

УДК 548 : 537.611.46

А. А. Лепешев, В. Ф. Павлов, К. П. Полякова, В. А. Середкин
(Красноярск)

**ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ Вi-ЗАМЕЩЕННОГО
ФЕРРОГРАНАТА ИТТРИЯ: ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА**

Представлены результаты технологических исследований по получению поликристаллических пленок Вi-замещенного граната иттрия с использованием метода ионно-плазменного распыления ферритовых мишеней на постоянном токе, а также изучению их структурных, магнитных и магнитооптических (МО) свойств. Показано, что указанные параметры в значительной степени зависят от типа подложки, режимов отжига и концентрации ионов замещения. Определен оптимальный состав поликристаллических пленок феррограната $Bi_xY_{3-x}Ga_yFe_{5-y}O_{12}$, отвечающих высоким значениям магнитных и МО-параметров, а по совокупности свойств — требованиям магнитооптических применений.

Введение. Одним из недостатков запоминающих магнитооптических (МО) сред на основе сплавов редкоземельных и переходных металлов (РЗ—ПМ), ставших уже традиционными, является их временная и температурная нестабильность. В качестве альтернативных МО-сред могут служить магнито-пленочные материалы на основе оксидов, среди которых особое внимание привлекают феррогранаты как наиболее перспективные в следующем поколении МО-носителей информации. Известно, в частности, что пленки Вi-замещенных феррогранатов отличаются от пленок РЗ—ПМ не только большими МО-эффектами, но и высокой коррозионной стойкостью. Однако достигнутый в настоящее время успех в области получения монокристаллических пленок феррогранатов методом жидкофазной эпитаксии, к сожалению, не может быть широко использован в решении проблем массовой магнитооптической памяти ввиду относительно высокой стоимости этой технологии, обусловленной не только спецификой самого метода, но и дорогостоящей подложкой $Gd_3Ga_5O_{12}$, особенно в случае использования больших площадей (по Международному стандарту ISO диаметр МО-дисков должен быть 133 мм). Наиболее распространенными и более простыми методами получения магнито-пленочных материалов для магнитооптических носителей являются ионно-плазменные методы. В связи с этим в последние годы [1—3] предприняты попытки использования ионно-плазменной технологии для получения поликристаллических пленок ферритов на аморфных подложках, хотя для достижения успеха в использовании ионно-плазменной технологии необходимо решение комплекса технологических задач.

В настоящей работе представлены результаты технологических исследований получения поликристаллических пленок Вi-замещенного феррограната иттрия и изучения их структурных, магнитных и магнитооптических свойств. Выбор данного соединения не случаен, так как в нем в отличие от большинства феррогранатов отсутствует точка магнитной компенсации, что в значительной степени понижает требования к процессу термомагнитной записи с точки зрения стабилизации величины энергии записывающих импульсов, в то время как запись в материалах с точкой магнитной компенсации требует жесткой стабилизации режимов записи и более высокой однородности свойств исполь-

зуемого МО-носителя ввиду узкого температурного динамического диапазона (единицы градусов) данного способа.

Технология получения поликристаллических пленок феррогранатов. В решении задачи по разработке технологии получения поликристаллических пленок феррогранатов ионно-плазменным методом наиболее важными элементами являются: разработка технологии и изготовление ферритовых мишеней, поиск и оптимизация материалов для изготовления подложек, одновременно удовлетворяющих требованиям технологического процесса и магнитооптических применений, а также отработка оптимальных режимов ионно-плазменного распыления.

Изготовление мишеней. Изготовление ферритовых мишеней для ионно-плазменного распыления представляет весьма сложную задачу. Основная технологическая трудность состоит в надежном закреплении керамической (ферритовой) мишени с металлической основой, являющейся неотъемлемым элементом конструкции охлаждаемого электрода.

