

МУЛЬТИФЕРРОИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ЭЛЕКТРОЛИЗНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

Хлопов Борис Васильевич,
АО "ЦНИРТИ им. академика А.И.Берга", Москва, Россия,
hlopov@yandex.ru

Чучева Галина Викторовна,
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино,
Московская обл., Россия, gvc@ms.ire.rssi.ru

Нарышкина Валентина Григорьевна,
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино,
Московская обл., Россия, 3d12898@rambler.ru

Кухарская Надежда Флавиановна,
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино,
Московская обл., Россия, nad74390@yandex.ru

Митягина Алла Борисовна,
Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники
им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино,
Московская обл., Россия, alla-mityagina@yandex.ru

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-07-00642).

Ключевые слова: мультиферроидные материалы, фазовый переход, коэрцитивная сила, тонкопленочный образец, анизотропия, электролизное химическое осаждение.

Проведены исследования свойств мультиферроидных материалов с целью возможного их использования в устройствах экстренного уничтожения информации. Характеристики материалов позволили уточнить их фазовые изменения от внешних воздействий и исследовать магнитные свойства. При рассмотрении магнитных свойств тонких пленок исследовались такие характеристики материалов как коэрцитивная сила и намагниченность насыщения, а также их зависимость от технологических условий электролизного и химического осаждения, толщины пленки, процентного состава составляющих ее элементов и микроструктуры пленки.

Информация об авторах:

Хлопов Борис Васильевич, д.т.н., начальник отдела, АО "ЦНИРТИ им. академика А.И.Берга", Москва, Россия

Чучева Галина Викторовна, д.ф.-м.н., зам. директора, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл., Россия

Нарышкина Валентина Григорьевна, старший научный сотрудник, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл., Россия

Кухарская Надежда Флавиановна, научный сотрудник, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл., Россия

Митягина Алла Борисовна, ведущий инженер, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл., Россия

Для цитирования:

Хлопов Б.В., Чучева Г.В., Нарышкина В.Г., Кухарская Н.Ф., Митягина А.Б. Мультиферроидные материалы электролизного и химического осаждения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №7. С. 9-12.

For citation:

Hlopov B.V., Chucheva G.V., Naryshkina V.G., Kukharskaya N.F., Mityagina A.B. (2017). Multiferroic materials electrolytic and chemical deposition. T-Comm, vol. 11, no.7, pp. 9-12. (in Russian)

Введение

Исследование свойств мультиферроидных материалов проведено с целью уточнения электротехнических характеристик и новых физических свойств для дальнейшего их использования при разработках устройств для экстренного стирания информации [1]. Анализ мультиферроидных материалов на основе электролизного и химического осаждения никельсодержащих, кобальтсодержащих и железосодержащих сплавов позволит уточнить магнитную восприимчивость материалов и разработать технологическое оборудование [2] для исследования магнитных свойств образцов под воздействием внешних электромагнитных полей.

Магнитные и анизотропные свойства материалов полученных электролизным

Как нетрудно было убедиться, многие тонкопленочные материалы с перпендикулярной магнитной анизотропией получают преимущественно разными способами напыления. Тем не менее, экспериментальные работы показывают, что при невакуумном формировании тонких пленок, в основном при электролизном осаждении, могут быть достигнуты сравнительно неплохие магнитные и анизотропные свойства рабочего слоя носителя, вполне подходящего для реализации перпендикулярной записи [3, 4]. Например, на магнитном диске с CoNiMnReP – рабочим слоем, полученным электролизным осаждением CoNiMnReP пленок сильно зависят от концентрации NiSO_4 .

Пределы изменения коэрцитивной силы H_c^\perp и намагниченности насыщения в зависимости от концентрации NiSO_4 соответственно равны 35.2-102 и 104-252 кА/м. Максимальное значение энергии анизотропии K_i , сравнимое с K_i для напыленных кобальт-хромовых пленок, равно $1.6 \cdot 10^2$ Дж/см³. Минимальная дисперсия осей анизотропии составляет около 12°. Для сравнения следует отметить, что напыленные пленки с перпендикулярной магнитной анизотропией из разных материалов, в том числе и кобальт-хромовые, имеют гораздо лучшую ориентацию осей анизотропии, которая важна при достижении достаточно высокой плотности записи [5]. Неплохими магнитными свойствами обладает рабочий слой, сформированный электроосаждением никеля, кобальта и железа на MgAl -основу с 4% содержанием Mg . MgAl -основа подвергалась химической обработке, в результате которой в ее поверхностном слое образовывалась пористая структура.

