

УДК 537.632

**НЕОДНОРОДНОСТЬ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПО ТОЛЩИНЕ
ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ ВИСМУТ-СОДЕРЖАЩИХ
МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ**

*Шапошников А.Н., Прокопов А.Р., Бержанский В.Н., Каравайников А.В.,
Ягунов В.С.¹*

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
¹Крымский отдел Украинского геолого-разведочного института, Симферополь, Украина*

Исследованы магнитные характеристики по толщине монокристаллических пленок ферритов-гранатов номинального состава $(\text{BiSmLu})_3(\text{FeGaAl})_5\text{O}_{12}$, предназначенных для использования в устройствах термомагнитной записи информации. Пленки выращивали на подложках $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ ориентации (111) из переохлажденного раствора-расплава на основе растворителя $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Магнитные характеристики пленок (коэрцитивную силу, фарадеевское вращение, температуру компенсации магнитного момента, температуру Кюри) на разной глубине определяли при послойном ионном травлении по магнитооптическим петлям гистерезиса. Установлено, что магнитные характеристики исследованных пленок изменяются по толщине, что, по-видимому, обусловлено неоднородным распределением гранатообразующих элементов вдоль оси роста пленок, которое, в свою очередь, зависит от условий роста пленок, в частности температуры переохлаждения и времени гомогенизации раствора-расплава.

Ключевые слова: монокристаллические пленки висмут-содержащих ферритов-гранатов, точка компенсации магнитного момента, магнитооптические петли гистерезиса, профильный анализ.

ВВЕДЕНИЕ

Висмут-содержащие монокристаллические пленки ферритов-гранатов (Ві-МПФГ), выращиваемые методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава, находят применение в устройствах термомагнитной записи (ТМЗ) информации. Запись информации в таких пленках производится либо при температурах вблизи температуры Кюри, либо в точке компенсации магнитного момента [1-5]. В последнем случае используются пленки компенсационных составов, в которых значение температуры компенсации выше комнатной.

Фундаментальной особенностью жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава является то, что начальная и завершающая стадии эпитаксиального роста являются нестационарными процессами. Это приводит к обогащению переходного слоя на границе раздела пленка-подложка гранатообразующими элементами с коэффициентом распределения более 1 и его обеднению элементами с коэффициентом распределения менее 1 [4, 7-9]. Кроме того, во время эпитаксиального роста в пленке протекает процесс твердотельной диффузии, вследствие чего элементы, входящие в состав подложки (например, Gd и Ga), входят и в состав эпитаксиальной пленки [4, 7, 9]. Окончание роста пленки

сопровождается образованием переходного слоя на границе раздела пленка-воздух [4, 7, 9-11].

Требования к характеристикам пленок для ТМЗ при записи вблизи температуры Кюри T_c – обеспечение высоких значений коэрцитивной силы H_c (до 1 кЭ), удельного фарадеевского вращения Θ_F (не менее 1 °/мкм), T_c (60 - 80 °С), коэффициента прямоугольности петли гистерезиса $K_H = 1$ и значений температуры компенсации T_{comp} ниже комнатной температуры - предполагают их выращивание из висмут-содержащего раствора-расплава при высоких значениях переохлаждений ΔT , при этом состав растущей пленки чрезвычайно чувствителен к условиям роста и их стабильности. Кроме того, рост при больших значениях ΔT ведет к увеличению рассогласования параметров решеток Δa пленки и подложки, что в свою очередь также увеличивает неоднородность их состава и свойств по толщине и может сопровождаться возникновением фасетированной структуры [12].

Целью настоящей работы явилось исследование магнитных свойств по толщине Вi-МПФГ состава $(\text{BiSmLu})_3(\text{FeGaAl})_5\text{O}_{12}$, предназначенных для использования в устройствах ТМЗ, и их зависимости от условий роста, в частности, от величины ΔT и времени гомогенизации раствора-расплава.

1. ЭКСПЕРИМЕНТ

Вi-МПФГ указанного состава толщиной 3-6 мкм выращивали на подложках $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ (ГГГ) ориентации (111) из переохлажденного раствора-расплава на основе растворителя $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Толщину h выращенных пленок измеряли интерференционным методом, величину Δa – методом рентгеновской дифракции (РД). Для проведения измерений свойств по толщине Вi-МПФГ проводили их послойное травление ионами аргона с энергией 2 кэВ при токе пучка 120 мА. Средняя скорость ионного травления для разных образцов составляла 10 - 13 нм/мин. После каждого шага ионного травления измеряли магнитооптические петли гистерезиса (МОПГ) с помощью магнитополяриметра на эффекте Фарадея на длине волны 655 нм в диапазоне температур от 18 до 80 °С. По МОПГ определяли коэрцитивную силу H_c , удельное фарадеевское вращение Θ_F , температуру компенсации магнитного момента T_{comp} и температуру Кюри T_c .

Для проверки влияния ионного травления на свойства Вi-МПФГ ряд пленок подвергали послойной механической полировке с последующим измерением их характеристик.

Условия роста Вi-МПФГ и их характеристики при $T = 25$ °С представлены в таблице 1. Нумерация образцов соответствует их последовательному выращиванию из одного и того же базового раствора-расплава. Два значения Δa соответствуют случаю, когда на дифрактограммах разрешались пики для двух слоев в пленке.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПО ТОЛЩИНЕ...

