роботі як проміжний шар використано Ag, оскільки він практично не розчиняється у ґратці FePt та має відносно мале значення поверхневої енергії ($\sigma = 1,14$ Дж/м²), що забезпечить переважно зернограничний механізм його дифузії в напрямку вільної поверхні плівкових композицій при термічній обробці. Насичення границь зерен фази $L1_0$ -FePt сріблом забезпечить магнітну ізоляцію зерен і, як наслідок, збільшення коер-

цитувальної сили матеріалу. А наявність напружень на межах розділу FePt/Ag може сприяти прискоренню перебігу дифузійних процесів при фазовому перетворенні $A1\text{-FePt} \rightarrow L1_0\text{-FePt}$.

Постановка задачі

Метою дослідження є виявлення впливу товщини проміжного шару Ag на структуру та магнітні властивості нанорозмірних пліткових композицій FePt/Ag(7,5; 30 нм)/FePt.

Об'єкти і методи дослідження

Нанорозмірні пліткові композиції $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Ag}(x \text{ нм})/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ ($x = 7,5; 30 \text{ нм}$) отримано методом пошарового магнетронного осадження шарів сплаву $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ (99,95 %) товщиною 15 нм і шару Ag (99,9 %) товщиною 7,5 або 30 нм на підкладки термічно окисненого (шар SiO_2 товщиною 100 нм) монокристалічного Si орієнтації (100) за кімнатної температури. Товщина пліткових композицій контролювалася при осадженні за допомогою кварцового резонатора і верифікувалася з використанням методів резерфордівського зворотного розсіювання і рентгенівської рефлектометрії. Відпал зразків проводився у вакуумі $\sim 1,3 \cdot 10^{-3}$ Па в інтервалі температур 573–1173 К з витримкою 30 с при кожній температурі, зі швидкістю нагріву 5 К/с та з подальшим охолодженням через нагрівач. Швидкість охолодження була непостійною в часі і в середньому становила 0,25 К/с.

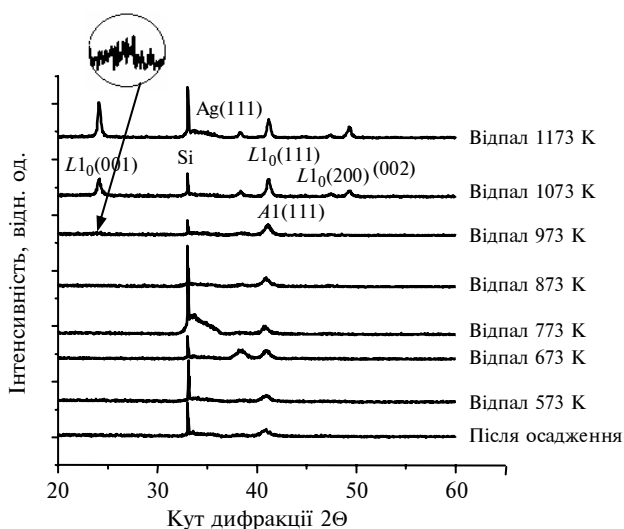


Рис. 1. Дифрактограми пліткових композицій FePt(15 нм)/Ag(7,5 нм)/FePt(15 нм) після осадження і термічної обробки

Структуру та фазовий склад пліткових композицій після осадження і термічної обробки досліджено методами рентгеноструктурного фазового аналізу з використанням дифрактометра Rigaku Ultima IV у випромінюванні $\text{Cu}_{K\alpha}$ та резистометричного аналізу за допомогою чотиризондової методики. За результатами рентгеноструктурного аналізу розраховано середній розмір зерен (з використанням рівняння Дебая–Шерера) і деформації кристалічної ґратки за методом $\sin^2\psi$. Поверхневу шорсткість зразків досліджено за допомогою атомно-силової мікроскопії з використанням приладу DI Dimension 3000. Магнітні характеристики пліткових композицій визначено за допомогою SQUID магнітометра при прикладанні магнітного поля напруженістю до 70 кЕ паралельно і перпендикулярно до поверхні зразка.

