

PACS: 75.70.Kw

А.В. Безус, Т.Ю. Борисенко, Ю.А. Сирюк, В.В. Смирнов

## ВЛИЯНИЕ ПОДМАГНИЧИВАЮЩИХ ПОЛЕЙ НА ДОМЕННУЮ СТРУКТУРУ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВОЙ ПЛЕНКЕ

Донецкий национальный университет  
ул. Университетская, 24, г. Донецк, 83055, Украина  
E-mail: Julia@sktel.com.ua

Статья поступила в редакцию 7 июня 2007 года

*Экспериментально исследовано поведение доменной структуры (ДС) в двухслойной феррит-гранатовой пленке при изменении магнитных полей и температуры. Показано влияние магнитоэлектронного взаимодействия слоев на формирование ДС. Определена связь между величинами магнитоэлектронного взаимодействия (намагниченностью насыщения слоев) и фазовыми переходами в ДС другого слоя.*

Поведение ДС в двухслойных пленках феррита-граната вызывает особый интерес, т.к. на нее влияют не только наведенная и кубическая анизотропия, но и взаимодействие слоев. Благодаря оптической прозрачности пленки можно визуально наблюдать поведение ДС при изменении взаимодействия между слоями, вызванном температурой или магнитным полем. Между слоями существуют как магнитоэлектронное, так и обменное взаимодействия. В [1] обменное взаимодействие описывается введением дополнительных доменных границ (ДГ), параллельных поверхности раздела слоев и разделяющих некоторые домены верхнего и нижнего слоев. Экспериментально в [1] было установлено, что обменное взаимодействие между слоями феррит-гранатовых пленок минимально и составляет  $\sim 1.4$  К, если их соответствующие железные подрешетки параллельны.

В [2] изучены ориентационные фазовые переходы (ФП) в двухслойной пленке, индуцируемые полем смещения. Показано, что эти ФП обусловлены наличием однонаправленной обменной анизотропии и качественно отличаются по своей природе от известных в литературе. В [3] экспериментально исследовано поведение ДС при изменении температуры пленки, имеющей в одном из слоев точку компенсации  $T_c$ . Обнаружен спин-переориентационный ФП вблизи  $T_c$ . Предложены модели ДС, реализующиеся в исследуемом температурном интервале [4]. Поскольку результаты, полученные разными авторами для различных пленок, отличаются друг от друга, следует выбрать пленку с преобладающим типом взаимодействия, чтобы остано-

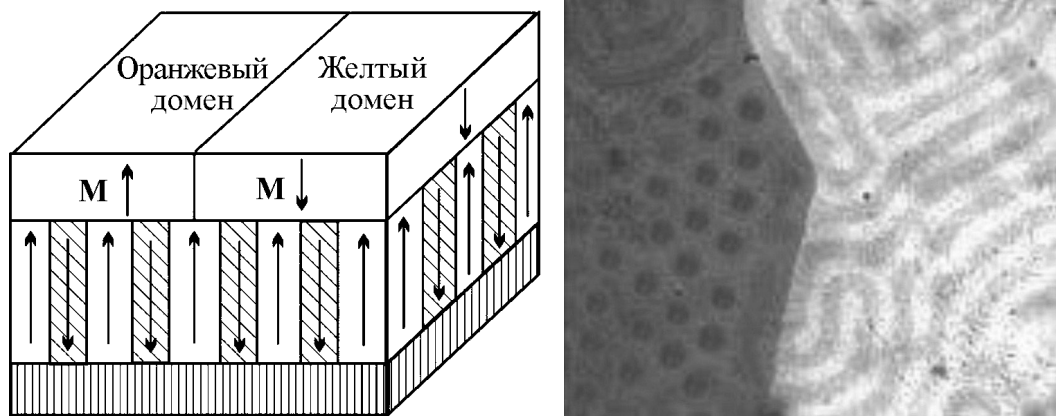
виться на одной и только одной концепции взаимодействия именно на этой паре слоев.

В настоящей работе поставлена задача экспериментально исследовать поведение ДС в двухслойной пленке, отличающейся от изученных в [1–4]: один из слоев пленки имеет большую намагниченность насыщения, т.е. создает большое подмагничивающее поле  $H_{bf}$ . Влияние этого поля на ДС и является предметом изучения.

