

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

**PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS
OF THE STUDY OF CLUSTERS,
NANOSTRUCTURES AND
NANOMATERIALS**

**FIZIKO-HIMIČESKIE ASPEKTY
IZUČENIÂ KLASTEROV,
NANOSTRUKTUR I NANOMATERIALOV**

выпуск 12

ТВЕРЬ 2020

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в журнале «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:
<https://www.physchemaspects.ru>

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2020. – Вып. 12. – 908 с.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-47789 от 13.12.2011.

Издание составлено из оригинальных статей, кратких сообщений и обзоров теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Журнал предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

Переводное название: Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials

Транслитерация названия: Fiziko-himičeskie aspekty izučenija klasterov, nanostruktur i nanomaterialov

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145
ББК Ж36:Г5+В379

Print ISSN 2226-4442

Online ISSN 2658-4360

© Коллектив авторов, 2020

© Тверской государственный
университет, 2020

УДК 537.662

Оригинальная статья

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ НА МАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНОК

А.И. Иванова¹, Е.М. Семенова¹, Г.Г. Дунаева¹, С.В. Овчаренко², С.А. Третьяков¹,
А.Д. Зигерт¹

¹*ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»*

170100, Россия, Тверь, ул. Желябова, 33

²*ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»*

119454, Россия, Москва, пр. Вернадского, 78

Ivanova.AI@tversu.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.103

Аннотация: В работе рассмотрено влияние объемных дефектов, связанных с локальным механическим повреждением и термическим лазерным воздействием, на доменную структуру и магнитные характеристики epitаксиальных висмутсодержащих магнитных пленок феррит-граната *Bi*:ФГ. Установлено, что одноосные пленки *Bi*:ФГ устойчивы к объемным дефектам, размер которых не превышает ширину доменов пленки. Показано, что рассмотренные объемные дефекты пленки оказывают влияние на процесс намагничивания пленки, ход кривых намагничивания, на величину коэрцитивной силы. Воздействие лазерным импульсом с плотностью мощности 800 Дж/см² приводит к увеличению коэрцитивной силы локального участка пленки в 4 раза (с 0,33 Э до 1,44 Э).

Ключевые слова: *магнитные пленки, феррит-гранат, объемные дефекты, доменная структура, коэрцитивная сила.*

1. Введение

Эпитаксиальные структуры висмутсодержащих феррит-гранатов, выращиваемые на подложках из гадолиний-галлиевого граната обладают высокими магнитооптическими характеристиками и используются для изготовления различных магнитооптических устройств: оптических элементов для волоконно-оптических линий связи, магнитооптических модуляторов, бесконтактных датчиков магнитного поля. Благодаря целому комплексу магнитных и диэлектрических свойств пленки являются уникальным объектом для физических исследований [1-4].

В магнитных материалах, как правило, присутствуют различного рода дефекты, влияние которых значительно сказывается на структурно-чувствительных характеристиках материала, в частности коэрцитивной силе [5,6]. Также, наличие объемных дефектов может изменить равновесную доменную структуру пленки. Обычно дефекты в магнитных пленках возникают в процессе роста, вследствие несовершенства технологии их синтезирования и поверхностных напряжений, возникающих во время обработки. В результате, в пленках феррит-гранатов образуются примесные включения, дефекты упаковки и дислокации [5,7,8]. Различные неоднородности и дефекты, имеющиеся на подложке гадолиний-галлиевого граната, наследуются пленкой *Bi*:ФГ,

вызывая локальные изменения магнитных свойств. Наиболее частой причиной образования дефектов в подложке являются термоупругие напряжения, возникающие в процессе роста кристалла, и нестехиометрия [8]. В работах [8-11] рассмотрено влияние дефектов и деформаций на поведение доменной структуры в магнитных материалах такого типа. Показано, что значительные локальные деформации планарной *Bi*:ФГ пленки приводят к появлению нормальной компоненты вектора намагниченности, вследствие чего в пленке возникает наведенная анизотропия типа «легкая ось». В [12] приводится описание эксперимента, в котором наноиндентирование поверхности немагнитных сплавов интерметаллидов, привело к появлению локальных участков с ферромагнитным упорядочением, что проявлялось в возникновении магнитных доменов в индентированных областях.

Настоящая работа представляет собой продолжение исследований дефектов пленок *Bi*:ФГ, в частности, объемных дефектов, полученных путем индентирования и термического воздействия фемтосекундного лазера на поверхность пленки, а также влияния этих дефектов на магнитные свойства.

2. Объекты и методы исследования

Исследования выполнены на эпитаксиальных феррит-гранатовых пленках (ЭПФГ), выращенных на пластинах гадолиний-галлиевого граната диаметром 76 мм. Кристаллографическая ориентация подложки – $\langle 111 \rangle$ с размером элементарной ячейки $12,380 \pm 0,001 \text{ \AA}$. Толщина магнитного слоя пленки – 10 мкм, тип магнитной анизотропии – «легкая ось» (одноосная); удельное фарадеевское вращение на длине волны $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ более 1 град/мкм; диапазон рабочих температур: 0–150 °C.