Результати і їх обговорення

Результати рентгеноструктурного фазового аналізу пліткових композицій $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{Ag}(7,5 \text{ нм})/\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ засвідчили, що після осадження та відпалів у температурному інтервалі 573–873 К протягом 30 с у структурі шару FePt спостерігається метастабільна неупорядкована магнітно-м'яка фаза $A1\text{-FePt}$ з кубичною ґраткою. Збільшення температури термічної обробки до 973 К приводить до початку процесу фазового перетворення $A1\text{-FePt} \rightarrow L1_0\text{-FePt}$ та формування стабільної хімічно впорядкованої фази $L1_0\text{-FePt}$, про що свідчить поява на дифрактограмі мало-

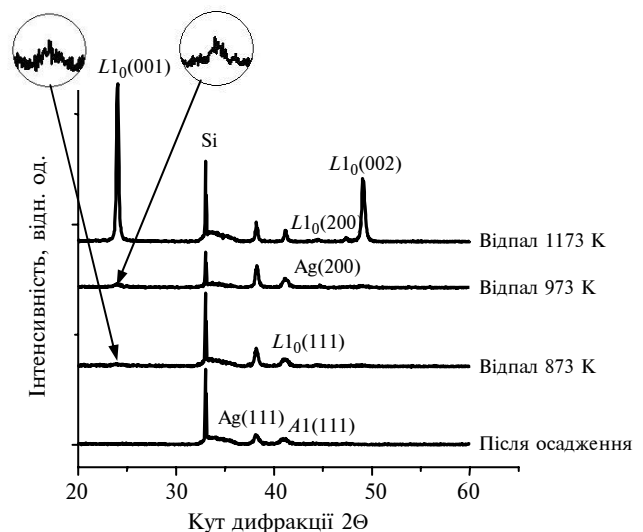


Рис. 2. Дифрактограми пліткових композицій FePt(15 нм)/Ag(30 нм)/FePt(15 нм) після осадження і термічної обробки

го за інтенсивністю надструктурного рефлексу (001), а також зміщення рефлексу (111) у бік більших кутів (рис. 1). При підвищенні температури відпалу до 1073 К кількість магнітотвердої фази збільшується, про що свідчить збільшення інтенсивності надструктурного рефлексу (001) та поява другого порядку його відбиття – (002). У той самий час рентгеноструктурний аналіз пліткових композицій з проміжним шаром Ag товщиною 30 нм засвідчив, що відпал вже за температури 873 К приводить до початку фазового переходу $A1\text{-FePt} \rightarrow L1_0\text{-FePt}$ у цих композиціях (рис. 2). Подальше підвищення температури термічної обробки також викликає збільшення кількості впорядкованої фази $L1_0\text{-FePt}$.

Після відпалу за температури 1173 К співвідношення інтенсивностей структурних рефлексів (001) і (111), яке є мірою кількості зерен, орієнтованих у напрямку, перпендикулярному до підкладки, в композиціях з проміжним шаром Ag товщиною 7,5 та 30 нм становить 1,201 та 12,04 відповідно. Таким чином, показано, що збільшення товщини проміжного шару Ag до 30 нм приводить до зменшення температури початку фазового перетворення $A1\text{-FePt} \rightarrow L1_0\text{-FePt}$ та формування в матеріалі текстури з переважною орієнтацією зерен у напрямку [001].

На рис. 3 наведено залежність величини деформації кристалічної ґратки досліджуваних пліткових композицій, розрахованої за дифрактометричними даними (по рефлексу (111)), від температури термічної обробки.

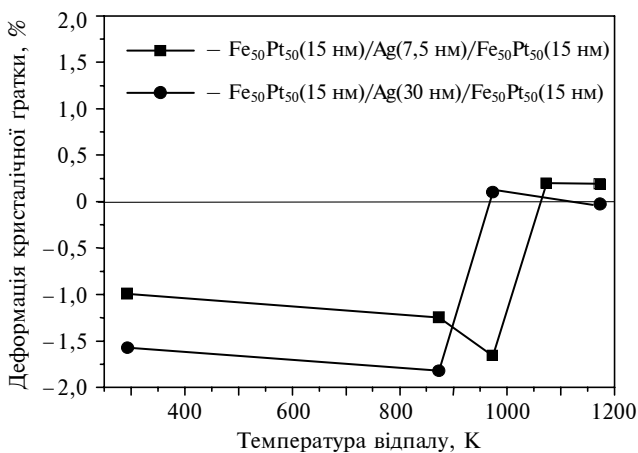


Рис. 3. Залежність деформації елементарних комірок фаз $A1\text{-FePt}$ і $L1_0\text{-FePt}$ пліткових композицій $\text{FePt}(15\text{нм})/\text{Ag}(7,5; 30\text{ нм})/\text{FePt}(15\text{ нм})$ від температури відпалу

