

# Исследование процессов перемагничивания и доменной структуры пленок типа FeMn/FeNi с однонаправленной магнитной анизотропией

Гридина Злата Викторовна

Болячкин Антон Сергеевич, Кулеш Никита Александрович

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

Кулеш Никита Александрович, к.ф.-м.н.

[zlatagrinina@ya.ru](mailto:zlatagrinina@ya.ru)

Магнитные характеристики тонких пленок и процессы перемагничивания в них сильно зависят от толщины, слоистой структуры, типа подложки, режимов термообработки и синтеза, из-за чего возникает необходимость тщательного контроля указанных параметров для достижения требований, обусловленных поставленными задачами. Возможность прецизионной настройки свойств магнитных пленочных систем определяет их использование в различных технических приложениях: от систем записи информации и сенсоров до современных разработок в области спинтроники и магноники. Еще одним эффективным «инструментом» для влияния на магнитные свойства многослойных пленок (в частности, доменную структуру) является обменное взаимодействие, возникающее, например, в интерфейсной области прилегающих ферромагнитного (ФМ) и антиферромагнитного (АФМ) слоев. При определенных условиях оно приводит к формированию однонаправленной магнитной анизотропии и обменному смещению петель магнитного гистерезиса [1].

Особенности процессов перемагничивания и доменной структуры магнитных пленок с однонаправленной магнитной анизотропией определяются как внутренними параметрами (магнитные свойства отдельных слоев, их толщины), так и внешними (процедура охлаждения в поле, необходимая для создания обменного смещения). Важное значение имеет также взаимная ориентация внешнего магнитного поля, одноосной анизотропии ФМ слоя и однонаправленной анизотропии, от которой существенно зависит вид петли магнитного гистерезиса и соотношение обратимых и необратимых процессов перемагничивания [2,3]. Данная работа ставит своей целью исследовать процессы перемагничивания и доменную структуру пленок с однонаправленной анизотропией, содержащих АФМ слой обменно-связанный с двумя ФМ слоями, один из которых является рабочим (большая толщина), другой – структурирующим (меньшая толщина).

Объектами для исследования выступают тонкие магнитные пленки Ta(5nm)/Py(5nm)/FeMn(t)/Py(40nm)/Ta(5nm), где t варьировалась от 2 до 20 нм. Образцы были получены методом магнетронного распыления на установке АТС Orion 8 UHV в присутствии магнитного поля напряженностью  $\approx 100$  Э, обуславливающего направление индуцированной одноосной и однонаправленной магнитных анизотропий. Измерение петель магнитного гистерезиса и визуализация доменной структуры были выполнены на магнитооптическом векторном Керровском магнитометре и Керр-микроскопе Evico Magnetics.

В качестве референтного образца использовалась пленка пермаллоя Ta(5nm)/Py(40nm)/Ta(5nm), для которой были получены угловые зависимости коэрцитивной силы  $H_c$ , остаточной намагниченности, а также петли гистерезиса, измеренные при приложении магнитного поля под углами от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . В результате было показано, что пленка имеет ярко выраженную одноосную магнитную анизотропию, однако коэрцитивная сила оказывается относительно высокой даже при приложении магнитного поля под углом  $90^\circ$  по отношению к оси наведенной анизотропии. Это обстоятельство свидетельствует о наличии разориентации осей легкого намагничивания, что подтверждается наблюдаемой доменной структурой (характерной для так называемых инвертированных пленок).

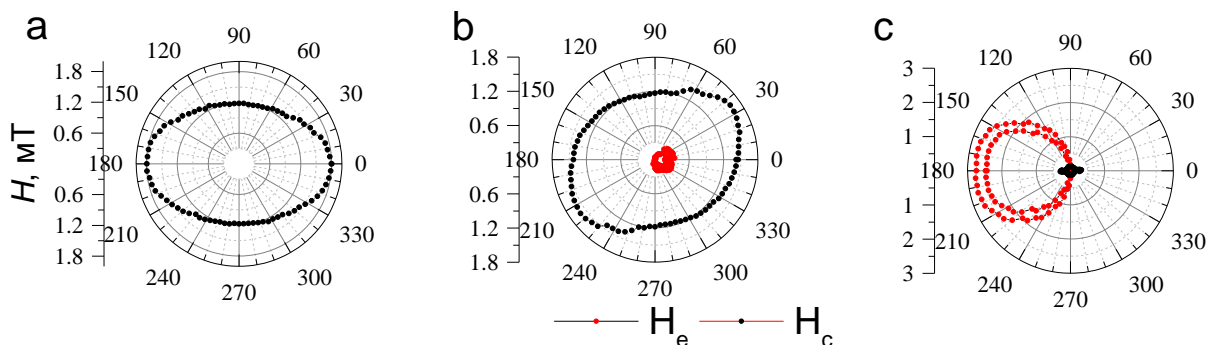


рис.1. Угловые зависимости коэрцитивной силы и поля обменного смещения, полученные для образцов Ta(5)/Py(5)/FeMn(4)/Py(40)/Ta(5), Ta(5)/Py(5)/FeMn(5)/Py(40)/Ta(5), Ta(5)/Py(5)/FeMn(10)/Py(40)/Ta(5) (толщины слоев указаны в нанометрах). Петли гистерезиса, из которых были получены величины  $H_c$  и  $H_e$  измерены в продольной геометрии.