Индентирование и склерометрия пленок проводились на микротвердомере ПМТ-3. Структура дефектов определена на оптическом профилометре NanoMap 1000WLI, а также с помощью растрового электронного микроскопа JEOL JSM6610LV (РЭМ) в режиме вторичных электронов. Магнитная доменная структура (ДС) выявлялась методом полярного эффекта Керра на оптическом микроскопе Neophot-30 с применением цифровой камеры Levenhuk M800 PLUS. Петли магнитного гистерезиса и кривые намагничивания получены с помощью программно-аппаратного комплекса автоматического анализа изображений доменной структуры поверхности образцов на базе Neophot-30 [13]. Экспонирование пленок производилось единичными фемтосекундными импульсами лазерного излучения с помощью титан-сапфировой лазерной системы (Katyusha, ООО «АВЕСТА-ПРОЕКТ»), генерирующей импульсное излуче-

ние длительностью 35 фс со средней мощностью 600 мВт на длине волны 800 нм в лаборатории «Фемтосекундная оптика для нанотехнологий» кафедры наноэлектроники ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет».

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

Пленки *Bi*:*ФГ* с одноосной магнитной анизотропией обладают в равновесном состоянии лабиринтной доменной структурой со 180-градусными границами и ориентацией векторов намагниченности соседних доменов вдоль нормали к плоскости пленки. В ходе исследований на феррит-гранатовые образцы с помощью микротвердомера были нанесены дефекты. На рис. 1 представлено изображение доменной структуры пленки в области зигзагообразной царапины (см. рис. 1 а) и изображение дефекта, полученное на профилометре (см. рис. 1 б).

Средствами оптической профилометрии были определены линейные размеры царапины: глубина в диапазоне 1,2–1,8 мкм, ширина – 6,5 мкм. Следует отметить, что ширина дефекта не превышает ширину доменов пленки (9 мкм). Царапина представляет собой разрыв, нарушающий целостность пленки. Однако, как видно из рис. 1 а, в отсутствие внешних полей лабиринтные домены в области разрыва не меняют свою равновесную конфигурацию.

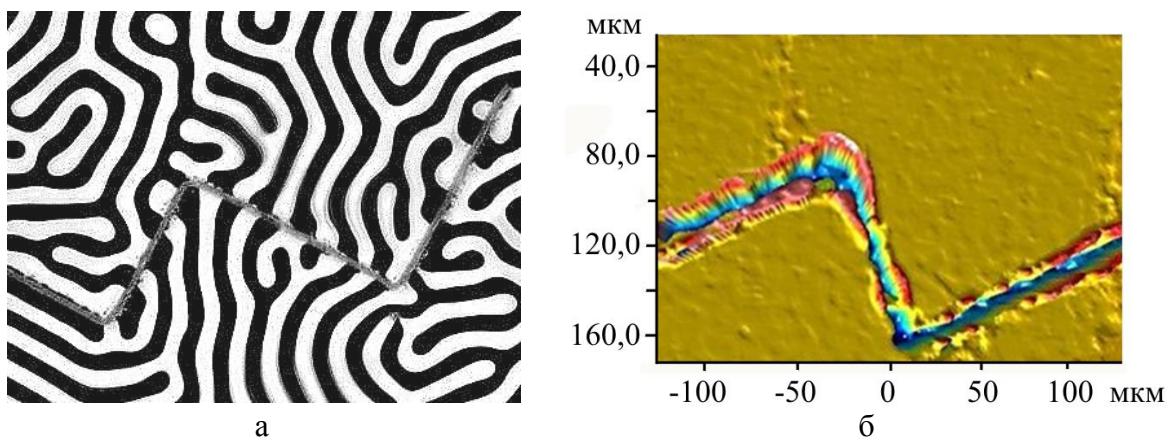


Рис. 1. Поверхность пленки с протяженным дефектом: ДС в области дефекта (а), выявленная методом полярного эффекта Керра, и изображение дефекта (б), полученное методом оптической профилометрии.

Полевые зависимости намагниченности пленки $M(H)$, полученные на основе анализа перестройки доменной структуры во внешнем поле, представлены на рис. 2 а. На графике присутствуют две петли магнитного гистерезиса, соответствующие участкам пленки в окрестности дефекта и на удалении от него. Анализ зависимостей $M(H)$ показывает, что в области царапины наблюдается увеличение площади петли гистерезиса и

незначительное изменение коэрцитивной силы H_{cl} с 0,33 Э (в бездефектной области пленки) до 0,40 Э. Несовпадение значений H_{cl} достаточно мало и сопоставимо с погрешностью измерения величины магнитного поля. Таким образом, из приведенного эксперимента следует, что протяженный дефект, ширина которого не превышает ширину домена, практически не изменяет коэрцитивную силу пленки феррита-граната с одноосной анизотропией. Поскольку H_{cl} отвечает за один из механизмов диссипации (переход части энергии упорядоченных процессов в энергию неупорядоченных процессов, в конечном итоге – в тепло), для практических применений ЭПФГ желательно, чтобы H_{cl} была минимальна.

