

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ BRIEF REPORTS

УДК 621.723

DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-6-596-601

Магнитно-силовая микроскопия доменной структуры феррит-гранатовых пленок – носителей терромагнитной записи

*Ю.Е. Высоких¹, С.Ю. Краснобородько¹, В.И. Шевяков¹, В.Н. Бержанский²,
Т.В. Михайлова², А.Н. Шапошников², А.Р. Прокопов², А.С. Недвига²*

¹*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, Россия*

²*Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,
г. Симферополь, Республика Крым, Россия*

shev@dsd.miee.ru

Терромагнитная запись на тонкие пленки в настоящее время – один из наиболее перспективных методов для копирования записей с высокой плотностью и слабой остаточной намагниченностью, например в криминалистике. Технология терромагнитной записи востребована для повышения плотности записи информации. По оценкам специалистов, терромагнитная запись позволит достичь плотности записи до 10 Тбит на 1 квадратный дюйм. Ведется интенсивный поиск эффективных материалов для создания носителей терромагнитной записи.

Представлены результаты исследования доменной структуры синтезированных методом жидкофазной эпитаксии высококоэрцитивных феррит-гранатовых пленок с низкой температурой Кюри в качестве носителей терромагнитной записи. Скопированная на феррит-гранатовую пленку доменная структура флоппи-диска персонального компьютера исследована методом магнитно-силовой микроскопии. Показано, что разрешение при терромагнитной записи на феррит-гранатовую пленку ограничено сетью дефектов в кристалле и связанными с ней структурой и морфологией поверхности и обусловлено, в первую очередь, параметрами рассогласования решеток пленки и подложки.

Полученные результаты показывают, что высококоэрцитивные феррит-гранатовые пленки с низкой температурой Кюри могут быть применены в качестве носителей терромагнитной записи.

Ключевые слова: доменная структура; феррит-гранатовые пленки; терромагнитная запись; магнитно-силовая микроскопия.

Для цитирования: Магнитно-силовая микроскопия доменной структуры феррит-гранатовых пленок – носителей терромагнитной записи / Ю.Е. Высоких, С.Ю. Краснобородько, В.И. Шевяков и др. // Изв. вузов. Электроника. – 2017. – Т. 22. – № 6. – С. 596–601. DOI: 10.214151/1561-5405-2017-22-6-596-601

Magnetic Force Microscopy of Domain Structure of Ferrite-Garnet Thin Films – Carriers of Thermomagnetic Recording

*Yu.E. Vysokikh¹, S.Yu. Krasnoborodko¹, V.I. Shevyakov¹, V.N. Berzhansky²,
T.V. Mikhailova², A.N. Shaposhnikov², A.R. Prokopov³, A.S. Nedviga²*

¹*National Research University of Electronic Technology, Moscow, Russia*

²*V.I.Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia*

shev@dsd.miee.ru

The thermomagnetic recording on thin films is currently one of the most perspective methods for copying records with high density and weak residual magnetization, for example, in forensics. The technology of thermomagnetic recording is in demand to increase the information recording density of up to 10 Tbit per 1 square inch. An intensive search for the most effective materials to create the carriers of thermomagnetic recording is being performed.

The results of studying the domain structure of the high-coercive ferrite-garnet films, synthesized by liquid-phase epitaxy with low Curie temperature as the carriers of thermomagnetic recording, have been presented. The domain structure of the PC floppy disk has been copied onto the ferrite-garnet film and has been studied by method of the magnetic force microscopy. It has been shown that the resolution for thermomagnetic recording on the ferrite-garnet film is limited by a network of defects in the crystal, by the structure and morphology of the surface, connected with it, and by the mismatch parameters of the substrate-film lattices.

The obtained results demonstrate that the high-coercive ferrite-garnet films with low Curie temperature can be applied as the carriers of thermomagnetic recording.

Keywords: domain structure; ferrite-garnet films; thermomagnetic recording; magnetic force microscopy.