Таблица 1

Условия роста и характеристики выращенных Bi-МПФГ при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

№ обр.	Условия синтеза Bi-МПФГ	ΔT , $^{\circ}\text{C}$	h , мкм	H_c , Э	Θ_F , $^{\circ}/\text{мкм}$	T_c , $^{\circ}\text{C}$	T_{comp} , $^{\circ}\text{C}$	Δa , нм
1	После суточной гомогенизации	47	3,5	198	0,29	102	-	0,0074
2	Через 3 часа после досыпки Al_2O_3	41	5,0	342	0,11	63	29	0,0062
3	Через 3,5 часа после досыпки Al_2O_3	47	6,0	143	0,11	69	48	0,0064 0,0054
4	Через сутки после досыпки Al_2O_3	45	5,5	490	0,15	76	19	0,0067 0,0057
5	Через 3 часа после досыпки Sm_2O_3 и Ga_2O_3	64	5,0	1520	0,36	110	43	0,0067
6	Через 3 часа после досыпки Sm_2O_3 и Bi_2O_3	61	3,0	970	0,44	75	46	0,0078
7	Через сутки после досыпки Sm_2O_3	70	6,0	290	0,35	72	49	0,0085
8	После суточной гомогенизации	68	3,0	564	0,33	$T_{c1}=43$		0,0071

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 представлены МОПГ исходных (до травления) образцов, указанных в табл. 1, измеренные при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Наблюдаемый наклон приведенных МОПГ обусловлен влиянием материала подложки.

Пленки, выращенные после длительной гомогенизации раствора-расплава (сутки и более), при комнатной температуре имели, как правило, прямоугольные МОПГ и положительный знак фарадеевского вращения (образцы №№ 1, 4, рис. 1, а, г). МОПГ пленок, выращенных после подшихтовки раствора-расплава и последующего малого (не более 4 часов) времени гомогенизации (образцы №№ 2, 3, 5, 6, рис. 1, б, в, д, е, соответственно) или после длительной гомогенизации, но при больших значениях ΔT (№№ 7, 8, рис. 1, ж, з), имели ряд особенностей – ступеньки или «боковые» петли на фоне основной, которая в свою очередь могла иметь отрицательный знак фарадеевского вращения (образцы №№ 2, 3, рис. 1, б, в).

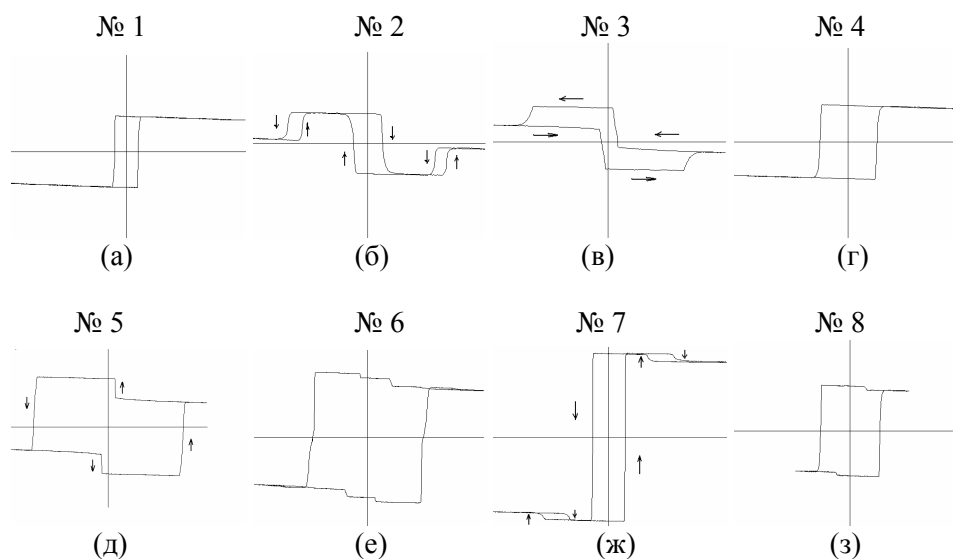


Рис. 1. МОПГ серии исходных (до травления) образцов Vi-МПФГ, измеренные при $T = 25$ °С. Масштаб: поле намагничивания $H_{max} = 2$ кЭ, $\Theta_{Fmax} = 2,2$ град.

Заметим, что прямоугольность МОПГ некоторых из пленок при комнатной температуре еще не свидетельствовала об их однородности по толщине. Так, на дифрактограммах образца № 4, имеющего при $T = 25$ °С обычную прямоугольную МОПГ (рис.1, г), наблюдаются два пика, относящиеся к разным слоям в пленке (см. табл. 1). Прямоугольность МОПГ подобных пленок (образцы №№ 1, 4) при комнатной температуре может быть следствием того, что слои в них имеют значения T_{comp} ниже комнатной. С другой стороны, образцы №№ 2, 5 - 8, будучи однослойными по данным РД, как видно из рис. 1, имеют сложные МОПГ, характеризующие эти образцы как магнитнеоднородные. Это говорит о том, что либо Δa отдельных слоев близки и не разрешаются при их измерении методом РД, либо слои очень тонкие и чувствительности прибора не хватало для их измерения.