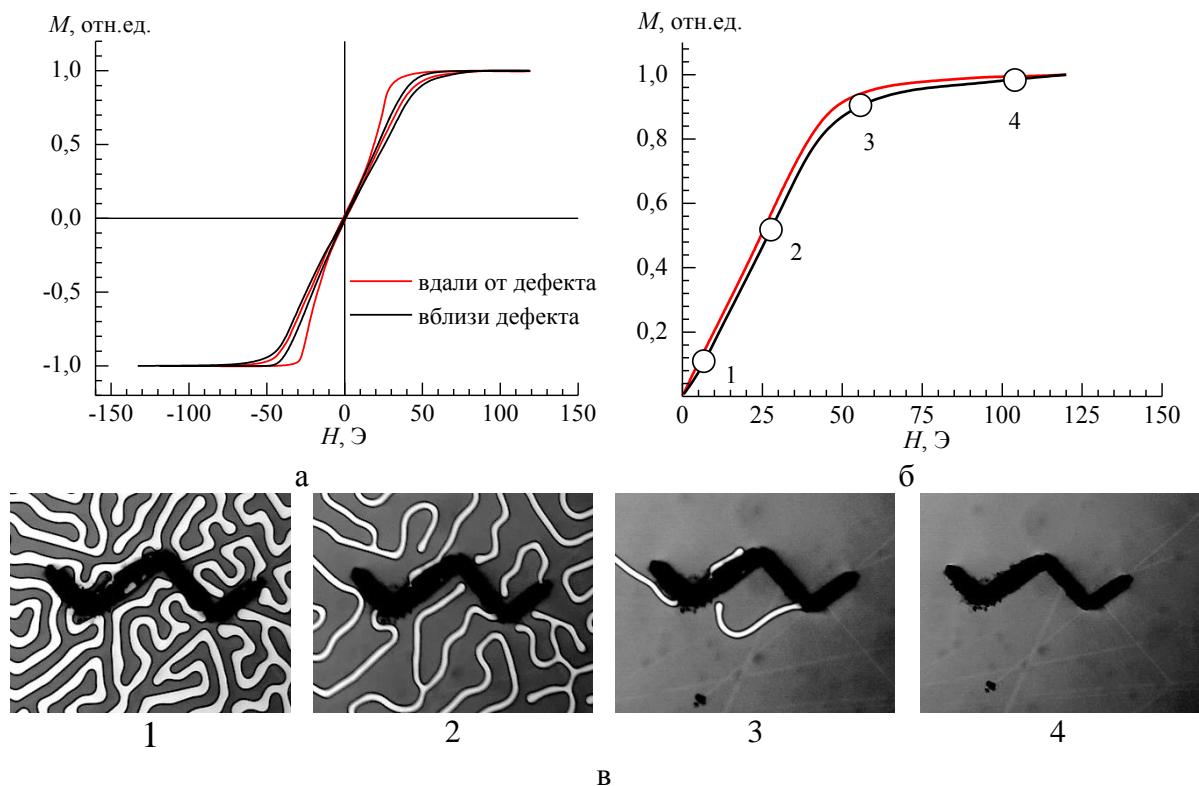


Рис. 2. Предельные петли магнитного гистерезиса пленки $Bi:ФГ$ (а), полевые зависимости намагниченности (б), построенные на основе анализа перестройки ДС в постоянном намагничивающем поле и доменная структура (в), соответствующая точкам 1-4 на кривой намагничивания пленки вблизи дефекта: 1 – 4,7 Э, 2 – 25,5 Э, 3 – 55,2 Э, 1 – 106,4 Э.

Регистрируя трансформацию ДС на разных участках пленки при намагничивании во внешнем магнитном поле, были построены кривые намагничивания соответствующие полям зрения с дефектом и без него (см. рис. 2 б). На графике зависимость $M(H)$, полученная в окрестности дефекта, содержит точки, которым поставлено в соответствие изображение ДС в этом поле. Точка 1 соответствует лабиринтная ДС в размагниченном

состоянии, а с ростом напряженности поля H (точки 2-4), происходит намагничивание пленки: растет площадь темных и уменьшается площадь светлых доменов. Из этого эксперимента видно, что в области дефекта пленка намагничивается медленнее в сравнении с бездефектной областью, что обусловлено наличием размагничивающего поля вблизи дефекта. Дефекты препятствуют смещению доменных границ и тем самым затрудняют перемагничивание. В поле 106,4 Э кривая намагничивания выходит в насыщение, что соответствует монодоменному состоянию образца.