В данной работе в качестве мишеней использовались ферритовые покрытия, изготавливаемые методом плазменного напыления [4, 5]. При этом в результате электродугового разряда создается плазменный поток, имеющий скорость до 2000 м/с и температуру 10^3 — 10^4 К. С помощью оригинального устройства-дозатора частицы ферритового порошка, получаемого путем тонкого помола, вводятся в поток плазмы, плавятся и со скоростью 200—250 м/с осаждаются на охлаждаемую медную основу электрода, образуя плотное механически прочное ферритовое покрытие. Толщина ферритового слоя выбиралась от 1,5 до 2,5 мм. Данный способ изготовления мишеней позволяет в едином технологическом цикле совмещать операции прессования, спекания, прочного механического закрепления напыляемого ферритового слоя на поверхности металлической основы и получать покрытия высокой однородности по составу и с малым размером пор.

Выбор подложки. Выбор подложки для получения поликристаллических пленок феррогранатов обусловлен технологическими условиями их синтеза, а также требованиями, предъявляемыми к подложкам с точки зрения магнитооптических применений. Кроме того, необходимо учитывать, что использование поликристаллических пленок ферритов, например, в качестве сред для магнитооптической памяти предполагает наличие в них перпендикулярной магнитной анизотропии (ПМА). Изучение природы ПМА эпитаксиальных пленок феррогранатов показало, что константа ПМА пленок на подложках [111] галлий—гадолиний—гранат (ГГГ) определяется выражением [6]

$$K_u = K_{u\epsilon} + K_{u\sigma},$$

где $K_{u\epsilon}$ — константа магнитной анизотропии, наведенная процессом роста при использовании метода жидкофазной эпитаксии; $K_{u\sigma}$ — константа анизотропии, обусловленная напряжениями:

$$K_{u\sigma} = -\frac{3}{2} \frac{E}{(1+\nu)} \left(\frac{\Delta a_1}{a} \right) \lambda_{111}, \quad (1)$$

здесь E — модуль Юнга; λ_{111} — константа магнитострикции; ν — коэффициент Пуассона; Δa_1 — разность постоянных решетки пленки и подложки вдоль нормали к плоскости подложки; a — постоянная решетки феррограната.

С учетом этого в поликристаллических пленках, полученных методом ионно-плазменного распыления, скорее всего, можно ожидать формирования ПМА за счет магнитострикционного механизма, связанного с различием температурных коэффициентов расширения (ТКР) пленки и подложки. В таком случае, как известно [7], константа ПМА

$$K_{u\sigma} = -\frac{3}{2} \frac{E}{(1+\nu)} (\alpha_f - \alpha_s) \lambda_s, \quad (2)$$

где λ_s — константа магнитострикции поликристалла; α_f, α_s — ТКР пленки и подложки соответственно. Для феррита с $\lambda_s < 0$ ($\alpha_f - \alpha_s > 0$; $K_u > 0$). Таким образом, для поликристаллических пленок феррита можно ожидать ПМА на подложках с $\alpha_f > \alpha_s$.

С учетом изложенного выше подложки для поликристаллических пленок феррогранатов, полученных методом ионно-плазменного распыления, должны удовлетворять следующим требованиям:

- достаточно высокие температуры плавления (не ниже 800 °С),
- хорошая оптическая прозрачность в широкой области длин волн,
- малый (значительно меньше длины волны используемого света) размер кристаллитов или неоднородностей,
- $\alpha_f > \alpha_s$.

Этим требованиям удовлетворяют подложки из плавленого кварца и некоторые марки стекла Корнинг. Учитывая взаимосвязь структурно зависимых параметров пленок, необходимо (для их оптимизации) иметь достаточный ассортимент подложек с различными значениями коэффициентов термического расширения. С этой целью были использованы пластины прозрачных ситаллов, специально изготовленные по стеклокерамической технологии из золошлаковых отходов бурых углей КАТЭКа [8]. По своему химическому составу последние относятся к алюмосиликатной системе с высоким содержанием кальция. На полученных образцах проведены работы по получению оптических поверхностей методом обычной и глубокой полировки. Установлено, что эти материалы позволяют получать оптические поверхности требуемого класса. Ситаллы имеют мелкодисперсную кристаллическую структуру с размером зерна < 100 нм. Исследования оптических свойств, проведенных в видимой и ближней инфракрасных областях спектра, показали, что полученные образцы прозрачных ситаллов обладают рекордными значениями оптических характеристик и не уступают используемому в этих целях кварцевому стеклу (табл. 1). Преимуществом разработанного метода изготовления прозрачных ситаллов является возможность контроля и управления процессом кристаллизации, а также введения необходимых добавок и тем самым получения ситаллов с различными значениями ТКР ($(2 \div 7)10^{-6}$ град $^{-1}$). Видно, что минимальное значение ТКР превышает соответствующее значение кварца, а максимальное — близко к ТКР феррограната.