For citation: Magnetic force microscopy of domain structure of ferrite-garnet thin films – carriers of thermomagnetic recording / Yu.E. Vysokikh, S.Yu. Krasnoborodko, V.I. Shevyakov et al. // Proc. of Universities. Electronics. – 2017. – Vol. 22. – № 6. – P. 596–601. DOI: 10.21415/1561-5405-2017-22-6-596-601

Термомагнитная запись на тонкие пленки в настоящее время является одним из наиболее перспективных методов для копирования записей с высокой плотностью и слабой остаточной намагниченностью, например, в криминалистике. В последнее время для повышения плотности записи на жесткий диск в компьютере рассматривается использование термомагнитной записи (HAMR – Heat Assisted Magnetic Recording) [1, 2, 3]. Это магнитная запись, при которой одно-временное воздействие теплового и магнитного полей на носитель записи приводит к изменению его магнитного состояния в соответствии с сигналом записываемой информации, передаваемой носителю тепловым полем [2]. Для термомагнитной записи используются материалы с высокой коэрцитивной силой, что обеспечивает высокую стабильность записанных участков. При повышении температуры участка – носителя записи происходит существенное изменение его магнитных свойств. В результате нагретые участки перемагничиваются при воздействии внешнего магнитного поля. Пленки-носители термомагнитной записи для копирования записей с высокой плотностью и слабой остаточной намагниченностью могут использоваться и в других областях, например, в качестве ловушек для ультрахолодных нейтральных атомов и др. В настоящее время интенсивно ведется поиск эффективных материалов для создания носителей термомагнитной записи [4].

В настоящей работе приведены результаты исследования возможности использования феррит-гранатовых пленок в качестве носителей термомагнитной записи. Разработаны высоко-

коэрцитивные пленки с низкой температурой Кюри. Пленки номинального состава $(\text{SmLuBi})_3(\text{FeGaAlSc})_5\text{O}_{12}$ синтезированы методом жидкофазной эпитаксии на кристаллической подложке гадолиний-галлиевого граната (GGG) с кристаллографической ориентацией (111). Увеличение рассогласования между кристаллическими решетками пленки и подложки, обусловленное ионами Bi^{+3} , а также включение ионов Sm^{+3} в состав пленок приводят к существенному увеличению коэрцитивности пленки. Добавление диамагнитных ионов Al^{+3} , Ga^{+3} и Sc^{+3} позволяет значительно снизить температуру Кюри пленки [5]. Для экспериментов выбраны следующие параметры пленки: толщина $h = 2,5$ мкм, температура Кюри $T_C = 70^\circ\text{C}$, коэрцитивность $H_c = 62$ Э, поле насыщения $H_s = 280$ Э, рассогласование параметров решетки пленки и подложки $0,087 \text{ \AA}$, шероховатость поверхности 5 нм. Низкая степень шероховатости феррит-гранатовой пленки позволяет обеспечить равномерный контакт с носителем информации (магнитной дискетой) и исключить неравномерность распределения магнитного поля.

Первоначально методами атомно-силовой (АСМ) и магнитно-силовой (МСМ) микроскопии исследовали топографию и собственную магнитную доменную структуру синтезированных феррит-гранатовых пленок. Для этого использовали сканирующий зондовый микроскоп Интегра ЗАО (НТ-МДТ). Исходная доменная структура и топография пленки показаны на рис.1.

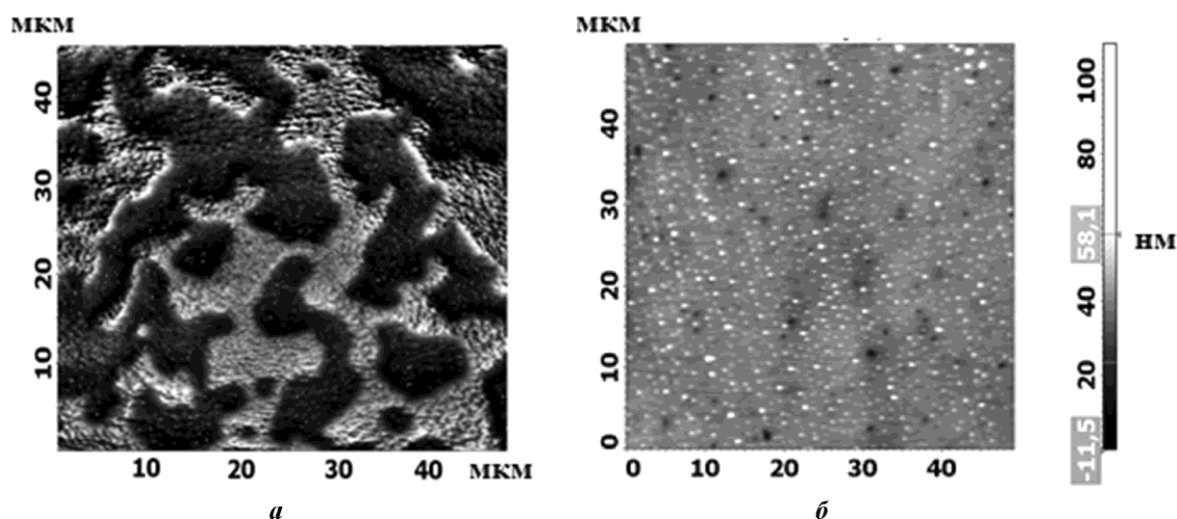


Рис.1. МСМ-изображение (а) и АСМ-изображение (б) пленки феррит-граната (приведены изображения одной и той же области)