Зміна знака деформації від стиску до розтягу пов'язана з переходом кубічної структури

фази $A1\text{-FePt}$ у тетрагональну надструктуру фази $L1_0\text{-FePt}$ зі зменшенням об'єму елементарної комірки. Можна бачити, що для пліткової композиції з прошарком Ag товщиною 30 нм такий перехід спостерігається за меншою температурою відпалу порівняно з композицією з проміжним шаром Ag товщиною 7,5 нм. Таким чином, підтверджено, що збільшення товщини проміжного шару Ag до 30 нм сприяє зменшенню температури впорядкування в композиціях з шарами $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ (15 нм).

Крім того, розраховано термічні напруження в нанорозмірних пліткових композиціях між шарами FePt/Ag та FePt/Si , які виникають унаслідок незбігу температурних коефіцієнтів термічного розширення цих шарів (рис. 4).

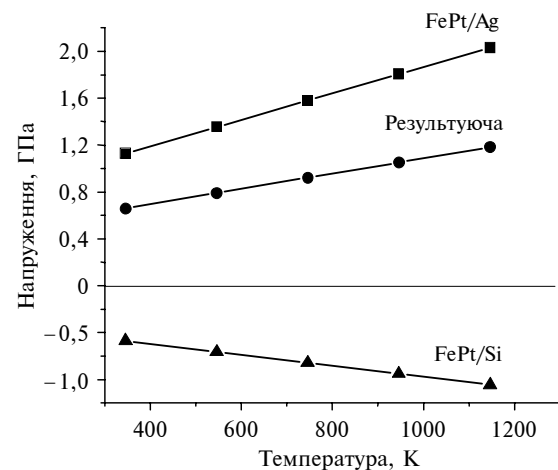


Рис. 4. Залежності термічних напружень між шарами FePt/Ag , FePt/Si та їх результуючої кривої від температури термічної обробки

Можна бачити, що між шарами FePt та Ag виникають напруження розтягу, в той час як між шарами FePt та підкладки Si існують напруження стиску. Це пов'язано з тим, що коефіцієнт лінійного розширення FePt є меншим за коефіцієнт лінійного розширення Ag , але більшим за коефіцієнт лінійного розширення Si . Крім того, на рис. 4 наведено результуючу криву термічних напружень, значення якої розраховано як суму між напруженнями розтягу і стиску. Можна бачити, що результуючі термічні напруження є напруженнями розтягу, свідченням чого є їх додатні значення. Проте результуючі деформації в пліткових композиціях зменшуються зі зміною об'єму при фазовому перетворенні $A1\text{-FePt} \rightarrow L1_0\text{-FePt}$. Більший рівень стискаючих напружень у композиції з проміжним шаром Ag 30 нм після осадження сприяє формуванню фази $L1_0\text{-FePt}$ за

температури на 100 К меншої, ніж у композиції з шаром Ag товщиною 7,5 нм.

Аналіз середньої поверхневої шорсткості нанорозмірних композицій FePt(15 нм)/Ag(7,5; 30 нм)/FePt(15 нм) засвідчив, що для композицій з проміжним шаром Ag товщиною 7,5 нм шорсткість залишається приблизно сталою (~6 нм) після осадження та відпалів за температур 973 і 1073 К, а підвищення температури термічної обробки до 1173 К призводить до збільшення значення шорсткості до 19,7 нм (рис. 5).

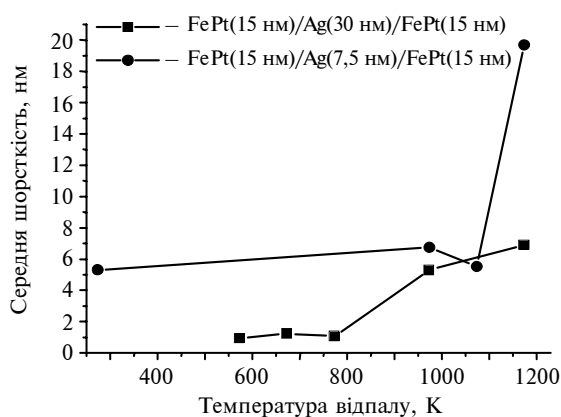


Рис. 5. Залежність середньої шорсткості композицій FePt(15 нм)/Ag(7,5 нм)/FePt(15 нм) та FePt(15 нм)/Ag(30 нм)/FePt(15 нм) від температури термічної обробки

У той же час значення поверхневої шорсткості композицій з прошарком Ag товщиною 30 нм після відпалів у температурному інтервалі 573–773 К становить приблизно 2 нм, подальше ж підвищення температури термічної обробки до 973 та 1173 К призводить до збільшення значень шорсткості до 5,3 та 6,9 нм відповідно, що підтверджується результатами резистометричного аналізу і свідчить про суттєві зміни в морфології плівкових композицій (рис. 6).