Получение пленок. Среди ионно-плазменных методов получения пленок оксидов (как правило, диэлектриков) традиционно используют либо методы высокочастотного распыления диэлектрической мишени, либо метод реактивного распыления металлической мишени в атмосфере смеси инертного

Т а б л и ц а 1

Измеряемый параметр	Материал подложки			
	Шифр образцов из ситаллов			Кварц аморфный
	7253(3)	273	271	
Магнитооптическая активность, град/кЭ · мм	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$
Область прозрачности, см $^{-1}$	$25,4 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$	$24,6 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$	$26,0 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$	$30,0 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$
Область максимальной прозрачности, см $^{-1}$	$22,0 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$	$19,0 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$	$18,0 \cdot 10^3$ — $< 13 \cdot 10^3$	—
Оптическое поглощение в области максимальной прозрачности, см $^{-1}$	0,18	0,1	0,08	0,26
Температура стеклования, К	1420	1420	1420	—
Показатель преломления	1,46	1,47	1,46	1,46

газа и кислорода, когда образование оксида происходит в основном на подложке. В данной работе для получения пленок феррогранатов с заданными свойствами был использован метод ионно-плазменного распыления ферритовой мишени на постоянном токе. Последнее было возможно благодаря особому свойству материала мишени, проявляющемуся в описанном выше способе изготовления ферритовых мишеней, а именно: процесс напыления осуществляется, как правило, в контролируемой атмосфере и обеспечивает необходимый фазовый состав и структуру ферритового покрытия. В ферритах, полученных плазменным напылением в восстановительной атмосфере, в результате реакции восстановления



образуются ионы Fe^{2+} . Сосуществование ионов Fe^{3+} и Fe^{2+} в структуре феррита приводит к сильному возрастанию электропроводности до $(0,1—0,01) \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ [9], что позволяет осуществлять ионно-плазменное распыление ферритовой мишени наиболее простым методом, а именно методом распыления на постоянном токе.

Распыление материала мишени производилось на стандартной установке УРМ 3.279.050, снабженной источником распыления на постоянном токе (триодная система), в атмосфере Ar на различные подложки (табл. 2) при температуре последней $\sim 320 \text{ К}$ и скорости осаждения $\sim 0,3 \text{ нм/с}$. Полученные таким образом слои из смеси окислов находились в аморфном состоянии. Процесс кристаллизации осуществлялся путем отжига напыляемых (исходных) пленок на воздухе в течение 3 ч при температуре $870—1070 \text{ К}$. Установлено, что физические параметры полученных пленок в гораздо большей степени зависят от температуры отжига, чем от параметров распыления. Минимальная температура отжига определялась эмпирически по насыщению (либо максимуму) на кривой зависимости магнитооптического эффекта Фарадея от температуры отжига. В результате была получена серия поликристаллических пленок $(\text{BiY})_3(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$ толщиной до 1 мкм с различной концентрацией ионов Bi и Ga, по составу близких к составу мишени. Оптимальные параметры получения поликристаллических пленок феррограната $(\text{BiY})_3(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$ представлены в табл. 2.