Нагрев образцов, имеющих прямоугольные МОПГ, не приводил к изменению форм их МОПГ, уменьшалась только интенсивность сигнала. Нагрев же образцов со сложными МОПГ напротив, существенно менял форму их МОПГ и знак фарадеевского вращения. Это свидетельствовало о наличии в них слоев с разными знаками фарадеевского вращения и позволяло определять значения T_{comp} отдельных слоев по изменению знака фарадеевского вращения и T_c по исчезновению «боковых» петель гистерезиса при нагреве. Местоположение слоев и их характеристики были определены при послойном ионном травлении образцов.

На рис. 2 – 4 представлены, соответственно, МОПГ образца № 2 на разных стадиях ионного травления, МОПГ исходного образца при разных температурах, а также результаты профильного анализа H_c , T_c , Θ_F , T_{comp} . МОПГ образца № 2 (рис. 2), измеренные на разной глубине, свидетельствуют о наличии в нем слоев с разными знаками фарадеевского вращения, определяемыми результирующей

намагниченностью одной из подрешеток слоя: намагниченность верхнего слоя пленки толщиной примерно 2,5 мкм определяется октаэдрической подрешеткой, слой имеет отрицательный знак фарадеевского вращения и T_{comp} выше комнатной; намагниченность слоя вблизи подложки определяется тетраэдрической подрешеткой, слой имеет положительный знак фарадеевского вращения и значение T_{comp} ниже температуры измерений.

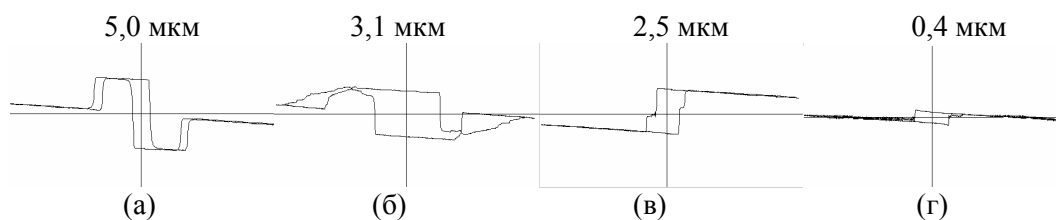


Рис. 2. МОПГ образца № 2 исходного (а) и на разных стадиях ионного травления (б-г), измеренные при 25 °С Масштаб: $H_{max} = 4$ кЭ, $\Theta_{Fmax} = 2,2$ град. Здесь и далее на подобных рисунках сверху указана толщина оставшегося после травления слоя пленки.

Нагрев исходного образца № 2 (рис.3) сопровождался изменением формы его МОПГ, ростом H_c основного слоя (с отрицательным знаком фарадеевского вращения) и изменением знака фарадеевского вращения при $T_{comp} = 31$ °С; частные петли второго слоя с ростом температуры выше 31 °С уширялись, «перемещались» в область более сильных полей и исчезали при 43°С.

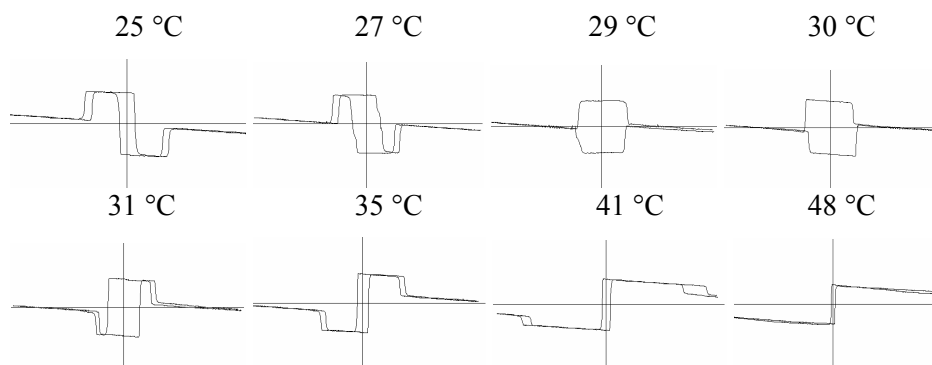


Рис. 3. МОПГ образца № 2 при разных температурах. Масштаб: $H_{max} = 4$ кЭ, $\Theta_{Fmax} = 2,2$ град.

На рис. 4 представлены зависимости H_c , T_c , Θ_F , T_{comp} основного слоя от толщины образца № 2. Зависимости $\Theta_F(h)$ для всех образцов построены по данным при $H = 0$. Из рис.4, а видно, что по мере травления образца H_c значительно возрастает по сравнению со значениями вблизи поверхности и достигает своего

максимума при толщине оставшегося слоя 3 мкм. T_c и T_{comp} при этом уменьшаются примерно на 10 °С. Наблюдаемый рост H_c обусловлен близостью температуры измерения к T_{comp} . При дальнейшем уменьшении толщины пленки значение T_{comp} монотонно уменьшалось, а значение T_c оставалось на том же уровне, увеличиваясь, однако, вблизи подложки примерно на 10 °С. Значения Θ_F в объеме пленки были выше, чем вблизи поверхности и в слое пленка-подложка. Это может свидетельствовать о росте содержания ионов Vi^{3+} в объеме пленки и Fe^{3+} в слое вблизи ее поверхности.

