

УДК 537.623

ВЛИЯНИЕ БУФЕРНОГО СЛОЯ ПЕРМАЛЛОЯ НА СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ГИСТЕРЕЗИСНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК FeNi/NiMn/FeNi

© 2019 г. М. Е. Москалев^{1, *}, В. Н. Лепаловский¹, Л. И. Наумова^{1, 2}, В. О. Васьковский^{1, 2}

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

“Уральский федеральный университет имени Первого Президента России Б.Н. Ельцина”, Екатеринбург, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

*E-mail: mikhail.moskalev@urfu.ru

Поступила в редакцию 07.09.2018 г.

После доработки 31.01.2019 г.

Принята к публикации 27.03.2019 г.

В работе исследованы кристаллическая структура и гистерезисные свойства многослойных пленок типа FeNi/NiMn/FeNi, в которых варьировались состав слоя NiMn (9; 27; 49 ат. % Ni) и толщина буферного слоя FeNi (50–400 Å), предшествовавшего слою NiMn. В пленках со слоем NiMn, содержащим 9 ат. % Ni, обменное смещение наблюдается лишь для нижнего слоя, в то время как в пленке с 27 ат. % Ni – в обоих слоях пермаллоя. При этом величина поля обменного смещения зависит от толщины буферного слоя и позиции слоя пермаллоя в пленочной структуре.

DOI: 10.1134/S0367676519070275

ВВЕДЕНИЕ

Многослойные пленки на основе антиферромагнитных слоев NiMn имеют высокий потенциал практического применения в сфере спинтроники [1, 2]. Это обусловлено эффектом обменного смещения, наблюдаемым в системах с обменно-связанными антиферромагнитным и ферромагнитным слоями [3]. Указанный эффект заключается в сдвиге петли гистерезиса ферромагнетика по оси полей на величину H_{ex} , называемую полем обменного смещения, и, как правило, сопровождается увеличением коэрцитивной силы H_c . Наличие обменного смещения связано со структурным состоянием слоя NiMn, которое, в свою очередь, зависит от состава и условий его осаждения [4, 5]. Активную роль в формировании структуры NiMn и, в частности, в образовании антиферромагнитных фаз играет кристаллохимическое состояние буферных слоев, предшествующих слою NiMn. В данной работе исследуется роль буферного слоя FeNi как фактора, влияющего на структуру и гистерезисные свойства пленок FeNi/NiMn/FeNi.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В работе исследовались пленки, полученные методом магнетронного распыления на уста-

новке Orion-8, со следующей слоистой структурой: стекло/Ta(50)/Fe₂₀Ni₈₀(L)/Ni_xMn_{100-x}(200)/Fe₂₀Ni₈₀(400)/Ta(50). В этой структуре слой пермаллоя варьируемой толщины L рассматривался как буферный по отношению к слою NiMn. Остальные слои имели фиксированные значения толщины, приведенные в скобках в Å. Величина L изменялась в пределах 50–400 Å для каждой из трех серий образцов с разным составом слоев Ni_xMn_{100-x} ($x = 9; 27; 49$ ат. %). Соответствующая концентрация компонентов задавалась путем подбора скоростей осаждения Ni и Mn в режиме сораспыления однокомпонентных мишеней. Связь между соотношением этих скоростей и составом слоев была определена в ходе предварительного эксперимента с помощью рентгеновского флуоресцентного спектрометра Rigaku NanoHunter. Для исследования структурного состояния образцов применялась рентгеновская дифрактометрия, проводившаяся на установке Дрон-3М в излучении $Co K_{\alpha}$. Гистерезисные свойства определялись по магнитооптическим петлям гистерезиса. Они измерялись на Керр-микроскопе Evico Magnetics вдоль оси анизотропии, сформированной технологическим магнитным полем при получении пленок.