Структурные, магнитные и магнитооптические свойства. Контроль химического состава и толщины пленок осуществлялся посредством рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. Структура пленок, однородность распределения компонентов феррита и качество поверхности исследовались с помощью просвечивающего и растрового электронных, а также оптического микроскопов. Измерение магнитных и магнитооптических параметров проводилось с использованием магнитометрического и магнитооптического (в диапазоне длин волн $400—1200 \text{ нм}$) методов. Оптические спектры поглощения измерялись на спектрофотометре "Specord". В результате проведенных исследований было показано, что химический состав пленок сразу после напыления (до отжига) близок к составу используемых мишеней, а последующий отжиг не приводит к заметному изменению состава ферритовых пленок. Образцы, не подвергавшиеся отжигу, являются аморфными и не обнаруживают магнитных

Т а б л и ц а 2

Состав пленки	Давление остаточных газов, Па	Давление аргона, Па	Ускоряющее напряжение, кВ	Температура отжига, К	Тип подложки
$\text{Bi}_{1,5}\text{Y}_{1,5}(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	1,2	970	Кварц, ситалл
$\text{Bi}_{1,7}\text{Y}_{1,3}(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	1,2	920	Кварц, ситалл
$\text{Bi}_{2,0}\text{Y}(\text{GaFe})_5\text{O}_{12}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	1,0	870	Кварц, ситалл

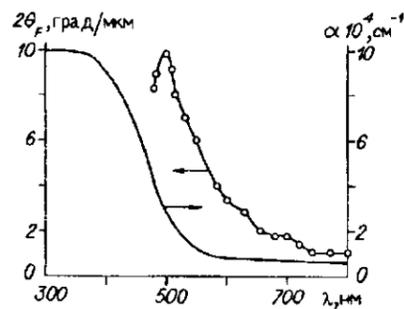


Рис. 1. Спектральные зависимости угла фарадеевского вращения $2\theta_F$ и коэффициента оптического поглощения α поликристаллических пленок $\text{Bi}_{1.6}\text{Y}_{1.4}\text{Ga}_{1.8}\text{Fe}_{3.2}\text{O}_{12}$

свойств. В процессе отжига пленки переходят в поликристаллическое состояние со структурой граната независимо от типа используемых подложек. По данным электронно-микроскопических и оптически-исследовательских исследований поликристаллические пленки феррогранатов

характеризуются однородным распределением компонентов феррита в объеме получаемых пленок. Анализ магнитооптических петель гистерезиса, а также кривых вращательного момента показал, что пленки феррита $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_y\text{Fe}_{5-y}\text{O}_{12}$ обладают ПМА в достаточно широкой области значений X и Y . Показано также, что спектральные зависимости магнитооптического эффекта Фарадея и оптического поглощения поликристаллических пленок феррогранатов имеют вид, характерный для монокристаллических пленок Bi -замещенных феррогранатов. В качестве примера на рис. 1 приведены соответствующие спектры для пленки $\text{Bi}_{1.6}\text{Y}_{1.4}\text{Ga}_{1.8}\text{Fe}_{3.2}\text{O}_{12}$.

С целью оптимизации магнитных и магнитооптических параметров получаемых МО-сред на основе феррита $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_y\text{Fe}_{5-y}\text{O}_{12}$ было исследовано влияние концентрации ионов замещения Bi и Ga на константу перпендикулярной анизотропии (K_u), коэрцитивную силу (H_c), коэффициент прямоугольности (S) и магнитооптические эффекты в области значений $X = (1,5-2)$ и $Y = (1,2-1,8)$. Полученные результаты представлены на рис. 2, 3 и в табл. 3. На рис. 2 и 3 приведены данные для пленок толщиной 0,4 мкм, полученных на кварцевых подложках. Зависимость угла фарадеевского вращения θ_F от X показывает, что увеличение магнитооптического эффекта (на длине волны 630 нм) обусловлено ионами Bi и составляет 1 град/ион $_{\text{Bi}}$. Последнее согласуется с результатами других авторов [2, 10] и может служить подтверждением хорошего качества полученных пленок.

Исходя из данных, приведенных на рис. 3, видно, что коэрцитивная сила пленок растет с увеличением концентрации Ga в составе феррита, выраженного формулой $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_y\text{Fe}_{5-y}\text{O}_{12}$. Вместе с тем наблюдается слабое уменьшение H_c с увеличением концентрации Bi . Следует обратить внимание на то, что значение H_c полученных пленок существенно выше соответствующих значений поликристаллических пленок $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_y\text{Fe}_{5-y}\text{O}_{12}$, приведенных в [2, 10, 11]. Этот факт, скорее всего, связан с более широким интервалом концентрации Ga (в нашем случае) относительно 1,2 мол. ед., используемым ранее [2, 10, 11].