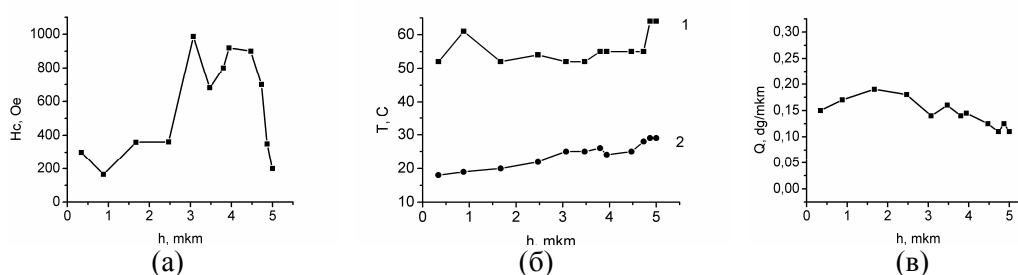


Рис. 4. Зависимости H_c (а), $T_c(1)$ и T_{comp} (2) (б) и Θ_F (в) от h образца № 2.

На рис. 5 - 7 представлены, соответственно, МОПГ образца № 3 на разных стадиях ионного травления, МОПГ исходного образца при разных температурах и результаты профильного анализа H_c , T_{comp} , T_c и Θ_F .

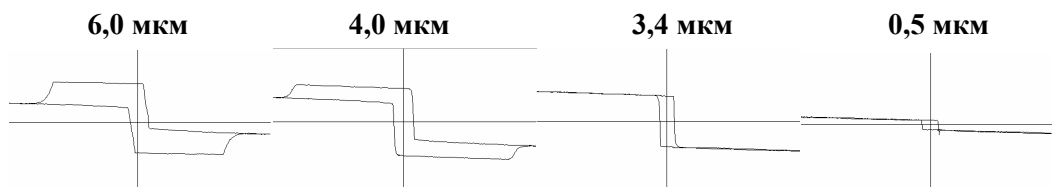


Рис. 5. МОПГ образца № 3 на разных стадиях ионного травления, измеренные при 25 °С. Масштаб: $H_{max} = 2$ кЭ, $\Theta_{Fmax} = 2,2$ град.

По данным РД исходный образец № 3 двухслоен, а начиная с глубины ~ 3,4 мкм однослоен. Сложная форма МОПГ исходного образца № 3 обусловлена наличием в нем двух слоев с разными знаками фарадеевского вращения при температуре измерения и, соответственно, разными значениями T_{comp} в слоях: слой вблизи поверхности имеет значение T_{comp} ниже, а слой толщиной 3,4 мкм значение T_{comp} выше температуры измерения. Необычный ход кривой намагничивания, связанный с изменением знака угла фарадеевского вращения при уменьшении величины поля намагничивания и неизменной его полярности, можно квалифицировать как спин-флоп – эффект в двухслойном ферромагнетике.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПО ТОЛЩИНЕ...

Из рис. 5 видно, что в отличие от образца № 2 слой пленка-подложка в образце № 3 имеет отрицательный знак фарадеевского вращения и обладает T_{comp} , что говорит о том, что намагниченность этого слоя определяется октаэдрической подрешеткой.

Нагрев исходного образца № 3 (рис.6) приводил к изменению формы его МОПГ, росту H_c основного слоя (с отрицательным знаком фарадеевского вращения) и изменению знака фарадеевского вращения, т.е. к компенсации магнитного момента нижнего слоя при $T_{comp}=39$ °С. При этом после нагрева выше T_{comp} возникали боковые частные петли, которые исчезали при 45°С.

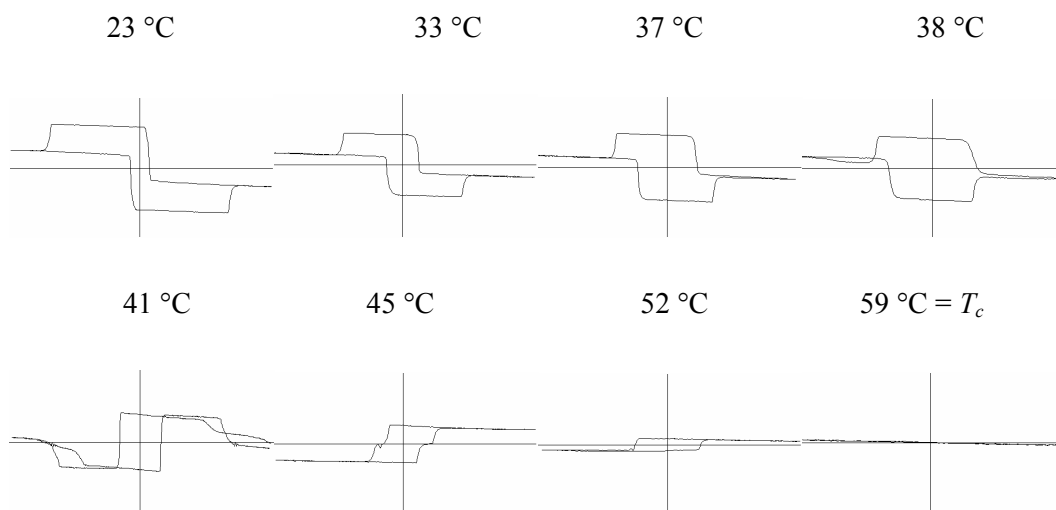


Рис. 6. МОПГ образца № 3 при разных температурах. Масштаб: $H_{max}=2$ кЭ, $\Theta_{Fmax}=1,4$ град. При $T=41$ °С масштаб по $H_{max}=4$ кЭ.