Аналогичные угловые зависимости были получены и проанализированы для образцов Ta(5нм)/Ru(5нм)/FeMn(t)/Ru(40нм)/Ta(5нм). В области толщин  $t$  от 0 до 4 нм наблюдалось повышение  $H_c$ , при этом одноосный характер магнитной анизотропии сохранялся (рис. 1, а). Смещение петли гистерезиса вдоль оси магнитного поля появляется лишь для  $t = 5$  нм, одновременно с этим наблюдается максимальное значение коэрцитивной силы. Интересно отметить, что для минимальной толщины антиферромагнитного слоя, при которой появляется обменное смещение, наблюдается изменение направления оси наведенной анизотропии на угол порядка  $30^\circ$  (рис. 1, б). Дальнейшее повышение  $t$  сопровождается выходом на насыщение поля обменного смещения и снижением коэрцитивной силы, максимумы угловой зависимости  $H_c$  и  $H_c$  практически совпадают и соответствуют направлению технологического поля, приложенного во время осаждения образца (рис. 1, с).

В целом полученные зависимости  $H_c$  и  $H_c$  от толщины антиферромагнитного слоя являются типичными для обменно-связанных систем типа ферромагнетик/антиферромагнетик. Угловые зависимости коэрцитивной силы и поля обменного смещения в переходной области толщин FeMn показали появление разориентации оси наведенной магнитной анизотропии и направления однонаправленной анизотропии. При этом направление однонаправленной анизотропии совпадало с направлением технологического поля, тогда как отклонение оси анизотропии составляло до  $30^\circ$ . По аналогии с [3], такая ситуация может являться следствием влияния осаждаемого слоя антиферромагнитного материала на ферромагнитный слой с низкой магнитной анизотропией, а возникающая фрустрация намагниченности транслируется через тонкий антиферромагнитный слой в рабочий слой Ru. При повышении толщины FeMn влияние нижнего слоя Ru снижается, и ось анизотропии становится параллельна технологическому полю и однонаправленной анизотропии. В результате работы можно заключить, что использование магнитомягкого подслоя может приводить к магнитным фрустрациям в интерфейсной области, как следствие, оказывать существенное влияние на перемагничивание рабочего слоя. Такое влияние может быть минимизировано путем увеличения толщины антиферромагнитного слоя, проведением дополнительной термомагнитной обработки, или использования подслоя с более сильной одноосной анизотропией.

Список публикаций:

[1] J. Nogués, I.K. Schuller *Exchange bias // J. Magn. Magn. Mater.* 1998

[2] McCord J., Schäfer R. *Domain wall asymmetries in Ni81Fe19/NiO: proof of variable anisotropies in exchange bias systems // New J. Phys.* 2009

[3] E. Jiménez, J. Camarero etc. *Emergence of noncollinear anisotropies from interfacial magnetic frustration in exchange-bias systems // Phys. Rev. B.* 2009

## **Влияние скорости охлаждения при термообработке на распределение намагниченности и максимальную магнитную проницаемость аморфного сплава Co-Fe-Ni-Cr-Si-B**

*Денисов Никита Денисович*

*Чекис Владимир Игоревич, Скулкина Надежда Александровна*

*Уральский федеральный университет им. Б.Н. Ельцина*

*Скулкина Надежда Александровна, д.ф.-м.н.*

*[frt\\_skoul@mail.ru](mailto:frt_skoul@mail.ru)*

Аморфные магнитомягкие сплавы на основе кобальта находят применение в магнитном экранировании, поскольку обладают высокими значениями магнитной проницаемости и близкой к нулю магнитострикцией насыщения. Стандартным приемом повышения уровня магнитных свойств являются термические обработки (ТО), которые вследствие сравнительно низкой температуры изотермической выдержки преимущественно проводят на воздухе без видимого окисления поверхности ленты. Физическими причинами, влияющими на распределение намагниченности и формирование уровня магнитных свойств, являются релаксация внутренних напряжений и индуцирование преимущественно плоских анизотропных растягивающих напряжений, обусловленных внедренными в поверхность ленты атомами водорода и кислорода при ее взаимодействии с атмосферным водяным паром, а также поверхностной кристаллизацией [1-3].

Влияние скорости охлаждения ( $v_{\text{охл}}$ ) при термообработке на воздухе при  $380^\circ\text{C}$  с длительностью изотермической выдержки 10 мин на распределение намагниченности и максимальную магнитную проницаемость ( $\mu_{\text{max}}$ ) аморфного сплава Co-Fe-Ni-Cr-Si-B изучали на образцах в форме полос размерами  $100 \times 10 \times 0,022$  мм. Поскольку ТО может приводить к формированию состояний с разными знаками магнитострикции насыщения ( $\lambda_s$ ), а влияние индуцируемых при этом напряжений для разных состояний различно, знак  $\lambda_s$  после ТО определяли по влиянию растягивающих напряжений, индуцируемых при взаимодействии поверхности ленты с водой. Индуцируемые напряжения помимо плоского создают