На такую основу и осуществлялось электроосаждение рабочего слоя. На одной из заключительных стадий рабочий слой подвергался полировке. При электроосаждении поры заполнялись магнитным материалом, при этом формировались гексагональные ячейки с центральными магнитными и периферийными немагнитными зонами. С уменьшением диаметра пор коэрцитивная сила монотонно растет. Диаметр пор около 20 нм, что соответствует коэрцитивной силе 160 кА/м при их заполнении железом. Результаты наблюдения микроструктуры CoNiP -пленок с перпендикулярной анизотропией, осажденных электролизным способом, показывают, что размеры и форма кристаллов влияют на коэрцитивную силу в перпендикулярном направлении [5, 6].

Пленки с более высокой коэрцитивной силой содержат кристаллические зерна больших размеров с упорядоченной кристаллографической структурой в виде перпендикулярно

ориентированных столбиков. Однако такая упорядоченная столбчатая структура не наблюдалась для пленок CoNiP с относительно низкой коэрцитивной силой. Анизотропия формы, а также кристаллографическая анизотропия, существенно влияют на магнитные свойства данных пленок. На начальной стадии осаждения образуются обогащенные никелем беспорядочно ориентированные кристаллиты с гранецентрированной кубической структурой. При дальнейшем осаждении формируются столбчатые кристаллиты с гексагональной плотноупакованной структурой, характерной для высококоэрцитивной среды. В то же время в пленках с низкой коэрцитивной силой наблюдаются кристаллиты с гранецентрированной кубической и гексагональной плотноупакованной структурами.

Железо-кобальтовые на алюминиевой основе пленки, полученные в результате электроосаждения, содержат железо-кобальтовые частицы, находящиеся в однофазном состоянии. В данных пленках наблюдаются поры сравнительно небольшого диаметра – около 15 нм. Пленки с 34% содержанием кобальта обладают сравнительно неплохими магнитными параметрами: коэрцитивная сила равна 216 кА/м, коэффициент прямоугловности петли гистерезиса $M_r/M_s = 0.90$. Данные пленки характеризуются сравнительно большой энергией анизотропии. По своим магнитным и анизотропным свойствам они могут служить материалом рабочего слоя носителей с перпендикулярным намагничиванием [7].

Осажденным электролизом CoNiReP -пленкам также присуща перпендикулярная магнитная анизотропия. В таких пленках наблюдаются зоны с разной степенью кристаллизации. Для них характерна сереггация микроструктуры: ферромагнитная обогащенная кобальтом фаза находится в центральной части кристаллических столбиков, окруженных немагнитной NiP -фазой. Для улучшения характеристики записи-воспроизведения в процессе электролизного осаждения на гибкой основе вначале формировался эпитаксиальный NiMoP -слой, а затем основной CoNiReP -слой. Поле анизотропии и коэрцитивная сила H_c^\perp эпитаксиального слоя зависят от концентрации NiSO_4 .

Для концентраций 0.10 и 0.06 моль/дм³ H_c^\perp соответственно равна 4 и 6.8 кА/м. Кристаллографическая структура эпитаксиального слоя является гранецентрированной кубической, а основной слой состоит из гексагональной формы с плотной упаковкой, C -оси которой ориентированы в перпендикулярном направлении к плоскости подложки. При исследовании процесса перемагничивания выявлено, что для основного слоя преобладает механизм вращения вектора намагниченности, а для эпитаксиального – механизм движения доменных границ. Меньшая коэрцитивная сила NiMoP -слоя соответствует более высокому уровню сигнала воспроизведения как для низкой, так и для высокой плотности записи вплоть до 8000 Пер/мм.