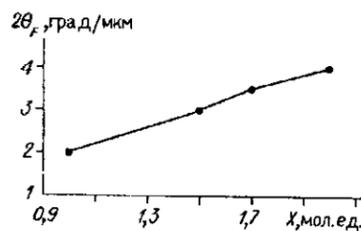


Рис. 2. Зависимость угла фарадеевского вращения $2\theta_F$ от концентрации Bi в пленках феррита $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_{1.2}\text{Fe}_{3.8}\text{O}_{12}$

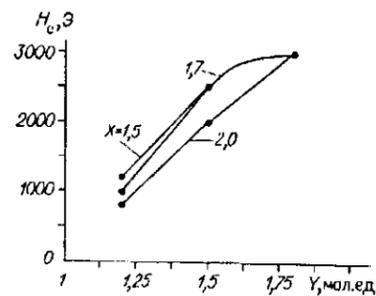


Рис. 3. Зависимости коэрцитивной силы H_c от концентрации Ga поликристаллических пленок $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_y\text{Fe}_{5-y}\text{O}_{12}$

Таблица 3

Состав	$2\theta_F$, град/мкм	H_c , Э	$S = B_r/B_s$	Подложка
$Bi_{1,5}Y_{1,5}Ga_{1,2}Fe_{3,8}O_{12}$	3,0	1200	1	Кварц
$Bi_{1,5}Y_{1,5}Ga_{1,5}Fe_{3,5}O_{12}$	3,0	2500	1	Кварц
$Bi_{1,7}Y_{1,3}Ga_{1,2}Fe_{3,8}O_{12}$	3,5	1000	1	Кварц
$Bi_{1,7}Y_{1,3}Ga_{1,5}Fe_{3,5}O_{12}$	3,5	2500	1	Кварц
$Bi_{1,7}Y_{1,3}Ga_{1,8}Fe_{3,2}O_{12}$	3,5	3000 1200 500	1	Кварц, ситалл I, ситалл II
$Bi_2YGa_{1,2}Fe_{3,8}O_{12}$	4,0	800	0,8	Кварц
$Bi_2YGa_{1,5}Fe_{3,5}O_{12}$	4,0	2000	0,8	Кварц
$Bi_2YGa_{1,8}Fe_{3,2}O_{12}$	3,8	3000 500	0,9	Кварц, ситалл II

Примечание. Кварц: $\alpha_r = 0,56 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$; ситалл I: $\alpha_r = 5 \times 10^{-6}$ град $^{-1}$; ситалл II: $\alpha_r = 6 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$

Анализ полученных результатов позволяет определить оптимальный состав феррита в области исследуемых концентраций ионов замещения, обладающий достаточно высокими значениями магнитных и МО-параметров одновременно. С точки зрения применения полученных пленок в качестве магнитооптического носителя параметры пленок составов $Bi_{1,7}Y_{1,3}Ga_{1,8}Fe_{3,2}O_{12}$ и $Bi_2YGa_{1,8}Fe_{3,2}O_{12}$ наилучшим образом удовлетворяют необходимым требованиям.

Использование различных типов подложек при осаждении пленок, в частности из плавленного кварца и прозрачных ситаллов с различными ТКР, позволило установить зависимость коэрцитивной силы от типа подложки (рис. 4). Измерение константы ПМА поликристаллических пленок, полученных на различных подложках, также выявило достаточно сильное влияние типа подложки на этот параметр (см. рис. 4). Кроме того, наблюдается корреляция в зависимостях K_u и H_c от величины ТКР-подложки.