Результати вимірювання відносного поверхневого електроопору композицій з проміжним шаром Ag товщиною 7,5 нм добре корелюють з результатами рентгеноструктурного фазового аналізу цих композицій. Їх відносний електроопір стрімко зменшується при утворенні хімічно впорядкованої фази $L1_0$ -FePt. У той же час у плівкових композиціях з прошарком Ag товщиною 30 нм електроопір композицій спочатку поступово спадає в температурному інтервалі 573–973 К, а при подальшому підвищенні температури відпалу починає зростати (див. рис. 6), що може бути пов'язано зі зміною морфології поверхні плівкових композицій унаслідок дифузії срібла при термічній

обробці в напрямку вільної поверхні з утворенням сегрегації на ній.

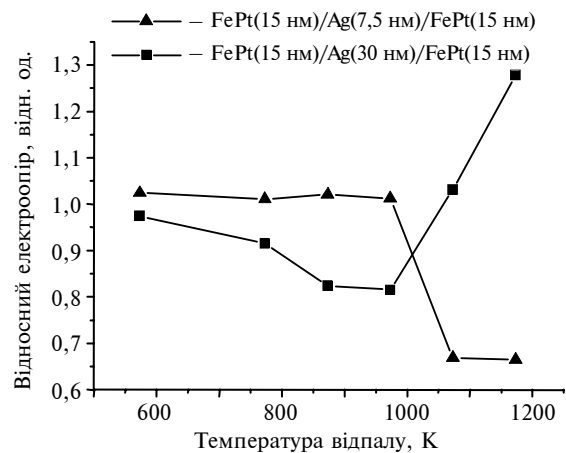


Рис. 6. Залежність відносного електроопору композицій FePt(15 нм)/Ag(7,5 нм)/FePt(15 нм) та FePt(15 нм)/Ag(30 нм)/FePt(15 нм) від температури відпалу

За рівнянням Дебая–Шерера розраховано середній розмір зерен FePt (за рефлексом (111)). Виявлено, що в обох досліджуваних композиціях середній розмір зерна є майже незмінним у температурному інтервалі термічної обробки 573–973 К, а подальше підвищення температури відпалу призводить до істотного росту зерна (рис. 7). При цьому високотемпературні відпали плівкової композиції з прошарком Ag товщиною 30 нм викликають більш інтенсивне збільшення розміру зерен. Слід зауважити, що рекристалізаційні процеси можуть проходити не лише під час ізотермічної витримки за температур 1073 та 1173 К, а й під час нагріву до зазначених температур.

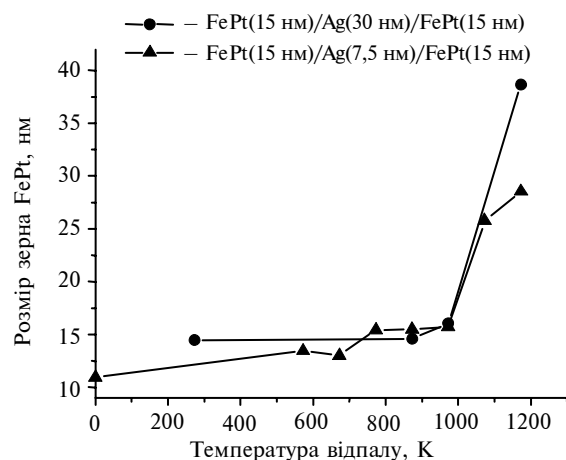


Рис. 7. Залежність розміру зерен FePt у композиціях FePt(15 нм)/Ag(7,5 нм)/FePt(15 нм) та FePt(15 нм)/Ag(30 нм)/FePt(15 нм) від температури термічної обробки