Магнитные и анизотропные свойства материалов полученных химическим осаждением

В результате выбора оптимальных условий химического осаждения кобальт-никель-фосфорных пленок с перпендикулярной анизотропией достигнута коэрцитивная сила около 120 кА/м без существенного изменения намагниченности насыщения и коэффициента прямоугловности петли гистерезиса [8]. Как показал анализ методов электронной ди-

фракции, данные пленки состоят из областей с перпендикулярно ориентированными кристаллитами и областей с существенно менее выраженной ориентацией кристаллитов. С повышением коэрцитивной силы размер кристаллитов растет. В работе [3, 9] исследовались характеристики записи-воспроизведения на носителе перпендикулярной записи с двухслойным тонкопленочным покрытием. Двухслойное (CoNiReP/NiFeP) покрытие наносилось методом электролиза на поверхность гибкого диска.

Коэрцитивная сила в перпендикулярном направлении основного слоя составляла около 96 кА/м. Изготавливались магнитные диски с разной толщиной покрытия и коэрцитивной силой магнитно-мягкого слоя NiFeP. Для записи-воспроизведения использовались массивная ферритовая головка и магнитная головка с металлическим заполнением рабочего зазора. На двухслойном носителе с большей коэрцитивной силой магнитно-мягкого слоя NiFeP с помощью ферритовой головки получен более высокий уровень сигнала воспроизведения.

Однако на этом же носителе при записи-воспроизведении магнитной головкой с металлическим заполнением рабочего зазора достигнут самый высокий уровень сигнала воспроизведения, что объясняется довольно эффективным взаимодействием магнитного поля рассеяния головки с высокопропускаемым слоем носителя.

Заключение

Исследования и анализ характеристик мультиферроидных материалов позволили раскрыть свойства материалов полученных электролизным химическим осаждением, а также процессы фазовых переходов магнитных материалов, уточнить коэрцитивную силу магнитных материалов, значение намагниченности тонких пленок магнитного материала.

Анализ результатов позволяет сделать вывод о возможности создания оборудования с магнитной системой, обеспечивающей создание магнитных полей, напряженность которых превосходит значения коэрцитивной силы мультиферридных материалов, применяемых в существующих носителях информации.

Уверены, что предложенные исследования найдут широкое применение в случаях разработки технологического оборудования в промышленных целях [10] с магнитными

системами, обеспечивающими создание магнитных полей, напряженность которых превосходит значения коэрцитивной силы материала.

Литература

1. *Хлопов Б.В., Митягин А.Ю., Фесенко М.В., Кузьминых А.С.* Малогабаритное устройство хранения магнитных носителей информации // Перспективные материалы: сборник трудов 19-й международ. конф. «Материалы с особыми физическими свойствами и магнитные системы» (Суздаль, Россия, 1-5 октября 2007 г.). М: ООО ЦП «Возрождение», 2007. С. 305-310.
2. *Хлопов Б.В., Чучева Г.В., Митягина А.Б.* Фазовые изменения мультиферроидных магнитных материалов, применяемых в системах внешней памяти // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Физика. Т.17. №1. С. 33-43.
3. *Homma T., Inoue K., Asai H., Ohruji K., Osaka T., Yarnazaki Y., Namikawa T.* Magnetic Properties and Microstructure of Electroless-Plated CoNiP Perpendicular Magnetic Recording Media // Journal of the Magnetics Society of Japan. 1991. Vol. 15. No. 2. P. 113-116.
4. *Ohnuma S., Kunimoto A., Masumoto T.* The influence of deposition conditions on the magnetic properties in PtMnSb films // IEEE Transactions on Magnetics. 1988. Vol. 24. Issue 6. P. 2551-2553.
5. *Niimura Y., Naoe M.* The dependence of magnetostriction of sputtered Co-Cr thin films on crystal structure // IEEE Transactions on Magnetics 1985. Vol. 21. Issue 5. p. 1447-1449.
6. *Maeda J., Takahashi M.* Segregated microstructure growth in sputtered Co-Cr films // IEEE Transactions on Magnetics. 1988. Vol. 24. Issue 6. P. 3012-3014.
7. *Haines W.* VSM profiling of CoCr films: A new analytical technique. IEEE Transactions on Magnetics. 1984. Vol. 20. Issue 5. Pp. 812-814.
8. *Хлопов Б.В., Фесенко М.В., Кузьминых А.С.* // Труды VII Международной конф. молодых специалистов «Новые материалы и технологии в авиационной и ракетно-космической технике». Федеральное агентство по промышленности, Федеральное космическое агентство «КОММЕТПРОМ», ИПК «Машприбор». Королев. 2008. Ч. 2. С. 61.
9. *Rirakosyan A.S., Pokrovsky V.L.* "arXiv:cond-mat/0305487v1.2003.
10. *Гуляев Ю.В., Лобанов Б.С., Митягин А.Ю., Соколовский А.А., Тимирязева М.П., Фесенко М.В., Хлопов Б.В.* Влияние внешних магнитных полей на информационную магнитную структуру современных жестких дисков // Нано- и микросистемная техника. 2010. № 11. С. 10-14.