### Описание экспериментальных результатов

Пленка выращена методом жидкофазной эпитаксии на гадолиний-галлиевом гранате с наведенной одноосной анизотропией вдоль оси  $\langle 111 \rangle$  перпендикулярно поверхности пленки. Верхний слой пленки состава  $(\text{TmBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ , нижний –  $(\text{YGdTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ . При комнатной температуре намагниченность насыщения верхнего слоя  $2.5 \cdot 10^{-2}$  Т, а нижнего –  $1.42 \cdot 10^{-2}$  Т. Исследования проводили на магнитооптической установке, в которой предусмотрены изменение температуры и действие магнитных полей: импульсного монополярного ( $H \sim 60 \cdot \frac{10^3}{4\pi}$  А/м,  $H_{\text{pul}} \uparrow \uparrow H_b > 0$ ) и поля смещения двух направлений. Если вектор  $H_b$  антипараллелен намагниченности внутри ЦМД, будем считать  $H > 0$ , если параллелен –  $H < 0$ . ДС наблюдали благодаря эффекту Фарадея.

В размагниченном состоянии пленки в верхнем слое наблюдали огромные домены неопределенной формы оранжевого и желтого цвета, создающие подмагничивающие поля разного знака, в нижнем слое – полосовую доменную структуру (ПДС). Модель ДС двухслойной пленки в размагниченном состоянии представлена на рис. 1. Если на пленку действовать полем смещения  $H > 0$ , то оранжевый домен увеличивается, а желтый уменьшается, т.е. вектор намагниченности  $\mathbf{M}$  внутри оранжевого домена параллелен  $H > 0$  ( $\mathbf{M} \uparrow$ ), в желтом – антипараллелен ( $\mathbf{M} \downarrow$ ). Если же на пленку действовать импульсным полем ( $\mathbf{H}_{\text{pul}} \uparrow$ ), то в области, находящейся под доменом с  $\mathbf{M} \uparrow$ , в нижнем слое формируется гексагональная решетка ЦМД ( $\text{РЦД}_1$ ), а под доменом с  $\mathbf{M} \downarrow$  сохраняется ПДС (рис. 2). Наблюдается «неоднородность» в распределении ДС нижнего слоя под границей между доменами с  $\mathbf{M} \uparrow$  и  $\mathbf{M} \downarrow$  верхнего слоя: у границы со стороны РЦД – короткие полосовые домены, на полосовом домене темного цвета со стороны ПДС – утолщения в виде ЦМД (зародыши ЦМД). Если увеличить поле смещения до  $155 \cdot \frac{10^3}{4\pi}$  А/м, то под доменом с  $\mathbf{M} \uparrow$  исчезает решетка ЦМД, а под доменом с  $\mathbf{M} \downarrow$  – полосовая структура, но вдоль границы наблюдаются ЦМД темного цвета. Из наблюдений можно сделать выводы о существовании влияния подмагничивающего поля одной пленки на ДС в другой. Во-первых, вектор намагниченности внутри ЦМД и полосовых доменов темного цвета направлен антипараллельно



**Рис. 1.** Модель доменной структуры двухслойной пленки. Направления векторов  $\mathbf{H}$  магнитных полей:  $H_{\text{pul}} \uparrow \uparrow H_b > 0$ ;  $H_{\text{pul}} \uparrow \downarrow H_b < 0$

**Рис. 2.** Доменная структура двухслойной пленки состава  $(\text{TmBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12} / (\text{YGdTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  после действия импульсного поля

приложенному полю. Во-вторых, ДГ между доменами с  $\mathbf{M} \uparrow$  и  $\mathbf{M} \downarrow$  верхнего слоя создает неоднородную намагниченность в нижнем слое, благодаря чему создается ЦМД из зародышей, наблюдавшихся ранее в полосовом домене.