Fig.1. MFM (a) and AFM (b) images of a ferrite garnet thin film

Осуществлялась термомагнитная запись доменной структуры флоппи-диска (дискеты 3,5") на пленку феррит-граната. Ее размещали на рабочей поверхности дискеты и нагревали до 100°C . Дискету и пленку охлаждали в контакте друг с другом до температуры окружающей среды. Доменная структура дискеты приведена на рис.2,а. Как уже отмечалось, при термомагнитной записи процесс формирования индуцированной доменной структуры в магнитной пленке происходит благодаря действию магнитного поля исследуемого образца (в рассматриваемом случае – флоппи-диска). В результате индуцированная доменная структура феррит-гранатовой пленки копирует магнитную информацию, записанную на флоппи-диск, как это продемонстрировано на рис.2,б. Детальный анализ доменной структуры феррит-гранатовых пленок после записи показал, что результат термомагнитной записи зависит не только от магнитного поля флоппи-диска, но и от особенностей морфологии пленок и дефектов в них. Выявлено, что записанная доменная структура имеет несколько размытые границы доменов по сравнению с исходной доменной структурой (см. рис.2,б). Данное обстоятельство, вероятно, связано с наличием сети дислокаций несоответствия, возникающих в процессе эпитаксиального роста феррит-гранатовых пленок из-за рассогласования параметров решеток пленки и подложки.

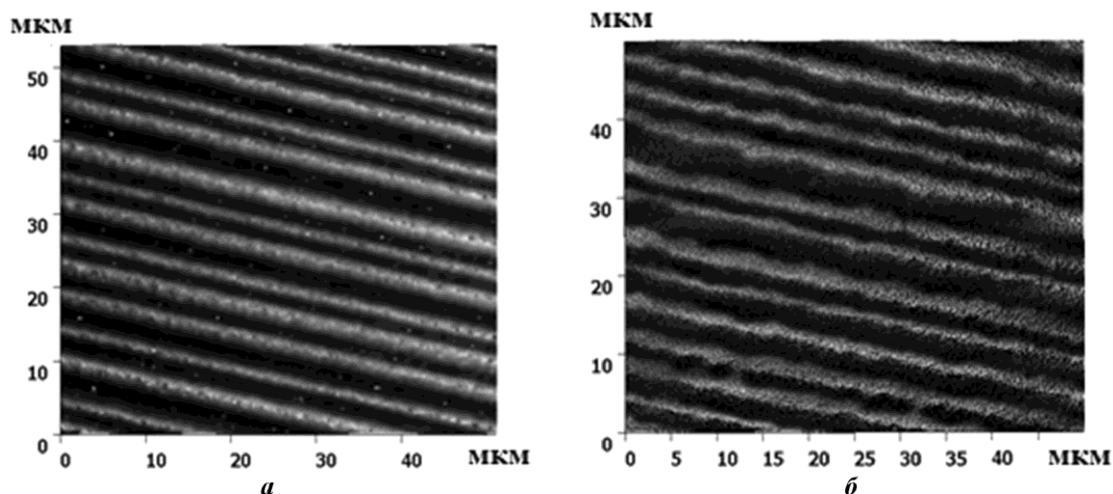


Рис.2. MCM-изображения поверхности дискеты (а) и пленки феррит-граната (б)
Fig.2. MFM images of the surface of the floppy disk (a) and ferrite garnet thin film (b)

Процесс записи идет через сегменты, свободные от дислокаций. Как отмечено в [6], сформированная сеть дислокаций в магнитных пленках при термомагнитной записи ограничивает размер сегментов до размеров 1–3 мкм. Согласно полученным результатам определено, что отклонение формы регистрируемых границ доменной структуры в феррит-гранатовой пленке от оригинальной доменной структуры флорпи-диска составляет $\pm 0,4$ мкм.

Поскольку дискета в некоторых областях не имела доменной структуры (отсутствовала запись), то после термомагнитного копирования в данных областях феррит-гранатовая пленка проявляла свою собственную доменную структуру со средним периодом 6,4 мкм. Граница между двумя типами доменной структуры пленки показана на рис.3.