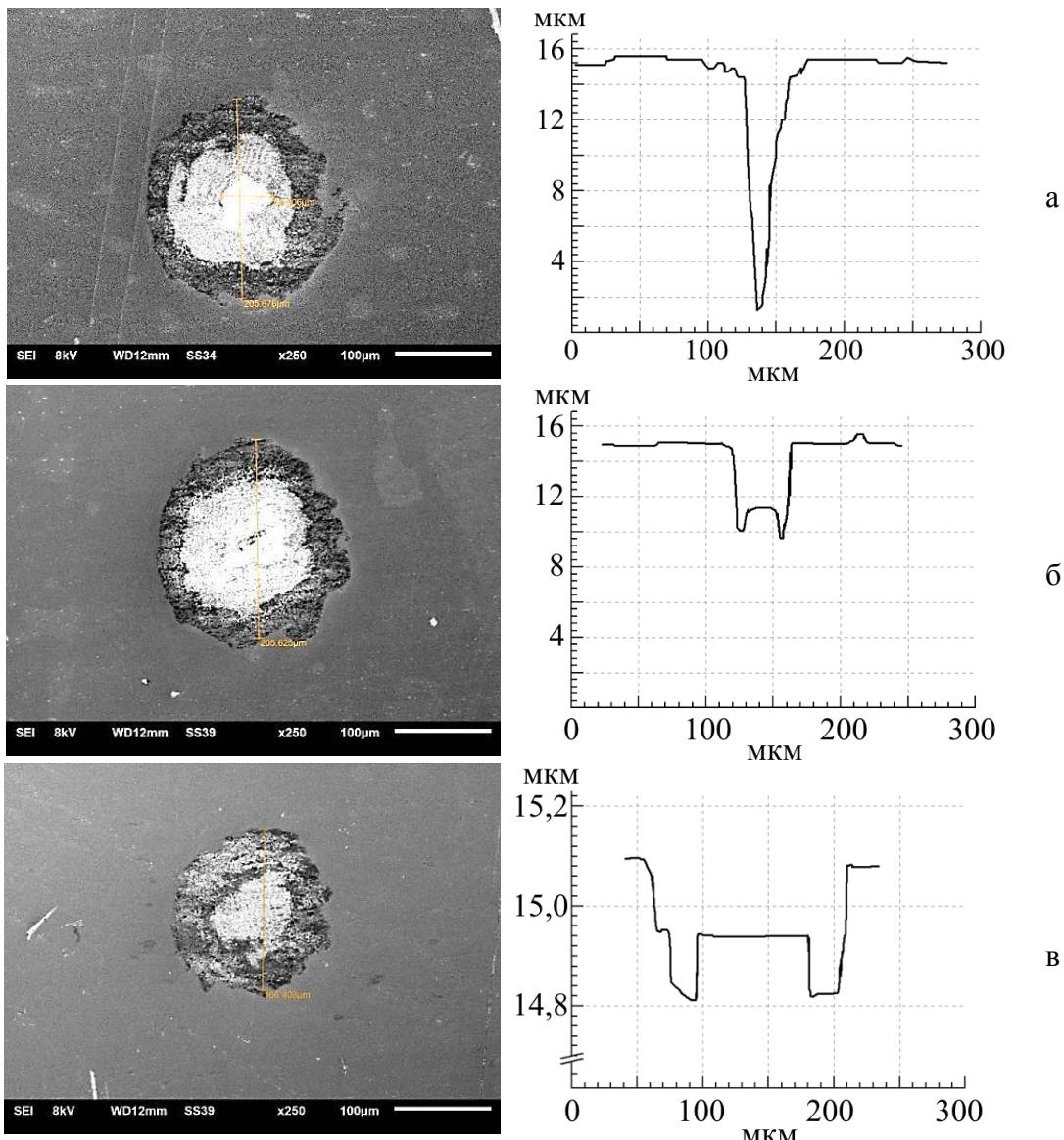


Рис. 3. РЭМ – изображение и профилограммы объемных дефектов, полученных при экспонировании лазером различной плотности мощности: а – 800 Дж/см²; б – 400 Дж/см²; в – 200 Дж/см².