Экспериментально исследованы условия формирования ДС в нижнем слое при различном знаке подмагничивающих полей (рис. 3). Под доменом с  $\mathbf{M} \uparrow$  импульсным полем при  $H \geq 0$  ( $H_{\text{pul}} \uparrow \uparrow H_b > 0$ ) формируется гексагональная РЦД<sub>1</sub> с ЦМД темного цвета (рис. 3,а). При  $H_0 < H < 0$  ( $H_0 = -100 \cdot \frac{10^3}{4\pi}$  А/м)

формируется ПДС, а при  $H = H_0$  – сотовая структура: гексагональная решетка из шестиугольных доменов темного цвета на светлом фоне. Под доменом с  $\mathbf{M} \downarrow$  импульсным полем при  $H > H_0$  формируется ПДС, а при  $H < H_0$  – гексагональная РЦД<sub>2</sub> из светлых ЦМД с  $\mathbf{M} \uparrow$  на темном фоне (рис. 3,б). При этом вектор  $\mathbf{H}_{\text{pul}}$  антипараллелен  $\mathbf{H}$ . При снятии  $H < 0$  диаметр ЦМД увеличивается, и РЦД<sub>2</sub> сохраняется. При  $H > 0$  РЦД<sub>2</sub> приобретает форму сот. Таким образом, экспериментальные результаты показывают влияние двух направлений подмагничивающего поля верхнего слоя на условия формирования ДС в нижнем слое, поскольку при разном направлении  $\mathbf{M}$  в доменах верхнего слоя формируется различная ДС в нижнем слое.

Как видно из рис. 4, поле коллапса  $H_c$  для ДС с  $\mathbf{M} \downarrow$  (кривые 3, 4) остается постоянным в широком температурном интервале, в то время как для ДС с  $\mathbf{M} \uparrow$   $H_c$  уменьшается при повышении температуры. Температура Нееля нижнего слоя  $T_{N_2}$  больше  $T_{N_1}$  верхнего слоя. Такое различие температурной зависимости  $H_c$  кривых 3, 4 и 5 еще раз подтверждает влияние подмагничивающего поля, указывая на влияние температурной зависимости подмагничивающих полей разного знака верхнего слоя, т.е.  $H_{bf}(T)$ .

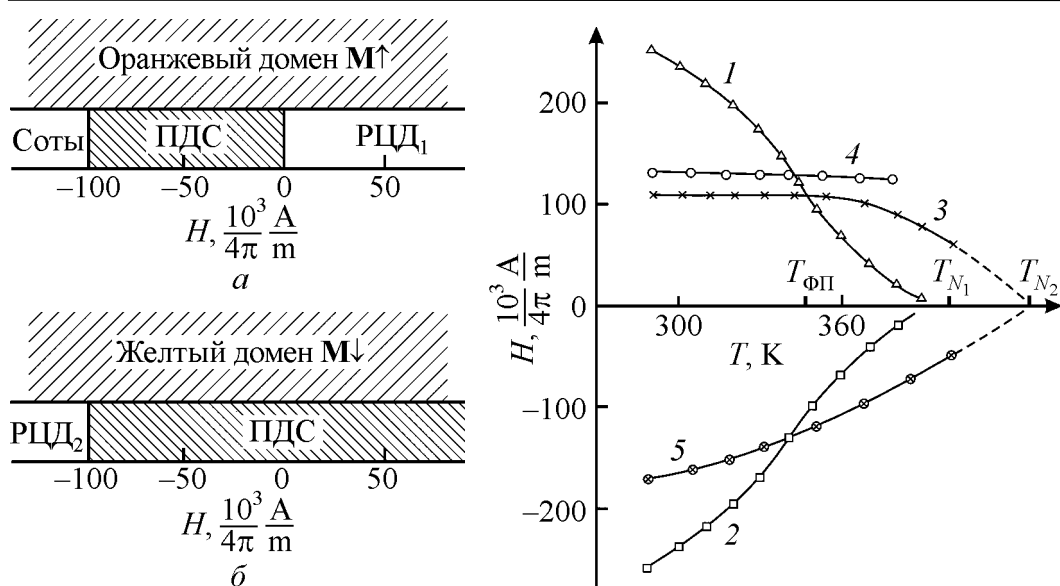


Рис. 3. Доменная структура нижнего слоя пленки в зависимости от поля формирования

Рис. 4.  $H$ - $T$ -диаграмма двухслойной пленки: 1, 2 – температурные зависимости  $H_c$  соответственно доменов  $M\downarrow$  и  $M\uparrow$  верхнего слоя; 3, 4 – температурные зависимости  $H_c$  ПДС и ЦМД с  $M\downarrow$  нижнего слоя (темного цвета); 5 –  $H_c$  ПДС с  $M\uparrow$  нижнего слоя (светлого цвета)