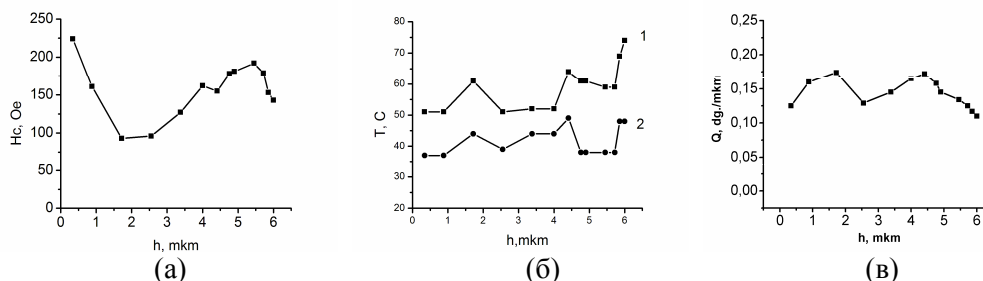


Рис. 7. Зависимости H_c (а), T_c (1) и T_{comp} (2) (б) и Θ_F (в) от h образца № 3.

Как видно из рис.7, в слоях пленка-воздух и пленка-подложка по сравнению с основным объемом образца № 3 наблюдается рост H_c . Температура измерений значительно ниже T_{comp} , поэтому зависимость $H_c(h)$ для образца № 3 более соответствует реальности, чем аналогичная зависимость для образца № 2. В слое пленка-воздух образца № 3 значение T_c примерно на 20° выше, чем для основного объема пленки, что обусловлено, по-видимому, ростом содержания ионов Fe^{3+} в этом слое. Колебания значений T_{comp} по объему образца составляли в среднем $\pm 5^\circ$.

На рис. 8 представлены результаты профильного анализа H_c , Θ_F и T_c образца № 4, измеренные при $25^\circ C$. По данным РД исходный образец № 4, выращенный через сутки после досыпки Al_2O_3 , двухслойен: $\Delta a_1 = 0,0067$ нм, $\Delta a_2 = 0,0057$ нм. При послойном травлении образца № 4 форма его МОПГ, в отличие от других исследованных образцов, не претерпевала изменений, уменьшалась лишь ее амплитуда, поэтому МОПГ данного образца, измеренные на разных стадиях ионного травления не представлены. При $h \leq 3$ мкм пленка становилась однослойной с $\Delta a = 0,0070$ нм. Значения T_{comp} обоих слоев в исходной пленке были ниже температуры измерений. Значение Θ_F возрастало в первой трети толщины пленки, а значение T_c – в слое пленка-воздух (на 15° - 20° по сравнению с объемом), что обусловлено, по-видимому, повышенным содержанием ионов Bi^{3+} и Fe^{3+} в этих слоях. «Ступенчатое» распределение T_c по толщине пленки обусловлено, вероятно, слоистостью пленки по толщине, причем число таких слоев, по-видимому, больше, чем показывают результаты измерений Δa методом РД.

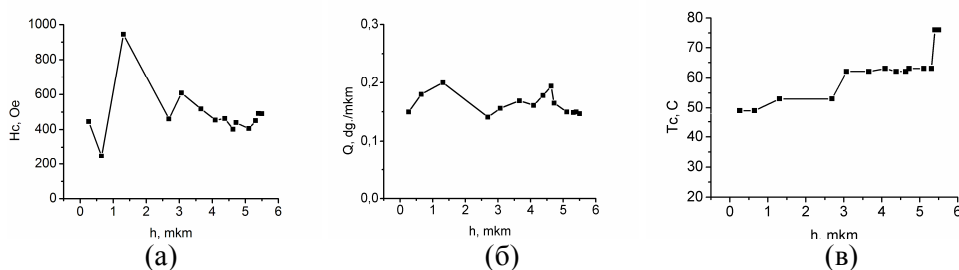


Рис. 8. Зависимости H_c (а), Θ_F (б) и T_c (в) от h образца № 4, измеренные при $25^\circ C$.

Рост Bi -МПФГ после длительной гомогенизации раствора-расплава, но при большом значении переохлаждения, также приводит к магнитной неоднородности по толщине образцов и сложному виду их. МОПГ. На рис. 9, 10 представлены, соответственно, МОПГ на разных стадиях ионного травления результаты и результаты профильного анализа H_c , Θ_F , и T_c для образца № 7, выращенного через сутки после досыпки Sm_2O_3 при значении переохлаждения $\Delta T = 70^\circ C$.