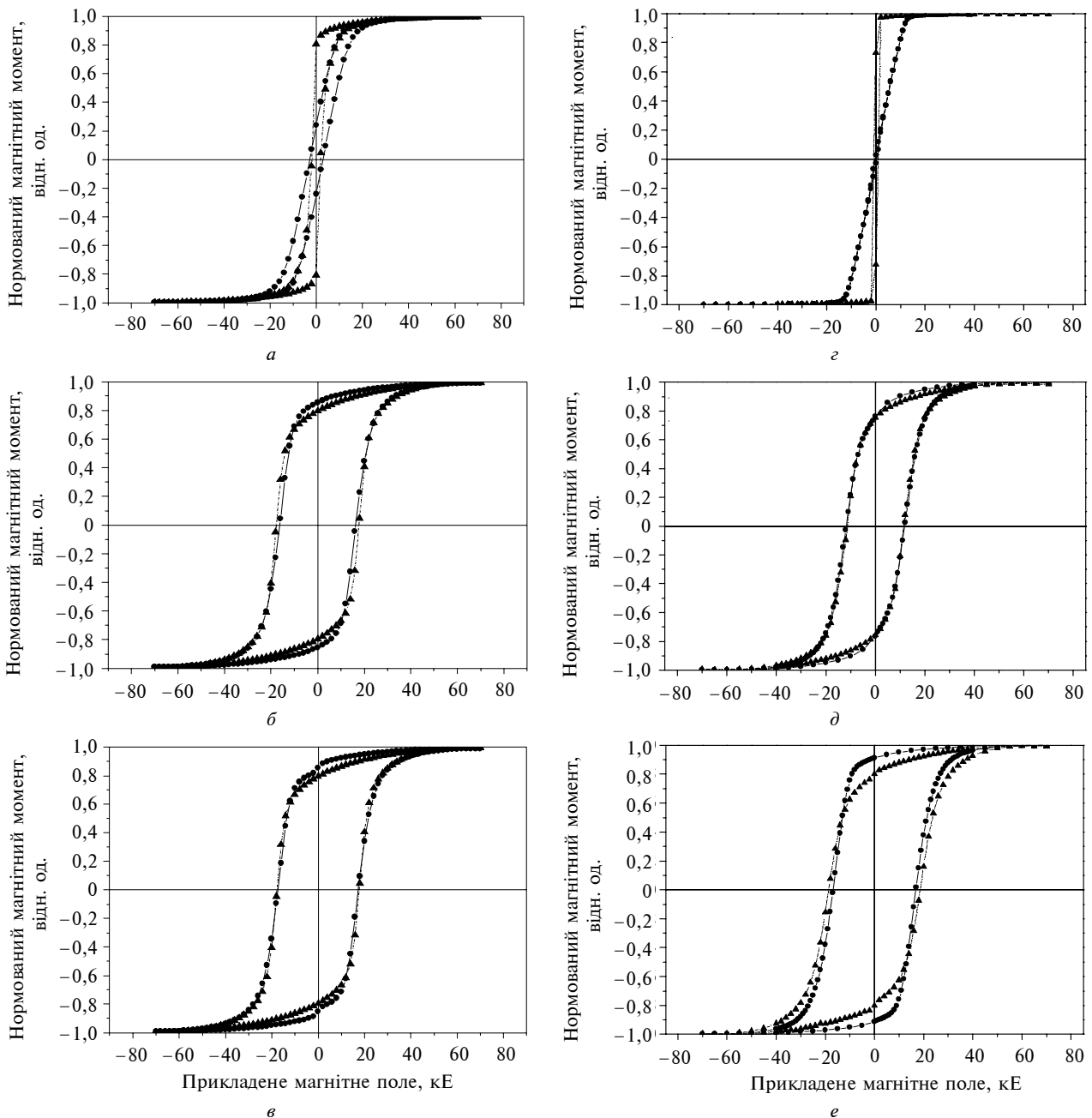


Рис. 8. Криві намагнічування нанорозмірних пліткових композицій FePt(15 нм)/Ag(7,5 нм)/FePt(15 нм) після термічної обробки за температур 973 К (а), 1073 К (б), 1173 К (в) та FePt(15 нм)/Ag(30 нм)/FePt(15 нм) після термічної обробки за температур 773 К (г), 973 К (д), 1173 К (е); \blacktriangle – при паралельно прикладеному до поверхні зразка магнітному полі; \bullet – при перпендикулярно прикладеному магнітному полі

На рис. 8 наведено результати дослідження магнітних властивостей пліткових композицій з різною товщиною проміжного шару Ag після термічної обробки за температур 973 і 1173 К. Наведено петлі гістерезису після нормування значень намагнічування по значенню намагнічування насичення. Коерцитивна сила композиції з прошарком Ag товщиною 7,5 нм після

відпалу за температури 973 К становить 2,9 кЕ. Збільшення температури відпалу до 1173 К приводить до зростання коерцитивності до 17 кЕ. У той самий час коерцитивна сила пліткової композиції FePt(15 нм)/Ag(30 нм)/FePt(15 нм) вже після відпалу за температури 973 К сягає 12 кЕ, а високотемпературна термічна обробка (1173 К) приводить до її збільшення до 18 кЕ.