Приближенные оценки константы наведенной анизотропии поликристаллических пленок, согласно формуле (2), указывают на то, что, по крайней мере, одним из существенных вкладов в константу ПМА является магнито-стрикционный. В то же время, учитывая имеющуюся корреляцию K_u и H_c , можно предположить, что увеличение H_c рассматриваемых пленок также связано с магнитострикцией через магнитоупругий механизм $H_c = b(K_u/4\pi M)$ [12], где b — коэффициент, зависящий от толщины и кристаллической структуры пленки.

Известно, что качество поверхности пленки, как и размер зерна, определяют магнитооптические шумы пленок, что весьма важно для практического использования. В связи с этим были проведены исследования поверхности поликристаллических

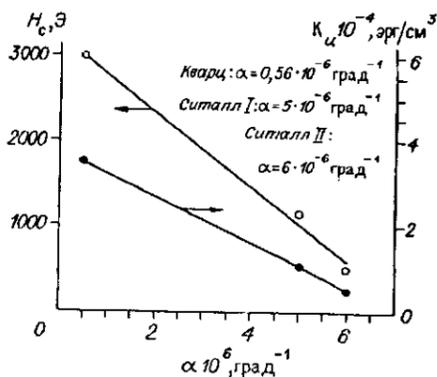


Рис. 4. Зависимость коэрцитивной силы H_c и константы ПМА пленки $Bi_{1,7}Y_{1,3}Ga_{1,8}Fe_{3,2}O_{12}$ от ТКР-подложки

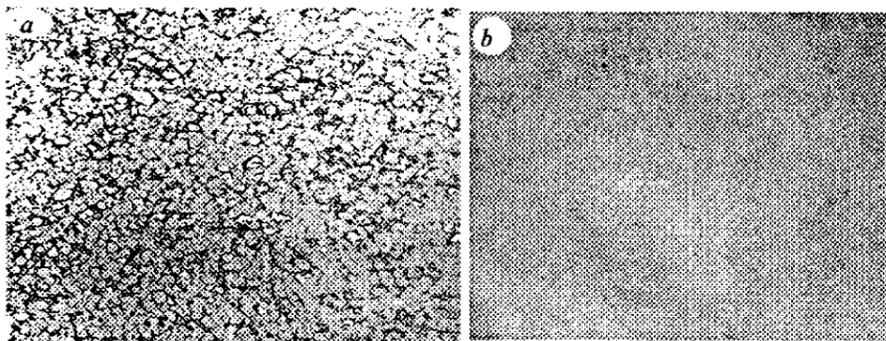


Рис. 5. Микрофотографии поверхности поликристаллических пленок $\text{Bi}_{1.7}\text{Y}_{1.3}\text{Ga}_{1.2}\text{Fe}_{3.8}\text{O}_{12}$ на подложках:
a — из кварца ($\times 100$); *b* — из сапфира ($\times 100$)

пленок, полученных на различных подложках. На рис. 5, *a* показан вид поверхности пленки, осажденной на кварцевую подложку и подвергнутой отжигу при температуре 1020 К в течение 3 ч. Характерный размер «ячейки» сетки, образующейся в результате растрескивания пленки в процессе отжига, составлял 20—40 мкм. Размер зерна внутри ячейки 100—200 нм. С уменьшением температуры отжига до 920 К сетка (трещины) исчезает, но еще остаются отдельные линии растрескивания. Других дефектов на поверхности пленок не наблюдалось. В свою очередь, растрескивание пленок, осажденных на подложки из прозрачных сапфиров с ТКР в пределах используемых значений $(2-7)10^{-6}$ град $^{-1}$, отсутствует при любых температурах отжига (рис. 5, *b*). Размер кристаллитов поликристаллических пленок ферритов, осажденных на подложках из сапфира, < 100 нм. Из проведенных исследований видно, что пленки, осажденные на подложках из сапфира, хотя и имеют меньшие значения H_c в сравнении с соответствующими значениями пленок на кварце, однако по совокупности свойств являются наиболее предпочтительными для магнитооптических применений.