При 293 К импульсным полем в нижнем слое под доменом с  $M\uparrow$  была сформирована РЦД<sub>1</sub> с периодом  $a = 11 \cdot 10^{-6}$  м и диаметром ЦМД  $d = 7.5 \cdot 10^{-6}$  м, а под доменом с  $M\downarrow$  – полосовая ДС с периодом  $P = 8.5 \cdot 10^{-6}$  м. Затем поле было снято, и пленка нагревалась. ДС сохранялась при изменении температуры в интервале  $\Delta T = 60$  grad. При  $T_{ФП} = 353$  К РЦД<sub>1</sub> скачком распалась на разделенные страйпами блоки новой РЦД с другими параметрами, т.е. произошел спонтанный ФП первого рода с образованием зародышей страйпов и сохранением числа частиц [5]. Полосовая ДС также скачком перешла в волнообразную ДС, т.е. в ПДС тоже наблюдался ФП первого рода [6]. Как видно из рис. 4, фазовые переходы в ДС произошли при температуре, при которой величина поля коллапса домена с  $M\downarrow$  верхнего слоя близка по величине  $H_c$  РЦД<sub>1</sub> и ПДС. Из этого можно заключить, что РЦД<sub>1</sub> и ПДС распадаются тогда, когда исчезает подмагничивающее поле верхнего слоя в домене с  $M\downarrow$ .

### Выводы

Приведенные экспериментальные результаты показывают, что в данной двухслойной пленке взаимодействие между слоями носит магнитоэлектронный характер, и для объяснения полученных особенностей ДС не надо учитывать другие виды взаимодействия и компенсационные границы между слоями. Это связано с тем, что один из слоев имеет намагниченность насыщения гораздо больше, чем второй, что приводит к значительной величине подмагничивающих полей от этого слоя.

1. *A.H. Vobeck, S.L. Blank, H.J. Levinstein*, Bell Syst. Tech. J. **51**, 431 (1972).
2. *А.И. Беляева, О.В. Милославская, В.П. Юрьев, В.А. Потакова*, ФТТ **26**, 3250 (1984).
3. *Ю.А. Мамалуй, Ю.А. Сирюк*, Изв. РАН. Сер. физ. **71**, 556 (2007).
4. *А.В. Безус, Ю.А. Мамалуй, Ю.А. Сирюк*, Функциональные материалы **11**, 491 (2004).
5. *Ю.А. Мамалуй, Ю.А. Сирюк, А.В. Безус*, ФТТ **45**, 1645 (2003).
6. *В.А. Заблоцкий, К.В. Ламонова, Ю.А. Мамалуй, Ю.А. Сирюк*, ФТВД **6**, № 2, 34 (1996).

*A.V. Bezus, T.Yu. Borisenko, Ju.A. Siryuk, V.V. Smirnov*

### THE INFLUENCE OF BIAS FIELDS ON DOMAIN STRUCTURE IN FERRITE-GARNET FILM

The behaviour of domain structure (DS) in two-layer ferrite-garnet film has been experimentally investigated by magnetic field and temperature change. It is shown that the magnetostatic interaction between layers makes an influence on forming the DS. The dependence between magnetostatic interaction value (saturation magnetization of layers) and phase transitions in DS of another layer has been defined.

**Fig. 1.** The model of domain structure of two-layer film. Directions of vectors  $\mathbf{H}$  of the magnetic fields:  $H_{\text{pul}} \uparrow \uparrow H_b > 0$ ;  $H_{\text{pul}} \uparrow \downarrow H_b < 0$

**Fig. 2.** The domain structure of two-layer film of the  $(\text{TmBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}/(\text{YGdTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  composition after action of the pulsed field

**Fig. 3.** The domain structure of lower film layer against the forming field

**Fig. 4.**  $H$ - $T$ -diagram of two-layer film: 1, 2 – temperature dependences of  $H_c$  for  $\mathbf{M} \downarrow$  and  $\mathbf{M} \uparrow$  domains, respectively of the upper layer; 3, 4 – temperature dependences of  $H_c$  for stripe domain structure and bubble domain structure with  $\mathbf{M} \downarrow$  of the lower layer (dark colour); 5 –  $H_c$  of stripe domain structure with  $\mathbf{M} \uparrow$  of the lower layer (light colour)