На рис. 3 представлена микроструктура и профилограммы объемных дефектов, полученные после термического воздействия на пленку *Bi*:ФГ

единичными лазерными импульсами разной плотности мощности: 800, 400 и 200 Дж/см². Необходимо отметить, что при воздействии лазером 800 Дж/см², наблюдается прожиг пленки до подложки. Методом оптической профилометрии определены линейные размеры полученных дефектов (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Характеристики дефектов, полученных при термическом воздействии лазерных импульсов

Плотность мощности лазера, Дж/см ²	Область дефекта, мкм	Диаметр кратера, мкм	Глубина, мкм
800	206	52	14
400	204	32	5,5
200	165	–	0,2-0,3

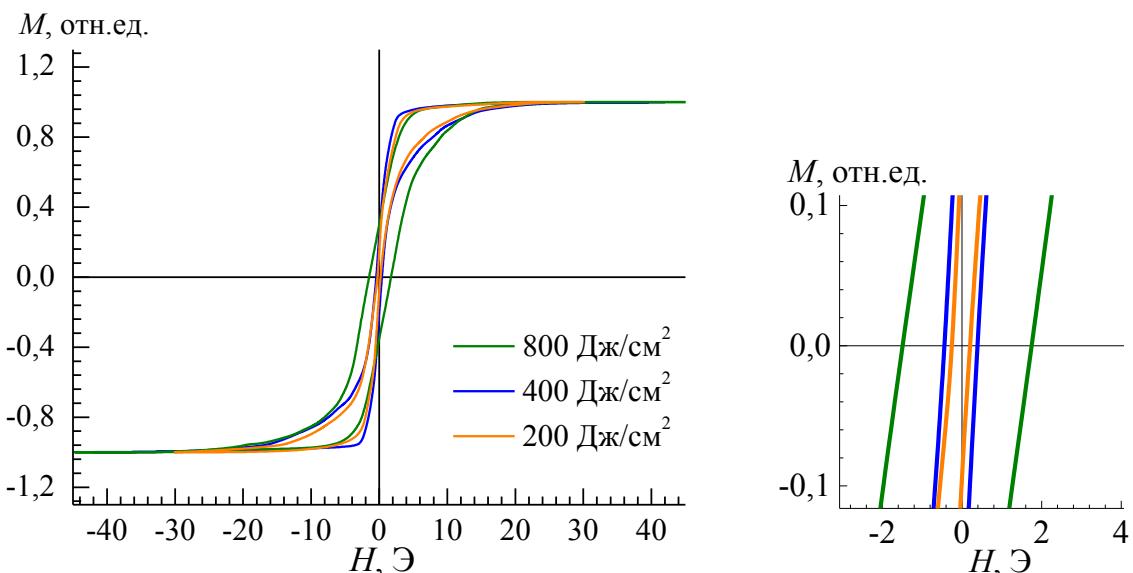


Рис. 4. Предельные петли магнитного гистерезиса дефектных участков пленки *Bi*:ФГ.

На рис. 4 представлены предельные петли гистерезиса для участков пленки с дефектами, полученными при экспонировании фемтосекундным лазером различной плотности мощности. Из графиков видно, что воздействие на пленку лазерным импульсом мощностью 800 Дж/см² оказывает заметное влияние на магнитные параметры пленки: увеличивается площадь петли гистерезиса и численное значение коэрцитивной силы H_{cl} возрастает в 4 раза (с 0,33 Э до 1,44 Э). Значения остаточной намагниченности очень близки для всех трех дефектных участков. Известно, что для пленок ферритов-гранатов имеет место большое различие коэрцитивной силы H_{cl} и поля насыщения пленки H_s (обычно, $H_s / H_{cl} \approx 100$). В нашем случае, в дефектных областях пленки эта разница уменьшается с увеличением размера дефекта: $H_s / H_{cl} = 91$ (200 Дж/см²), 71 (400 Дж/см²) и 32 (800 Дж/см²).

На рис. 5 показана последовательная трансформация ДС пленки вблизи термического дефекта (800 Дж/см^2) при намагничивании. Основная часть пленки приходит в состояние насыщения при меньших значениях магнитного поля, чем область с дефектом, что коррелирует с результатами, полученными при индентировании. При $46,5 \text{ Э}$ область пленки вблизи дефекта достигает состояния насыщения, что почти в два раза превышает значение для бездефектной области.