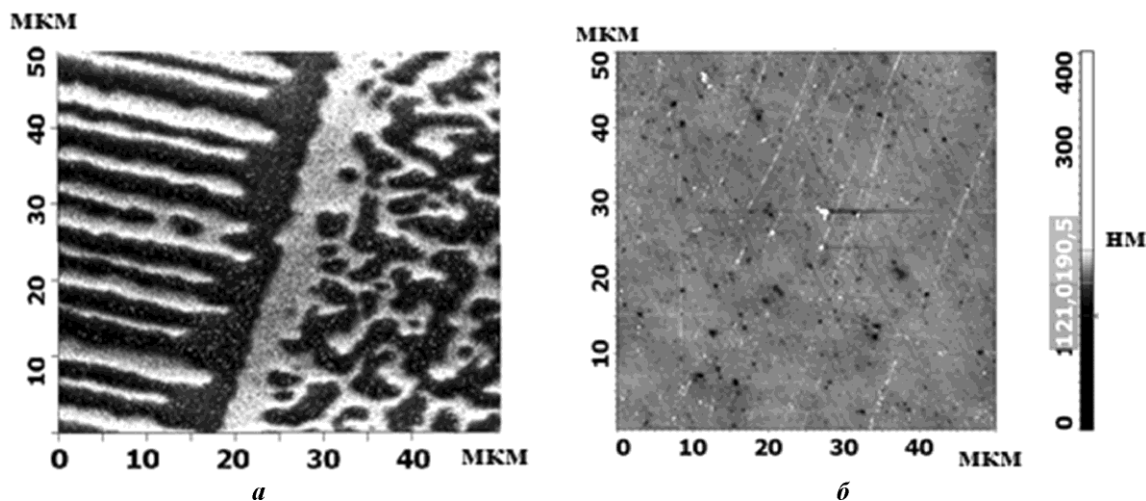


Рис.3. MCM-изображение границы между двумя типами доменной структуры в пленке феррит-граната (записанная область пленки слева и собственная область пленки справа) (а) и АСМ-изображение той же области (б)
Fig.3. The MFM image of the boundary between two types of domain structure in the ferrite-garnet film (the recorded region on the left and original domain structure of the film on the right) (a) and the AFM image of the same region (b)

Таким образом, в результате исследования методами АСМ и МСМ процесса термомагнитной записи информации на высококоэрцитивную эпитаксиальную феррит-гранатовую пленку с низкой температурой Кюри показано, что точность копирования информации определяется се-

тью дефектов эпитаксиального кристалла и связанными с ними структурой и морфологией поверхности пленки. Для повышения точности копирования необходима оптимизация параметра рассогласования кристаллической решетки пленки и подложки, которая будет способствовать, с одной стороны, созданию высококоэрцитивного состояния пленки, а с другой – возникновению дефектов, связанных с дислокациями несоответствия.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № 3.7126.2017/8.9).

Литература

1. Соколовский А., Митягин А., Хлопов Б. Перспективы развития устройств хранения информации на магнитных носителях // Информационно-аналитический бюллетень МГТУ. – 2008. – Вып. 1. – С. 212–217.
2. Грошев А.С., Закляков П.В. Информатика. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 588 с.
3. A HAMR media technology roadmap to an areal density of 4 Tb/in² / D. Weller, G. Parker, O. Mosendz et al. // IEEE Trans. Magn. – 2014. – Vol 50.
4. Середкин В.А., Столяр С.В., Фролов Г.И., Яковчук В.Ю. Термомангнитная запись и стирание информации в пленочных структурах // Письма в ЖТФ. – 2004. – Т.30. – № 19. – С. 46–52.
5. Nano- and micro-scale Bi-substituted iron garnet films for photonics and magneto-optic eddy current defectoscopy / V.N. Berzhansky, A.V. Karavainikov, T.V. Mikhailova et al. // J. of Magnetism and Magnetic Materials. – 2017. – Vol. 440. – P. 175–178.
6. Berzhansky V.N., Danishevskaya Y.V., Nedviga A.S., Milyukova H.T. High-coercive garnet films for thermomagnetic recording // J.Phys.Conf.Ser. – 2016. – Vol. 741. – № 1. – Article number 012187.

Поступило 10.07.2017 г.; принято к публикации 12.09.2017 г.