Заключение. Методом ионно-плазменного распыления на постоянном токе с использованием проводящих керамических мишеней, приготовленных по специальной технологии, получены поликристаллические пленки феррограната $\text{Bi}_x\text{Y}_{3-x}\text{Ga}_y\text{Fe}_{5-y}\text{O}_{12}$ составов, близких к составу мишеней. Поликристаллические пленки, осажденные на подложки из кварца и прозрачных сапфиров с различными ТКР, характеризуются наличием ПМА, магнитными и магнитооптическими параметрами, зависящими от концентрации ионов замещения (Bi, Ga) и типа подложки. В частности, показано, что увеличение МО-эффекта, наблюдаемое с увеличением концентрации Bi, является характерным для Bi-замещенных феррогранатов и составляет 1 град/ион $_{\text{Bi}}$ (на $\lambda = 630$ нм). В свою очередь, замещение ионами Ga оказывается эффективным для увеличения коэрцитивной силы получаемых пленок. Установлена также зависимость коэрцитивной силы от типа подложки.

Проведенные исследования позволили определить оптимальный состав пленок, отвечающий высоким значениям магнитных и МО-параметров, а именно поликристаллические пленки $\text{Bi}_{1.7}\text{Y}_{1.3}\text{Ga}_{1.2}\text{Fe}_{3.2}\text{O}_{12}$ имеют следующие параметры: $2\Theta_F = 3,5$ град/мкм ($\lambda = 630$ нм) и 10 град/мкм в сине-зеленой области спектра; $H_c = 3000$ Э (на кварцевой подложке), $H_c = 1200$ Э (на подложке из сапфира); $S = 1$. Совокупность свойств полученных поликристаллических пленок феррогранатов отвечает требованиям, предъявляемым к материалам для магнитооптических применений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gomi M., Utsugi K., Abe M. RF sputtered films of Bi—substituted garnet for magneto-optical memory // IEEE Trans. Magn. 1986. MAG-22, N 5. P. 1233.
2. Challeton D., Bechevet B., Rolland B., Armand M. F. RF sputtering of Bi—substituted garnet films for magneto-optic memory // J. Magn. and Magn. Mater. 1990. 83. P. 37.
3. Suzuki T., Zaharchuk G., Gorman G. et al. Magnetic and magneto-optical properties and crystallization kinetics and rapid-thermally crystallized Bi-substituted garnet films // IEEE Trans. Magn. 1990. 26, N 5. P. 1927.
4. Саунин В. Н., Лепешев А. А. Оборудование для плазменного напыления покрытий из порошковых материалов. Красноярск, 1990. (Препр. /СО АН СССР. ИФ; 675Ф).
5. Лепешев А. А. Структура и магнитные свойства ферритов, полученных плазменным распылением. Красноярск, 1992. (Препр. /СО РАН. ИФ; 721Ф).
6. Hansen P., Tolksdorf W., Witter K., Robertson I. Recent advances of bismuth garnet materials research for bubble and magneto-optical application // IEEE Trans. Magn. 1984. MAG-20, N 5. P. 1099.
7. Abe M., Gomi M. Magneto-optical recording on garnet films // J. Magn. and Magn. Mater. 1990. 84. P. 222.
8. Павлов В. Ф., Аншиц А. Г., Боякин С. Г., Шабанов В. Ф. Технология переработки золи углей КАТЭКа. Красноярск, 1991. (Препр. /СО АН СССР. ИФ, СКТБ «Наука»; 709Ф).
9. Крупичка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов: Пер. с нем. М.: Мир, 1976. Т. 2.
10. Gomi M., Tanida T., Abe M. RF sputtering of highly Bi-substituted garnet films on glass substrates for magneto-optic memory // J. Appl. Phys. 1985. 57, N 1. P. 3888.
11. Shono K., Kano H., Koshino N., Ogawa S. Magneto-optical recording of sputtered garnet films using laser diode // IEEE Trans. Magn. 1990. 26, N 5. P. 1927.
12. Зюзин А. Н., Антонов А. В., Васильев В. В. и др. Параметры поликристаллических висмут-содержащих пленок феррит-гранатов // Письма в ЖТФ. 1988. 14, вып. 16.

Поступила в редакцию 27 марта 1995 г.