Таким чином, ще раз підтверджено, що введення проміжного шару Ag товщиною 30 нм сприяє формуванню магнітотвердих властивостей плівкового матеріалу за менших температур термічної обробки і збільшенню коерцитивної сили, що може бути результатом насичення границь зерен немагнітною компонентою і обмеження обмінної взаємодії між зернами.

Висновки

Виявлено, що збільшення товщини проміжного шару Ag від 7,5 нм до 30 нм у плівкових композиціях з шарами сплаву $\text{Fe}_{50}\text{Pt}_{50}$ зумовлює зменшення температури утворення хімічно впорядкованої фази $L1_0$ -FePt на ~ 100 К. Це явище можна пояснити різницею між напруженими станами, що виникають у досліджуваних

плівкових композиціях унаслідок різниці температурних коефіцієнтів лінійного розширення шарів та підкладки.

Збільшення товщини проміжного шару Ag спричиняє збільшення значення коерцитивної сили композицій, що може бути наслідком насичення границь зерен фази $L1_0$ -FePt немагнітною компонентою і обмеження обмінної взаємодії між зернами. Визначено, що введення проміжного шару Ag товщиною 30 нм сприяє формуванню в плівковому матеріалі переважної орієнтації зерен, за якої відбудеться поворот вісі легкого намагнічування у напрямку, перпендикулярному до підкладки.

У подальшому планується досліджувати вплив інших легувальних елементів (Au, Cu) на формування хімічно впорядкованої фази $L1_0$ -FePt.

Список літератури

1. *Influence of the annealing atmosphere on the structural properties of FePt thin films* / I.A. Vladymyrskyi, M.V. Karpets, F. Ganss et al. // *J. Appl. Phys.* – 2013. – **114**. – P. 164314.
2. *$L1_0$ ordered FePt:C composite films with (001) texture* / M.L. Yan, R.F. Sabiryanov, Yi. Xu et al. // *Faculty Publications: Materials Res. Sci. Eng. Center.* – 2004. – **19**. – P. 2470–2472.
3. *Takahashi Y.K., Ohnuma M., Hono K.* Effect of Cu on the structure and magnetic properties of FePt sputtered film // *J. Magn. Mater.* – 2002. – **246**. – P. 259–265.
4. *Matsumoto S., Shima T.* Magnetic properties of FePt thin films with multilayered structure // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2011. – **266**. – P. 012038.
5. *Ikemoto J., Nakagawa Sh.* Fabrication of ultrathin FePt(Cu) alloy thin films directly on glass disks from Pt(Cu)/Fe bilayers // *App. Phys.* – 2008. – **103**, no. 7. – P. 7B512.
6. *$L1_0$ -ordered high coercivity (FePt)Ag-C granular thin films for perpendicular recording* / L. Zhang, Y.K. Takahashi, A. Perumal et al. // *J. Magn. Magn. Mater.* – 2010. – Vol. 322. – P. 2658–2664.
7. *Fabrication and magnetic properties of Ag/FePt thin films* / K.Dong, X. Cheng, W. Cheng et al. // *Mater. Manuf. Process.* – 2012. – **27**, is. 11. – P. 1160–1163.
8. *Where is Ag in FePt-Ag composite films?* / J.S. Chen, Y.Z. Zhou, C.J. Sun et al. // *Appl. Phys. Lett.* – 2011. – **98**. – P. 131911.
9. *Influence of intermediate Ag layer on the structure and magnetic properties of Pt/Ag/Fe films* / I.A. Vladymyrskyi, O.P. Pavlova, T.I. Verbitska et al. // *Vacuum.* – 2014. – **101**. – P. 33–37.
10. *Influence of the substrate choice on the $L1_0$ phase formation on post-annealed Pt/Fe and Pt/Ag/Fe thin films* / I.A. Vladymyrskyi, M.V. Karpets, F. Ganss et al. // *J. Appl. Phys.* – 2014. – **116**. – P. 044310.
11. *Effect of the underlayer (Ag, Ti or Bi) on the magnetic properties of Fe/Pt multilayer films* / C. Feng, B.H. Li, G. Han et al. // *Thin Solid Films.* – 2007. – **515**. – P. 8009–8012.
12. *FeAu/FePt exchange-spring media fabricated by magnetron sputtering and postannealing* / F. Wang, X. Xu, Y. Liang et al. // *Appl. Phys. Lett.* – 2009. – **95**. – P. 022516.
13. *You C.Y., Takahashi Y.K., Hono K.* Particulate structure of FePt thin films enhanced by Au and Ag alloying // *J. Appl. Phys.* – 2006. – Vol. 100. – P. 056105.
14. *Effects of Cr underlayer and Pt buffer layer on the interfacial structure and magnetic characteristics of sputtered FePt films* / A.-Ch. Sun, J.-H. Hsu, H.L. Huang et al. // *J. Magn. Magn.* – 2006. – **304**. – P. 106–110.
15. *Peng Yi., Zhu J.-G., Laughlin D.E.* $L1_0$ FePt-MgO perpendicular thin film deposited by alternating sputtering at elevated temperature // *J. Appl. Phys.* – 2006. – **99**. – P. 8F907.