По данным РД образец № 7 однослойный. В исходном образце $\Delta a = 0,0085$ нм. МОПГ, измеренные при профильном анализе, свидетельствуют о наличии в образце

двух слоев с разными значениями T_{comp} . Из рис. 9 видно, что форма МОПГ исходного (до травления) образца определяется формой МОПГ слоя пленка-подложка толщиной примерно 0,2 мкм. Нагрев этого слоя не приводил к изменению знака МОПГ: H_c росла до 43 °С, а при 44 °С была T_c , т.е. в этом слое $T_{comp} > T_c$.

Отрицательный знак фарадеевского вращения слоя пленка-подложка толщиной примерно 0,2 мкм обусловлен повышенным содержанием ионов Ga^{3+} в этом слое, его намагниченность, соответственно, определяется октаэдрической подрешеткой. По-видимому, малая толщина слоя пленка-подложка и близость значений параметров решеток основного слоя и слоя пленка-подложка не позволили зафиксировать этот слой с помощью РД.

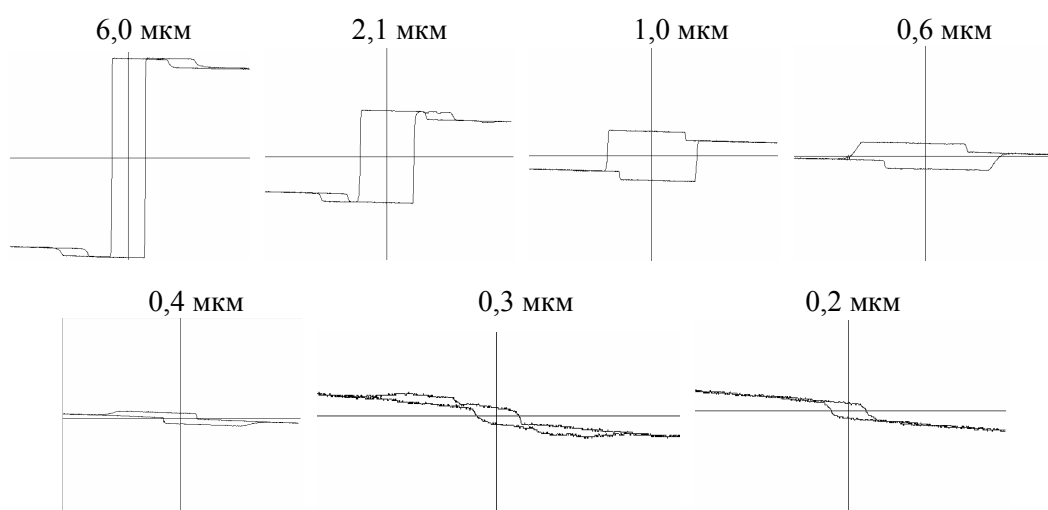


Рис. 9. МОПГ образца № 7 на разных стадиях ионного травления, измеренные при 25 °С. Масштаб: $H_{max} = 2$ кЭ, $\Theta_{Fmax} = 2,3$ град. При $h \leq 0,3$ мкм $H_{max} = 4$ кЭ, $\Theta_{Fmax} = 0,7$ град.

Значение T_c для слоя пленка-воздух этого образца примерно на 10 °С выше по сравнению с основным объемом пленки, а для слоя пленка-подложка на 16 °С ниже (рис. 10, в). Это говорит о том, что слой пленка-воздух обогащен Fe, а слой пленка-подложка обеднен. По мере травления образца до толщины 0,6 мкм его H_c возрастала, а при дальнейшем уменьшении толщины падала (рис. 10, а). Значение Θ_F в слое пленка-подложка уменьшалось по сравнению с объемным значением (рис. 10, в).

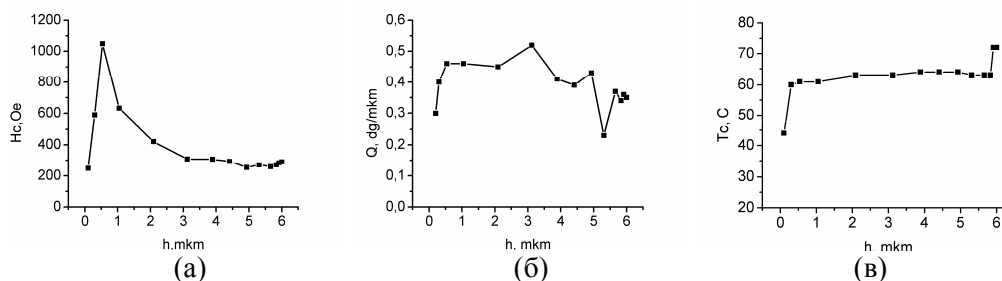


Рис. 10. Зависимости H_c (а), Q_F (б) и T_c (в) от h образца № 7.