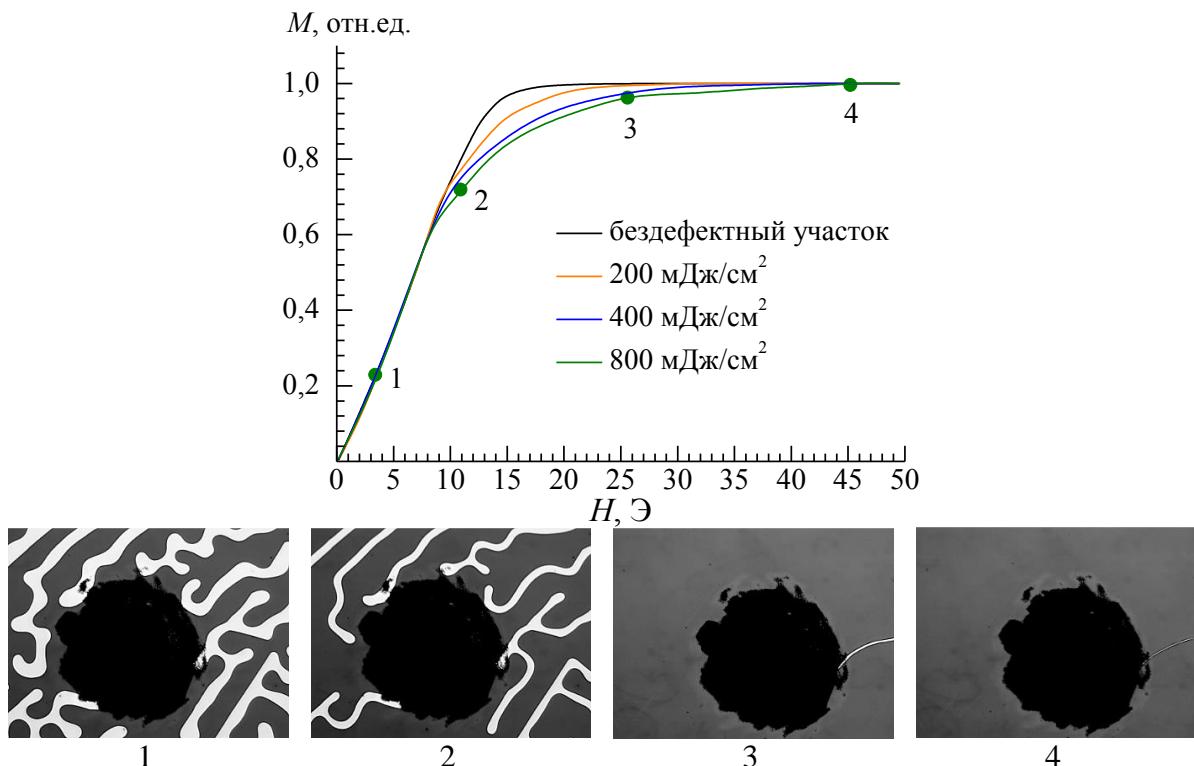


Рис. 5. Полевые зависимости намагниченности $Bi:\text{ФГ}$ пленки, измеренные в ходе анализа доменной структуры. Изображения ДС соответствуют точкам 1-4 на кривой намагничивания: 1 – $4,0 \text{ Э}$, 2 – $10,5 \text{ Э}$, 3 – $28,4 \text{ Э}$, 4 – $46,5 \text{ Э}$.

4. Заключение

Анализ влияния дефектов на микроструктуру и магнитные характеристики пленок важен с точки зрения учета реальной структуры таких материалов при разработке элементов микроэлектроники. В ходе исследований была выявлена устойчивость $Bi:\text{ФГ}$ пленок с одноосной анизотропией к объемным дефектам, размер которых не превышает ширину доменов пленки. При этом, следует отметить, что объемные дефекты сопровождаются возникновением дополнительных магнитных полей рассеяния и выступают в качестве барьеров при смещении доменных границ. Локальные механические деформации поверхности $Bi:\text{ФГ}$ пленок в виде царапин и дефекты, созданные воздействием фемтосекундного лазера, оказывают влияние на ход кривых намагничивания, на величину

коэрцитивной силы и соотношение полей смещения и коэрцитивной силы. Наиболее заметное влияние оказывают дефекты, сравнимые по размеру с толщиной магнитного слоя и превышающие ширину доменов. Значения коэрцитивной силы пленки вблизи таких дефектов увеличивается в 4 раза.

Исследования выполнены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности (проект № 0817-2020-0007) и гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-52-16021) с использованием оборудования Центра коллективного пользования Тверского государственного университета.

Библиографический список:

1. **Scheunert, G.** A review of high magnetic moment thin films for microscale and nanotechnology applications / G. Scheunert, O. Heinonen, R. Hardeman, et al. // Applied Physics Reviews. – 2016. – V. 3. – I. 1. – P. 011301-1-011301-44. DOI: 10.1063/1.4941311.
2. **Zvezdin, A.K.** Modern magneto optics and magneto optical materials / A.K. Zvezdin, V.A. Kotov. – New York: Taylor & Francis Croup, 1997. – 404 p.
3. **Grechishkin, R.** Magnetic imaging films In book: magnetic nanostructures in modern technology / R. Grechishkin, S. Chigirinsky, M. Gusev, O. Cugat, N.M. Dempsey; ed. by B. Azzerboni, G. Asti, L. Paret, M. Ghidini. – Springer: Dordrecht, 2008. – P. 195-224. DOI: 10.1007/978-1-4020-6338-1_11.
4. **Егужокова, Р.М.** Доменная структура и магнитотранспортные свойства тонких пленок ферритов-гранатов / Р.М. Егужокова, А.И. Иванова, Е.М. Семенова // Физико-химические аспекты изучения кластеров, nanoструктур и наноматериалов. – 2019. – Вып. 11. – С. 123-128. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.123.
5. **Vakhitov, R.M.** Structure of micromagnetic formations arising on defects in garnet-ferrite films / R.M. Vakhitov, T.B. Shapayeva, R.V. Solonetskiy, A.R. Yumaguzin // Physics Metals and Metallography. – 2017. – V. 118. – I. 6. – P. 541-545. DOI: 10.1134/S0031918X17040111.
6. **Dubinko, S.V.** Features of the coercivity of strained epitaxial garnet ferrite films / S.V. Dubinko, A.S. Nedviga, V.G. Vishnevskii, et al. // Technical Physics Letters. – 2005. – V. 31. – I. 11. – P. 979-981. DOI: <https://doi.org/10.1134/1.2136971>.
7. **Dudorov, V.N.** Synthesis and physical properties of single-crystal films of rare-earth iron garnets / V.N. Dudorov, V.V. Randoshkin, R.V. Telesnin // Soviet Physics Uspekhi. – 1977. – V. 20. – I. 6. – P. 505-527. DOI: 10.1070/PU1977v020n06ABEH005406.
8. **Ivanova, A.I.** Specific features of magnetic domain structure in epitaxial magneto-optical ferrite-garnet films / A.I. Ivanova, E.M. Semenova, M.K. Virchenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Functional Materials and Nanotechnologies (FM&NT 2018), 2-5 October 2018, Riga, Latvia. – 2019. – V. 503. – Art. № 012014. – 4 p. DOI: 10.1088/1757-899X/503/1/012014.
9. **Gerasimov, M.V.** Time evolution of domain-wall motion induced by nanosecond laser pulses / M.V. Gerasimov, M.V. Logunov, A.V. Spirin, Y.N. Nozdrin, I. D. Tokman // Physical Review B. – 2016. – V. 94. – P. 014434-1-014434-9. DOI: 10.1103/PhysRevB.94.014434.
10. **Atherton, D.L.** Effects of stress on magnetization / D.L. Atherton, D.C. Jiles // NDT International. – 1968. – V. 19. – I. 1. – P. 15-19. DOI: 10.1016/0308-9126(86)90135-5.

11. **Broese van Groenou, A.** Scratch-modified magnetic domain patterns in garnet film / A. Broese van Groenou // Applied Physics. – 1978. – V. 15. – I. 4. – P. 385-392. DOI: 10.1007/BF00886157.
12. **Sort, J.** Periodic arrays of micrometer and sub-micrometer magnetic structures prepared by nanoindentation of a nonmagnetic intermetallic compound / J. Sort, A. Concstell, E. Menéndez, et al. // Advanced Materials. – 2006. – V. 18. – I. 13. – P. 1717-1720. DOI: 10.1002/adma.200600260.
13. **Карпенков, А.Ю.** Метод анализа процессов перемагничивания магнетиков по изображениям магнитной доменной структуры / А.Ю. Карпенков, Г.Г. Дунаева, П.А. Ракунов и др. // Физико-химические аспекты изучения кластеров, nanoструктур и наноматериалов. – 2018. – Вып. 10. – С. 338-344. DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.338.

References:

1. **Scheunert, G.** A review of high magnetic moment thin films for microscale and nanotechnology applications / G. Scheunert, O. Heinonen, R. Hardeman, et al. // Applied Physics Reviews. – 2016. – V. 3. – I. 1. – P. 011301-1-011301-44. DOI: 10.1063/1.4941311.
2. **Zvezdin, A.K.** Modern magneto optics and magneto optical materials / A.K. Zvezdin, V.A. Kotov. – New York: Taylor & Francis Croup, 1997. – 404 p.
3. **Grechishkin, R.** Magnetic imaging films In book: magnetic nanostructures in modern technology / R. Grechishkin, S. Chigirinsky, M. Gusev, O. Cugat, N.M. Dempsey; ed. by B. Azzerboni, G. Asti, L. Paret, M. Ghidini. – Springer: Dordrecht, 2008. – P. 195-224. DOI: 10.1007/978-1-4020-6338-1_11.
4. **Eguzhokova, R.M.** Domennaya struktura i magnitotransportnye svoistva tonkikh plenok ferritov-granatov [Domain structure and magnetic transport properties on thin ferrite-garnet films] / R.M. Eguzhokova, A.I. Ivanova, E.M. Semenova // Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials. – 2019. – I. 11. – P. 123-128. DOI: 10.26456/pcascnn/2019.11.123. (In Russian).
5. **Vakhitov, R.M.** Structure of micromagnetic formations arising on defects in garnet-ferrite films / R.M. Vakhitov, T.B. Shapayeva, R.V. Solonetskiy, A.R. Yumaguzin // Physics Metals and Metallography. – 2017. – V. 118. – I. 6. – P. 541-545. DOI: 10.1134/S0031918X17040111.
6. **Dubinko, S.V.** Features of the coercivity of strained epitaxial garnet ferrite films / S.V. Dubinko, A.S. Nedviga, V.G. Vishnevskii, et al. // Technical Physics Letters. – 2005. – V. 31. – I. 11. – P. 979-981. DOI: <https://doi.org/10.1134/1.2136971>.
7. **Dudorov, V.N.** Synthesis and physical properties of single-crystal films of rare-earth iron garnets / V.N. Dudorov, V.V. Randoshkin, R.V. Telesnin // Soviet Physics Uspekhi. – 1977. – V. 20. – I. 6. – P. 505-527. DOI: 10.1070/PU1977v02n06ABEH005406.
8. **Ivanova, A.I.** Specific features of magnetic domain structure in epitaxial magneto-optical ferrite-garnet films / A.I. Ivanova, E.M. Semenova, M.K. Virchenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Functional Materials and Nanotechnologies (FM&NT 2018), 2-5 October 2018, Riga, Latvia. – 2019. – V. 503. – Art. № 012014. – 4 p. DOI: 10.1088/1757-899X/503/1/012014.
9. **Gerasimov, M.V.** Time evolution of domain-wall motion induced by nanosecond laser pulses / M.V. Gerasimov, M.V. Logunov, A.V. Spirin, Y.N. Nozdrin, I. D. Tokman // Physical Review B. – 2016. – V. 94. – P. 014434-1-014434-9. DOI: 10.1103/PhysRevB.94.014434.
10. **Atherton, D.L.** Effects of stress on magnetization / D.L. Atherton, D.C. Jiles // NDT International. – 1968. – V. 19. – I. 1. – P. 15-19. DOI: 10.1016/0308-9126(86)90135-5.