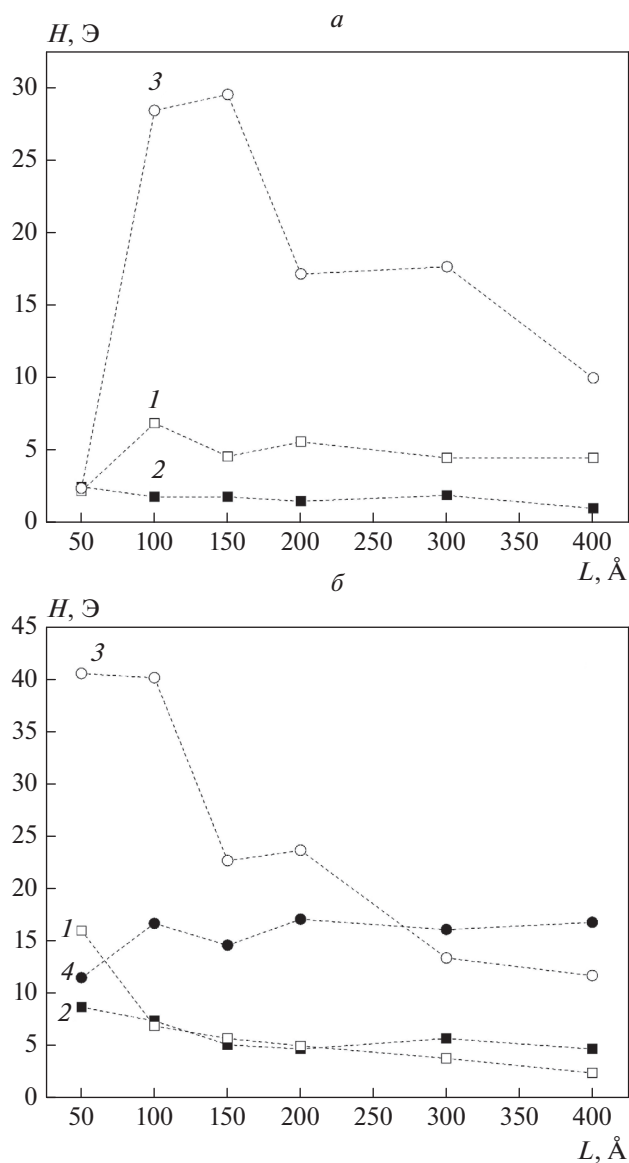


Рис. 1. Зависимости коэрцитивной силы H_c (1, 2) и поля смещения H_{ex} (3, 4) нижнего (1, 3) и верхнего (2, 4) слоев FeNi от толщины нижнего (буферного) слоя FeNi L в случае $x = 9$ ат. % (а) и $x = 27$ ат. % (б).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперимент показал, что в исследованных пленках с $x = 9$ и 27 имеет место эффект обменного смещения. Причем в случае $x = 9$, он наблюдается только для нижнего (буферного) слоя FeNi (рис. 1а), который также характеризуется повышенной коэрцитивной силой (~ 5 Э). Отсутствие обменного смещения и низкий гистерезис ($H_c \sim 1$ Э) в верхнем слое FeNi, по-видимому, являются следствием магнитной и, соответственно, структурной неоднородности слоя NiMn по толщине. В образце с $x = 27$, обменное смещение

присутствует в обоих слоях (рис. 1б), что говорит о формировании антиферромагнитной фазы по всей толщине слоя NiMn. В том и другом случаях величина поля обменного смещения H_{ex} буферного слоя FeNi весьма чувствительна к изменению его толщины. Однако ход зависимостей $H_{ex}(L)$ несколько различен. Для образца с $x = 9$ выражен начальный рост H_{ex} с увеличением L , который, по-видимому, связан с нарастанием стабилизирующего влияния буферного слоя на структуру и магнитное состояние слоя NiMn. Последующее снижение H_{ex} имеет иную природу и, как и в образце с $x = 27$, обусловлено ростом магнитного момента буферного слоя [3].

Отмеченные различия в магнитных свойствах пленок двух типов, вероятно, отражают специфику влияния буферного слоя на структурное состояние слоя NiMn разного состава и, в частности, на формирование антиферромагнитной фазы γ -NiMn, ответственной за эффект обменного смещения [6]. Согласно фазовой диаграмме системы Ni–Mn для состава с $x = 9$ фаза γ -NiMn характеризуется г.ц.к. структурой со значительными тетрагональными искажениями, которые, вблизи буферного слоя пермаллоя, по-видимому, подавляются эпитаксиальным действием его г.ц.к. структуры. Но при удалении от буферного слоя тетрагональные искажения инициируют рассогласование структур FeNi и NiMn. В результате нарушается однофазность и кристаллическая текстура в слое NiMn, что, в конечном счете, приводит к отсутствию смещения в верхнем слое пермаллоя [7]. При составе $x = 27$ равновесной для фазы γ -NiMn является неискаженная г. ц. к. структура, которая сохраняет возможность стабилизироваться по всей толщине слоя NiMn [7] и обеспечивает обменное смещение верхнего слоя пермаллоя. Эти представления подтверждаются данными рентгеноструктурного анализа, показанными на рис. 2б. Они, в частности, говорят о наличии фазы γ -NiMn во всех пленках, но в меньшей относительной концентрации в образцах с $x = 9$.