Результаты, полученные для образца № 8, качественно совпадают с результатами для образца № 7: в начальной стадии роста пленки формируется слой с обратным знаком фарадеевского вращения, т.е. с октаэдрической намагниченностью, что обусловлено повышенным содержанием в этом слое ионов Ga^{3+} и Al^{3+} и пониженным содержанием ионов Fe^{3+} . У этого слоя $T_{comp} > T_c$. Нагрев образца на всех стадиях ионного травления приводил к исчезновению «ступеньки» на МОПГ при температурах от 46 °С до 51 °С, что принималось за его температуру Кюри. Для основного слоя T_c при травлении изменялась от 63°С в начале травления до 55 °С при $h < 1,8$ мкм.

Результаты профильного анализа, полученные при использовании механической полировки для утонения пленок, качественно совпадали с результатами, полученными при ионном травлении для одних и тех же образцов, что является свидетельством отсутствия влияния метода уменьшения толщины пленки на ее МОПГ.

Зависимости $H_c(h)$ образцов №№ 7, 8 и образцов с механической полировкой носят одинаковый характер, что совместно с анализом их МОПГ на разной глубине позволяет сделать вывод о том, что подобное поведение $H_c(h)$ вблизи подложки не может быть связано с увеличением намагниченности, т.к. содержание Fe вблизи подложки уменьшается. Возможно, это вызвано уменьшением одноосной анизотропии, обусловленным снятием стрессовой компоненты напряжений, релаксировавших на дислокациях.

Таким образом, вышеприведенные результаты свидетельствуют о том, что сложные формы МОПГ исследованных Vi-МПФГ обусловлены наличием в них слоев с разными значениями T_{comp} в слоях, а также возможной близостью температуры измерения к T_{comp} . Местоположение слоев по глубине пленки может быть различным и определяется свойствами используемого раствора-расплава, условиями роста и стабильностью параметров роста, а также фундаментальными особенностями самого метода жидкофазной эпитаксии.

В частности, на форму МОПГ пленки в целом – наличие на них «ступенек» или боковых петель гистерезиса - могут влиять слои пленка-подложка, имеющие отрицательный знак фарадеевского вращения (образцы №№ 3, 7, 8). Поведение T_{comp} и T_c в этих слоях свидетельствует о повышенном содержании в них ионов Ga^{3+} и, по-

видимому, Al^{3+} по сравнению с образцами, в которых слои пленка-подложка имеют МОПГ с положительным знаком фарадеевского вращения (образцы №№2, 4). Намагниченность слоев с отрицательным знаком фарадеевского вращения определяется октаэдрической подрешеткой, с положительным знаком – тетраэдрической подрешеткой.

Заметим, что форма МОПГ исследованных Vi-МПФГ, содержащих слои с разными знаками фарадеевского вращения и разными значениями H_c в слоях, не может быть получена как суперпозиция (механическое наложение) МОПГ отдельных слоев, обменное взаимодействие между слоями значительно усложняет их суммарную МОПГ, делая практически невозможным определение МОПГ отдельных слоев по известной МОПГ всей пленки и наоборот.

ВЫВОДЫ

1. Исследованные пленки $(BiSmLu)_3(FeGaAl)_5O_{12}$ обладают неоднородными магнитными свойствами по их толщине.

2. Неоднородность магнитных свойств (H_c , Θ_F , T_{comp} и T_c) по толщине исследованных пленок обусловлена неоднородным распределением гранатообразующих элементов вдоль оси роста МПФГ, которое, в свою очередь, зависит от свойств раствора-расплава и условий роста пленок: времени гомогенизации раствора-расплава и температуры переохлаждения.

3. Сложные формы магнитооптических петель гистерезиса, наблюдаемые в ряде исследованных пленок $(BiSmLu)_3(FeGaAl)_5O_{12}$, обусловлены существованием в пленках слоев со значениями T_{comp} выше и ниже температуры измерения что, в свою очередь, определяется результирующей намагниченностью подрешеток отдельных слоев Vi-МПФГ при температуре измерения. Кроме того, на формы магнитооптических петель гистерезиса также влияют разные значения H_c в слоях.

4. Для использования Vi-МПФГ состава $(BiSmLu)_3(FeGaAl)_5O_{12}$ в устройствах ТМЗ рост пленок необходимо проводить после длительного времени гомогенизации раствора-расплава и при пониженных значениях ΔT .

5. Проведенные исследования позволили в дальнейшем синтезировать для устройств ТМЗ однослойные пленки этого же состава с T_{comp} ниже комнатной, обладающие необходимыми значениями чувствительности к магнитным полям сложной конфигурации и требуемыми значениями пространственного разрешения. (Готовится к публикации).

6. При необходимости возможно получение слоистых Vi-МПФГ для многоуровневой ТМЗ путем варьирования технологических режимов роста и проводя соответствующую подшихтовку раствора-расплава.

Работа выполнена при поддержке ГФФИ Украины (грант 14.1/027).