11. Broese van Groenou, A. Scratch-modified magnetic domain patterns in garnet film / A. Broese van Groenou // Applied Physics. – 1978. – V. 15. – I. 4. – P. 385-392. DOI: 10.1007/BF00886157.
12. Sort, J. Periodic arrays of micrometer and sub-micrometer magnetic structures prepared by nanoindentation of a nonmagnetic intermetallic compound / J. Sort, A. Concstell, E. Menéndez, et al. // Advanced Materials. – 2006. – V. 18. – I. 13. – P. 1717-1720. DOI: 10.1002/adma.200600260.
13. Karpenkov, A.Yu. Metod analiza protsessov peremagnichivaniya magnetikov po izobrazheniyam magnitnoi domennoi struktury [Method of analysis of the reversal magnetization processes using magnetic domain structure images] / A.Yu. Karpenkov, G.G. Dunaeva, P.A. Rakunov et al. // Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials. – 2018. – I. 10. – P. 338-344. DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.338. (In Russian).

Original paper

INFLUENCE OF DEFECTS ON MAGNETIC CHARACTERISTICS OF FERRITE-GARNET FILMS

A.I. Ivanova¹, E.M. Semenova¹, G.G. Dunaeva¹, S.V. Ovcharenko², S.A. Tretyakov¹, A.D. Zigert¹

¹*Tver State University, Tver, Russia*

²*MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.103

Abstract: This paper presents a study of the effect of volumetric (bulk) defects associated with the local mechanical damage and thermal laser action on the domain structure and magnetic characteristics of epitaxial bismuth-containing garnet-ferrite Bi:FG magnetic films. It was found that uniaxial Bi:FG films are resistant to bulk defects, the size of which does not exceed the width of the film domains. It is shown that the considered bulk film defects affect the process of the film magnetization, the form of the magnetization curves, the magnitude of the coercive force and the ratio of the displacement field to the coercive force. Effect of femtosecond laser pulses exposure with a power density of 800 J/cm² on the coercivity of film was found. The 4-fold increase of the coercive field near a defect is discovered (from 0,33 Oe to 1,44 Oe).

Keywords: *magnetic films, ferrite garnets, bulk defects, domain structure, coercivity.*

Иванова Александра Ивановна – к.ф.-м.н., доцент кафедры прикладной физики ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Семенова Елена Михайловна – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Дунаева Галина Григорьевна – магистрант кафедры физики конденсированного состояния ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Овчаренко Сергей Вадимович – аспирант кафедры наноэлектроники ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»

Третьяков Сергей Андреевич – к.ф.-м.н., старший преподаватель кафедры прикладной физики ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Зигерт Александр Дмитриевич – ассистент кафедры прикладной физики ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Alexandra I. Ivanova – Ph. D., Docent of the Applied Physic Department, Tver State University

Elena M. Semenova – Ph. D., Docent of the Condensed Matter Physic Department, Tver State University

Galina G. Dunaeva – Master of Science, Condensed Matter Physic Department, Tver State University

Sergey V. Ovcharenko – postgraduate student of Department of Nanoelectronics of MIREA – Russian Technological University

Sergey A. Tretyakov – Ph. D., Senior Lecturer of the Applied Physic Department, Tver State University

Alexandr D. Zigert – Assistant of the Applied Physic Department, Tver State University

Поступила в редакцию/received: 5.04.2020; после рецензирования/revised: 6.05.2020; принятa/accepted 20.05.2020.