Высоких Юрий Евгеньевич – младший научный сотрудник кафедры интегральной электроники и микросистем Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), visokihy@gmail.com

Красноборода Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры интегральной электроники и микросистем Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), sergzelenograd@mail.ru

Шевяков Василий Иванович – доктор технических наук, главный научный сотрудник кафедры интегральной электроники и микросистем Национального исследовательского университета «МИЭТ» (Россия, 124498, г. Москва, г. Зеленоград, пл. Шокина, д.1), shev@dsd.miee.ru

Бержанский Владимир Наумович – доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой экспериментальной физики Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т акад. Вернадского, 4), v.n.berzhansky@cfuv.ru

Михайлова Татьяна Владиславовна – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т акад. Вернадского, 4), taciamiche@gmail.com

Шапошников Александр Николаевич – кандидат физико-математических наук, директор Научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т акад. Вернадского, 4), shalex53@gmail.com

Прокопов Анатолий Романович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т акад. Вернадского, 4), a.prokopov@cfuv.ru

Недвиг Александр Степанович – ведущий инженер Научно-исследовательского центра функциональных материалов и нанотехнологий Физико-технического института Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского (Россия, 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т акад. Вернадского, 4), a.nedviga@cfuv.ru

References

1. Sokolovskij A., Mityagin A., Hlopov B. Perspektivy razvitiya ustroystv hraneniya informacii na magnitnyh nositelyah [Prospects for the Development of Information Storage Devices on Magnetic Media]. *«Informacionno-analiticheskij byulleten'» MGGU – «Information and Analytical Bulletin» of MMSU*, 2008, iss. 1, pp. 212–217. (in Russian).
2. Groshev A.S., Zaklyakov P.V. *Informatika* [Computer science]. Moscow, DMK Press Publ., 2015. 588 p. (in Russian).
3. Weller D., Parker G., Mosendz O., Champion E., Stipe B., Wang X., Klemmer T., Ju G., Ajan A. A HAMR media technology roadmap to an areal density of 4 Tb/in². *IEEE Trans. Magn.*, 2014, vol 50.
4. Seredkin V.A., Stolyar S.V., Frolov G.I., Yakovchuk V.Yu. Termomagnitnaya zapis' i stiranje informacii v plenochnyh strukturah [Thermomagnetic recording and erasure of information in film structures.]. *Pis'ma v ZHTF – Letters to the Journal of Technical Physics*, 2004, vol. 30, no. 19, pp. 46–52. (in Russian).
5. Berzhansky V.N., Karavainikov A.V., Mikhailova T.V., Prokopov A.R., Shaposhnikov A.N., Shumilov A.G., Logovskoy N.V., Semuk E.Yu., Kharchenko M.F., Lukienko L.M., Kharchenko Yu.M., Belotelov V.I. Nano- and micro-scale Bi-substituted iron garnet films for photonics and magneto-optic eddy current defectoscopy. *J. of Magnetism and Magnetic Materials*, 2017, vol. 440, pp. 175–178.
6. Berzhansky V.N., Danishevskaya Y.V., Nedviga A.S., Milyukova H.T. High-coercive garnet films for thermomagnetic recording. *J. Phys. Conf. Ser.*, 2016, vol. 741, no. 1, article number 012187.

Submitted 10.07.2017; accepted 12.09.2017.

Vysokikh Yury E. – junior scientific researcher of the Integrated Electronics and Microsystems Department, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), visokiy@gmail.com

Krasnoborodko Sergey Yu. – Cand. Sci. (Eng.), scientific researcher of the Integrated Electronics and Microsystems Department, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), sergzelenograd@mail.ru

Shevyakov Vasily I. – Dr. Sci. (Eng.), chief scientific officer of the Integrated Electronics and Microsystems Department, National Research University of Electronic Technology (Russia, 124498, Moscow, Zelenograd, Shokin sq., 1), shev@dsd.miee.ru

Berzhansky Vladimir N. – Dr. Sci. (Phys.-Math.), head of the Experimental Physics Department of Physics and Technology Institute of V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Vernadskogo Prospekt, 4), v.n.berzhansky@cfuv.ru

Mikhailova Tatyana V. – Cand. Sci. (Phys.-Math.), senior researcher of Physics and Technology Institute of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Vernadskogo Prospekt, 4), taciamic@gmail.com

Shaposhnikov Alexander N. – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Director of the Research Center of Functional Materials and Nanotechnologies of the Physics and Technology Institute of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Vernadskogo Prospekt, 4), shalex53@gmail.com

Prokopov Anatoly R. – Cand. Sci. (Phys.-Math.), Leading Researcher of the Physics and Technology Institute of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Vernadskogo Prospekt, 4), a.prokopov@cfuv.ru

Nedviga Alexander S. – Leading Engineer of the Scientific and Technical Center of Physics and Technology Institute of the V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Russia, 295007, Republic of Crimea, Simferopol, Vernadskogo Prospekt, 4), a.nedviga@cfuv.ru