Список литературы

1. Paroli P. Magneto-optical devices based on garnet films. //Thin Solid Films. – 1984. - vol.114. - № 1/2. - p. 187-211.
2. Рыбак В.И., Червоненкис А.Я. Магнитооптические устройства в оптоэлектронике // Зарубежная электронная техника. - 1980. - № 4. - С. 1-67.
3. Звездин А.К., Котов В.А. Магнитооптика тонких пленок. - М.: Наука. - 1988. - 190 с.
4. Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. - М.: Энергоатомиздат. - 1990. - 320 с.
5. Mansipur M. The physical principles magneto-optical recording. //Cambridge University Press. - 1995. - 756 с.
6. Балбашов А.М., Червоненкис А.Я., Черкасов А.П. и др. Гигантский эффект Фарадея и оптическое поглощение в эпитаксиальных пленках $Y_{3-x}Bi_xFe_{5-y}Al_yO_{12}$ // Письма в ЖЭТФ. - 1973. - Т. 18. - № 9. - С. 572-575.
7. Грошенко Н.А., Прохоров А.М., Рандошкин В.В., Тимошечкин М.И., Шапошников А.Н., Ширков А.В., Степанов Ю.И. Исследование неоднородности состава висмут-содержащих пленок феррит-гранатов субмикронных толщин //ФТТ. - 1985. - Т. 27. - № 6. С. - 1712-1717.
8. Грошенко Н.А., Прохоров А.М., Рандошкин В.В., Шапошников А.Н., Ширков А.В. О зарядовой компенсации в пленках феррит-гранатов, содержащих двух- и четырехвалентные ионы //Письма в ЖТФ. – 1985. - Т. 11. - № 7. - С. 416-420.
9. Грошенко Н.А., Рандошкин В.В., Шапошников А.Н., Ширков А.В. К вопросу об однородности висмут-содержащих эпитаксиальных пленок феррит-гранатов //ЖТФ. – 1986. - т.56. - в. 5, -С. 935-937.
10. Камзин А.С., Мальцев Ю.Н. Исследования распределения катионов в поверхностном слое и объеме пленок замещенных ферритов-гранатов // ФТТ. - 1997. - Т. 39. - № 7. С. - 1248-1252.
11. Камзин А.С., Мальцев Ю.Н. Мессбауэровские исследования свойств поверхности и объема пленок замещенных ферритов-гранатов в области точки Кюри // ФТТ. - 1997. - Т. 39. - № 8. С. - 1410-1414.
12. Дубинко С.В., Недвига А.С., Вишневский В.Г., Шапошников А.Н. Ягупов В.С., Нестерук А.Г., Прокопов А.Р. Особенности поведения коэрцитивной силы в напряженных эпитаксиальных пленках ферритов-гранатов //Письма в ЖТФ. 2005. - т.31. - в. 22. - С. 68-73.

Шапошніков О.М., Прокопов А.Р., Бержанський В.Н., Каравайніков А.В., Ягупов В.С. Неоднорідність магнітних властивостей по товщині висококоерцитивних монокристалічних плівок ферит-гранатів. // Учені записки Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського. – 2008. – Серія «Фізика». – Т.21(60). - №1. – С.153-165.

Досліджено магнітні характеристики по товщині монокристалічних плівок ферит-гранатів номінального складу $(BiSmLu)_3(FeGaAl)_5O_{12}$, призначених для використання в пристроях термомагнітного запису інформації. Плівки вирощували на підкладках $Gd_3Ga_5O_{12}$ орієнтації (111) з переохолодженого розчину-розплаву на основі розчинника $PbO-B_2O_3-Bi_2O_3$. Магнітні характеристики плівок (коерцитивну силу, фарадеївське обертання, температуру компенсації магнітного моменту, температуру Кюри) на різній глибині визначали при пошаровому іонному травленні з магнітооптичних петель гістерезису. Установлено, що магнітні характеристики досліджених плівок змінюються по товщині, що, очевидно, обумовлено неоднорідним розподілом гранатоутворюючих елементів уздовж осі росту плівок, який, у свою чергу, залежить від умов росту плівок, зокрема температури переохолодження і часу гомогенізації розчину-розплаву.

Ключові слова: монокристалічні плівки феррит-гранатів із вмістом вісмуту, точка компенсації магнітного моменту, магнітооптичні петлі гістерезису, профільний аналіз.

Shaposhnikov A.N., Prokopov A.R., Berzhansky V.N., Karavaynicov A.V., Yagupov V.S. Heterogeneity of magnetic characteristics on different depth of high-coercivity monocrystal films of ferrite garnets // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. – 2008. – Series «Fizika». – V.21(60). - №1 – P.153-165.

НЕОДНОРОДНОСТЬ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ПО ТОЛЩИНЕ...

Magnetic characteristics of monocrystal films $(\text{BiSmLu})_3(\text{FeGaAl})_5\text{O}_{12}$ for thermomagnetic record devices are investigated. A film grew up on substrates $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$ of orientation (111) from supercooled solution-melt on the basis of solvent $\text{PbO-B}_2\text{O}_3\text{-Bi}_2\text{O}_3$. Magnetic characteristics of films (coercive force, Faraday rotation, temperature of the magnetic moment compensation, Curie temperature) on different depth determined rotation at level-by-level ionic etching on magneto-optic loops of a hysteresis. It is established magnetic characteristics films change on thickness, that, apparently, is caused by non-uniform distribution garnet forming elements along an axis of film growth which, in turn, depends on conditions of growth in particular temperatures of overcooling and time of homogenization of a solution-melt.

Keywords: monocrystal films of ferrite garnets, magnetic moment compensation , magneto-optic loops of a hysteresis.

Поступила в редакцию 10.11.1008 г.