Интересно, что фаза γ -NiMn идентифицируется и в образце с $x = 49$ (кривая 3 на рис. 2б), в котором обменное смещение отсутствует в обоих слоях. Эта пленка отличается и специфическим поведением зависимостей $H_c(L)$ (рис. 2а). С увеличением L коэрцитивная сила обоих слоев уменьшается в несколько раз, достигая значений много меньших тех, которые типичны для однослойных пленок пермаллоя соответствующих толщин. В совокупности эти данные позволяют заключить, что состав фазы γ -NiMn в данном образце таков, что температура Нееля лежит ниже комнатной температуры [7]. Иначе говоря, в условиях поставленного эксперимента слой NiMn находится в парамаг-

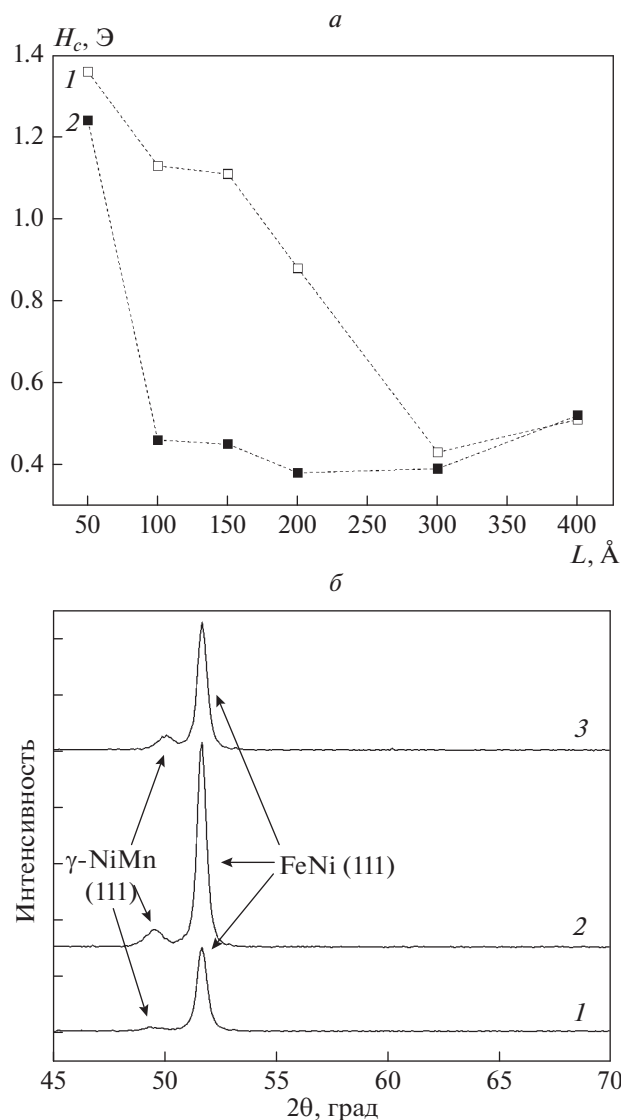


Рис. 2. Зависимости коэрцитивной силы H_c нижнего (1) и верхнего (2) слоев FeNi от толщины нижнего (буферного) слоя FeNi L в случае $x = 49$ ат. % (а) и рентгенограммы образцов с $x = 9$; 27; 49 ат. % (1, 2 и 3, соответственно) при $L = 400$ Å (б). Важно отметить, что для образца с $x = 49$ ат. % обменное смещение не наблюдается.

нитном состоянии. Он разделяет ферромагнитные слои так, что создаются условия для формирова-

ния в этих слоях сдвоенных доменных границ Нееля, смещению которых свойственен anomalно низкий гистерезис [8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования установлены качественные и количественные закономерности влияния буферного слоя пермаллоя на свойства пленок типа FeNi/NiMn/FeNi с различным содержанием Ni ($x = 9$ –49 ат. %) в слое NiMn. Установлено, что во всех пленках наличие буферного слоя FeNi приводит к образованию фазы γ -NiMn. В пленке с $x = 49$ при комнатной температуре она находится в парамагнитном, а в пленках с $x = 27$ и $x = 9$ в антиферромагнитных состояниях. Причем в последнем случае ($x = 9$) ее концентрация существенно неоднородна по толщине слоя NiMn. Указанные структурные особенности определяют специфику эффекта обменного смещения и магнитного гистерезиса в исследованных пленочных структурах.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-72-10044.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang Y.Y., Song C., Zhang J.Y., Pan F. // Prog. Nat. Sci. Mater. Int. 2017. V. 27. P. 208.
2. Jogschies L., Klaas D., Kruppe R. et al. // Sensors. 2015. V. 15. P. 28665.
3. Radu F., Zabel H. // Magnetic heterostructures. Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. P. 97.
4. Wienecke A., Kruppe R. and Rissing L. // J. Appl. Phys. 2015. V. 117. Art. № 17C108.
5. Portier X., Pefford-Long A.K., Anthony T. C. // IEEE Trans. Magn. 1997. V. 33. P. 3679.
6. Tsunoda M., Tsuchiya Y., Konoto M., Takahashi M. // J. Magn. Magn. Mater. 1997. V. 171. P. 29.
7. Honda N., Tanji Y., Nakagawa Y. // J. Phys. Soc. Jap. 1976. V. 41. P. 1931.
8. Vas'kovskiy V.O., Savin P.A., Lepalovskiy V.N. // Phys. Sol. St. 1997. V. 39. P. 2191.