

термообработки происходит кристаллизация пленок, в результате которой формируются зерна размером порядка 13 нм.

Список публикаций:

- [1] Y. Yoshizawa, S. Oguma, K. Yamauchi // *New Fe-based soft magnetic alloys composed of ultrafine grain structure: Journal of Applied Physics*. 1988. № 64. P.4-10.  
[2] J P Whitney, P S Sreetharan, K Y Ma and R J Wood // *Journal of Micromechanics and Microengineering*. 2011. №21. P.3-6  
[3] Филиппов Б.Н., Шулика В.В., Потанов А.П., Вильданова Н.Ф. // *Журнал технической физики*. 2014. Т. 84. № 3. С.63.  
[4] *Dektak 150 surface profiler. User's manual*. 2007. P.120-130.

## **Влияние толщины антиферромагнитных слоёв Fe-Mn, Fe-Mn на гистерезисные свойства плёнок с обменным смещением**

**Куликова Татьяна Вячеславовна**

*Москалёв Михаил Евгеньевич, Лепаловский Владимир Николаевич, Степанова Елена Александровна, Васьковский Владимир Олегович*

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

*Васьковский Владимир Олегович, д.ф.-м.н.*

*[Tatiana.Kulikova@urfu.ru](mailto:Tatiana.Kulikova@urfu.ru)*

Обменное смещение реализуется в плёночных структурах, содержащих контактирующие ферро- и антиферромагнитные слои [1]. В таких структурах антиферромагнитный слой за счёт межслойной обменной связи оказывает ориентирующее действие на магнитный момент ферромагнитного слоя. В результате ферромагнитный слой в отсутствие внешнего магнитного поля оказывается монодоменизированным, что является необходимым свойством функциональных плёночных сред для ряда устройств магнитоэлектроники [2]. Данная работа посвящена сопоставительному исследованию влияния толщины слоёв разных антиферромагнетиков на реализацию обменного смещения и гистерезисные свойства плёнок на основе пермаллоя.

Среди антиферромагнетиков, температура Нееля которых превышает комнатную температуру, наиболее эффективными источниками обменного смещения являются сплавы, содержащие Mn. К ним, в частности, относятся эквиатомный сплав FeMn и сплав Ni<sub>30</sub>Mn<sub>70</sub>, использовавшиеся в данной работе. Однако наряду с составом важным условием образования антиферромагнитного упорядочения в указанных сплавах является тип кристаллической структуры: г.ц.к. – для FeMn, г.ц.т. – для Ni<sub>30</sub>Mn<sub>70</sub>. Реализация указанных кристаллических структур в плёночном состоянии требует специальных технологических приёмов, к которым относятся: наличие затравочного буферного слоя с необходимой кристаллической структурой - в первом случае; термомагнитная обработка - во втором случае. Таким образом, для исследования были использованы два типа образцов, полученных методом магнетронного распыления: SiO<sub>2</sub>/Ta(5)/Fe<sub>20</sub>Ni<sub>80</sub>(5)/Fe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub>(L)/Fe<sub>20</sub>Ni<sub>80</sub>(40)/Ta(5) и SiO<sub>2</sub>/Ta(5)/Ni<sub>30</sub>Mn<sub>70</sub>(L)/Fe<sub>20</sub>Ni<sub>80</sub>(40)/Ta(5). Причём плёнки второго типа непосредственно после осаждения подвергались вакуумной термомагнитной обработке при температуре 300°C в течение 1 часа. Отметим также, что в приведённых структурных формулах косые линии отделяют слои разного состава, а цифры в скобках указывают толщины слоёв в нм. Варьируемым параметром в образцах обоих типов выступала толщина антиферромагнитного слоя L. Для исследования свойств плёнок использовались Керр-магнитометр Evico-magnetics и измерительный комплекс MPMS XL-7.