References

1. I.A. Vladymyrskiy *et al.*, “Influence of the annealing atmosphere on the structural properties of FePt thin films”, *J. Appl. Phys.*, vol. 114, p. 164314, 2013.
2. M.L. Yan *et al.*, “ $L1_0$ ordered FePt:C composite films with (001) texture”, *Faculty Publications: Mater. Res. Sci. Eng. Center*, vol. 19, pp. 2470–2472, 2004.
3. Y.K. Takahashi *et al.*, “Effect of Cu on the structure and magnetic properties of FePt sputtered film”, *J. Magn. Mater.*, vol. 246, pp. 259–265, 2002.
4. S. Matsumoto *et al.*, “Magnetic properties of FePt thin films with multilayered structure”, *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 266, p. 012038, 2011.
5. J. Ikemoto *et al.*, “Fabrication of ultrathin FePt(Cu) alloy thin films directly on glass disks from Pt(Cu)/Fe bilayers”, *J. Appl. Phys.*, vol. 103, no. 7, p. 7B512, 2008.
6. Li Zhang *et al.*, “ $L1_0$ -ordered high coercivity (FePt)Ag-C granular thin films for perpendicular recording”, *J. Magn. Magn. Mater.*, vol. 322, pp. 2658–2664, 2010.
7. K. Dong *et al.*, “Fabrication and magnetic properties of Ag/FePt thin films”, *Mater. Manuf. Process*, vol. 27, is. 11, pp. 1160–1163, 2012.
8. J.S. Chen *et al.*, “Where is Ag in FePt-Ag composite films?”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 98, p. 131911, 2011.
9. I.A. Vladymyrskiy *et al.*, “Influence of intermediate Ag layer on the structure and magnetic properties of Pt/Ag/Fe films”, *Vacuum*, vol. 101, pp. 33–37, 2014.
10. I.A. Vladymyrskiy *et al.*, “Influence of the substrate choice on the $L1_0$ phase formation on post-annealed Pt/Fe and Pt/Ag/Fe thin films”, *J. Appl. Phys.*, vol. 116, p. 044310, 2014.
11. C. Feng *et al.*, “Effect of the underlayer (Ag, Ti or Bi) on the magnetic properties of Fe/Pt multilayer films”, *Thin Solid Films*, vol. 515, pp. 8009–8012, 2007.
12. F. Wang *et al.*, “FeAu/FePt exchange-spring media fabricated by magnetron sputtering and postannealing”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 95, p. 022516, 2009.
13. C.Y. You *et al.*, “Particulate structure of FePt thin films enhanced by Au and Ag alloying”, *J. Appl. Phys.*, vol. 100, p. 056105, 2006.
14. A.-Ch. Sun *et al.*, “Effects of Cr underlayer and Pt buffer layer on the interfacial structure and magnetic characteristics of sputtered FePt films”, *J. Magn. Magn.*, no. 304, pp. 106–110, 2006.
15. Yi. Peng *et al.*, “ $L1_0$ FePt-MgO perpendicular thin film deposited by alternating sputtering at elevated temperature”, *J. Appl. Phys.*, vol. 99, p. 8F907, 2006.