На рис.1 в качестве примера показаны зависимости коэрцитивной силы  $H_c$  и поля обменного смещения  $H_e$  от толщины антиферромагнитных слоев в образцах двух типов при комнатной температуре. Видны качественное сходство и определённое количественное различие этих характеристик для плёнок, содержащих антиферромагнитные слои разного состава. В работе с использованием данных низкотемпературных измерений выполнен анализ закономерностей формирования этих свойств.

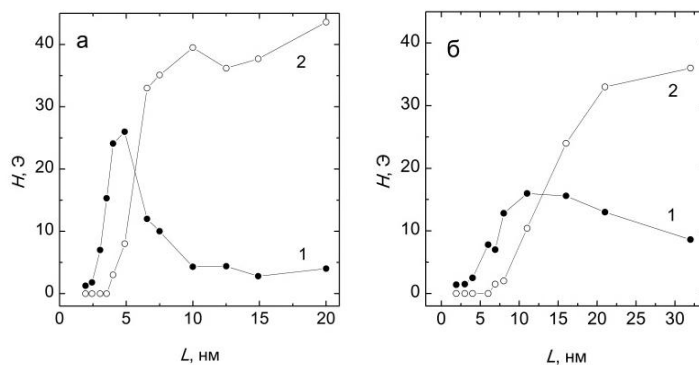


рис. 1. Зависимости коэрцитивной силы (кривые 1) и поля обменного смещения (кривые 2) от толщины антиферромагнитных слоёв: а - Fe<sub>50</sub>Mn<sub>50</sub>; б - Ni<sub>30</sub>Mn<sub>70</sub>

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России, проект RFMEFI57815X0125.

Список публикаций:

- [1] Giri S, Patra M., Majumdar S. Exchange bias effect in alloys and compounds// *J.Phys.: Condens. Matter* 23 (2011) 073201 (23pp).  
 [2] Coehoorn R. *Handbook of Magnetic Materials*, Ed. by K. H. J. Buschow (North Holland, Amsterdam, 1999), V. 15, pp. 1–198

## Бесконтактный магнитоэлектрический датчик тока

*Леонтьев Виктор Сергеевич*

*Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого*

*Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н.*

*[Viktorsergeevich.novsu@gmail.com](mailto:Viktorsergeevich.novsu@gmail.com)*

В последние годы проявляется большой интерес к бесконтактным датчикам разного типа. Одним из таких типов датчиков является бесконтактный датчик тока, основанный на прямом магнитоэлектрическом (МЭ) эффекте. Прямой МЭ эффект – это результат взаимодействия магнитоэлектрической и пьезоэлектрической фаз компонентов, т.е. электрическая поляризация индуцируется внешним переменным магнитным полем [1]. В качестве чувствительного элемента датчика применяется магнитоэлектрически-пьезоэлектрическая слоистая структура на основе пьезокерамики ЦТС с размерами 30x10x0.5мм и сплава Метглас, соответствующего размера [2]. Такая композитная структура по чувствительности приближается к СКВИД-системам и значительно превосходит по показателям чувствительности и радиационной стойкости сенсоры на эффекте Холла.

В работе обсуждается бесконтактный МЭ датчик постоянного тока. Конструкция датчика включает в себя: корпус; модулирующую катушку, предназначенную для создания переменного магнитного поля. В модулирующую катушку установлен чувствительный элемент, свободно закрепленный. Принцип работы МЭ датчика тока заключается в следующем: при протекании постоянного тока в измеряемом проводнике создается постоянное магнитное поле. Модулирующая катушка, подключенная к генератору переменных сигналов, создает переменное магнитное поле. В результате на чувствительном элементе происходит индуцирование ЭДС. Полученную величину ЭДС, наблюдаем непосредственно на осциллографе. На рис.1 представлена экспериментальная выходная характеристика с линейностью 2%

Измерения проводились на измерительном стенде, который включал в себя: источник питания Keysight E3631A; генератор сигналов НАМЕГ НМФ2550 и осциллограф НАМЕГ НМО722. Чувствительность датчика составляет 0,512 мВ/А. В дальнейшем планируется повышение чувствительности методом подбора оптимальных параметров для данного типа датчика и миниатюризация устройства.