I.A. Владимирський, I.O. Круглов, М.Ю. Вербицька, О.В. Фігурна

ВПЛИВ ТОВЩИНИ ПРОМІЖНОГО ШАРУ Ag НА ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ТОНКОПЛІВКОВИХ КОМПОЗИЦІЯХ FePt/Ag/FePt

Проблематика. Перспективним матеріалом для надщільного магнітного запису є плівкові композиції на основі сплаву FePt з упорядкованою магнітотвердою фазою $L1_0$ -FePt. Для формування фази $L1_0$ -FePt необхідне осадження плівки на нагріту підкладку або проведення відпалу. Однак термічна обробка викликає ріст зерен і поверхневої шорсткості плівок, що ускладнює практичне використання цих матеріалів. Одним із можливих шляхів вирішення цієї проблеми є введення проміжних шарів легувальних елементів між шарами сплаву FePt, що може сприяти зниженню температури фазового перетворення $A1$ -FePt \rightarrow $L1_0$ -FePt.

Мета дослідження. Виявлення впливу товщини проміжного шару Ag на структуру та магнітні властивості композицій FePt/Ag(7,5; 30 нм)/FePt.

Методика реалізації. Плівкові композиції отримано магнетронним методом, їх структуру та властивості до і після термічної обробки досліджено методами рентгеноструктурного фазового аналізу, атомно-силової мікроскопії, магнітометрії та резистометрії.

Результати дослідження. Виявлено, що збільшення товщини шару Ag від 7,5 до 30 нм сприяє зменшенню температури утворення фази $L1_0$ -FePt на ~ 100 К та збільшенню коерцитивної сили композицій.

Висновки. Зменшення температури формування фази $L1_0$ -FePt при збільшенні товщини проміжного шару Ag можна пояснити різницею між напруженими станами, що виникають у досліджуваних плівках при відпалах унаслідок різниці коефіцієнтів лінійного розширення їх шарів. Збільшення товщини проміжного шару Ag приводить до збільшення значення коерцитивної сили композицій унаслідок насичення границь зерен фази $L1_0$ -FePt немагнітною компонентою та обмеження обмінної взаємодії між зернами.

Ключові слова: магнітний запис; плівкові композиції; FePt; коерцитивна сила.

И.А. Владимирский, И.А. Круглов, М.Ю. Вербицкая, Е.В. Фигурная

ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СЛОЯ Ag НА ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЯХ FePt/Ag/FePt

Проблематика. Перспективным материалом для сверхплотной магнитной записи являются пленочные композиции на основе сплава FePt с упорядоченной магнитнотвердой фазой $L1_0$ -FePt. Для формирования фазы $L1_0$ -FePt необходимо осаждение пленки на нагретую подложку или проведение отжига. Однако термическая обработка вызывает рост зерен и поверхностной шероховатости пленок, что усложняет практическое использование данных материалов. Одним из возможных путей решения данной проблемы является введение промежуточных слоев легирующих элементов между слоями сплава FePt, что может содействовать понижению температуры фазового превращения $A1$ -FePt \rightarrow $L1_0$ -FePt.

Цель исследования. Определение влияния толщины промежуточного слоя Ag на структуру и магнитные свойства композиций FePt/Ag(7,5; 30 нм)/FePt.

Методика реализации. Пленочные композиции получены магнетронным методом, их структура и свойства до и после термической обработки исследованы методами рентгеноструктурного фазового анализа, атомно-силовой микроскопии, магнитометрии и резистометрии.

Результаты исследования. Определено, что увеличение толщины слоя Ag от 7,5 до 30 нм приводит к уменьшению температуры образования фазы $L1_0$ -FePt на ~ 100 К и увеличению коэрцитивной силы композиций.

Выводы. Явление уменьшения температуры формирования фазы $L1_0$ -FePt при увеличении толщины промежуточного слоя Ag можно объяснить разницей между напряженными состояниями, которые возникают в исследуемых пленках при отжигах вследствие различия коэффициентов линейного расширения их слоев. Увеличение толщины промежуточного слоя Ag приводит к увеличению значения коэрцитивной силы композиций вследствие насыщения границ зерен фазы $L1_0$ -FePt немагнитной компонентой и ограничения обменного взаимодействия между зернами.

Ключевые слова: магнитная запись; пленочные композиции; FePt; коэрцитивная сила.

Рекомендована Радою
інженерно-фізичного факультету
НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
17 квітня 2015 року