MULTIFERROIC MATERIALS ELECTROLYTIC AND CHEMICAL DEPOSITION

Boris V. Hlopov, Central Heating Radio Engineering Research Institute, Academician A.I. Berg, Moscow, Russia, hlopovu@yandex.ru

Galina V. Chucheva, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia, 3d12898@rambler.ru

Valentina G. Naryshkina, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia, alla-mityagina@yandex.ru

Nadezhda F. Kukharskaya, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia, nad74390@yandex.ru

Alla B. Mityagina, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia, alla-mityagina@yandex.ru

Abstract

Investigations of the properties of multi-ferroid materials for the purpose of their possible use in devices for emergency information destruction have been carried out. The characteristics of the materials made it possible to refine their phase changes from external influences and to study the magnetic properties. When considering the magnetic properties of thin films, such material characteristics as coercive force and saturation magnetization, as well as their dependence on the technological conditions of electrolytic and chemical deposition, the thickness of the film, the percentage composition of its constituent elements, and the microstructure of the film were studied.

Keywords: multiferroic materials, phase transition, coercive force, thin-film sample, anisotropy, electrolytic chemical deposition.

References

1. Hlopov B.V., Mityagin A.Yu., Fesenko M.V., Kuz'minyh A.S. (2007). Compact storage of magnetic media. *International conference "Materials with special physical properties and magnetic systems": proceeding*. Moscow, pp. 305-310. (in Russian)
2. Hlopov B.V., Chucheva G.V., Mityagina A.B. (2017). Phase Changes of Multiferroic Magnetic Materials, Used in External Memory Systems. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser. Physics*, vol. 17. Issue. 1. pp. 33-43. (in Russian)
3. Homma T., Inoue K., Asai H., Ohruai K., Osaka T., Yarnazaki Y., Namikawa T. (1991). Magnetic Properties and Microstructure of Electroless-Plated CoNiP Perpendicular Magnetic Recording Media. *Journal of the Magnetics Society of Japan*, vol. 15, no, 2, pp. 113-116.
4. Ohnuma S., Kunimoto A., Masumoto T. (1988). The influence of deposition conditions on the magnetic properties in PtMnSb films. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 24. Issue 6, pp. 2551-2553.
5. Niimura Y., Naoe M. (1985). The dependence of magnetostriction of sputtered Co-Cr thin films on crystal structure. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 21. Issue 5, pp. 1447-1449.
6. Maeda J., Takahashi M. (1988). Segregated microstructure growth in sputtered Co-Cr films. *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 24. Issue 6, pp. 3012-3014.
7. Haines W. VSM profiling of CoCr films: A new analytical technique. (1984). *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 20. Issue 5, pp. 812-814.
8. Hlopov B.V., Fesenko M.V., Kuz'minyh A.S. (2008). Proceedings VII International Conf. "New materials and technologies in aviation and rocket and space technology". Federal Agency for Industry, Federal Space Agency "KOMMETPROM", IPC "Mashpribor". Korolev. Part 2. P. 61. (in Russian)
9. Rirakosyan A.S., Pokrovsky V.L. "arXiv:cond-mat/0305487v1.2003.
10. Guljaev Yu.V., Hlopov B.V., Lobanov B.S., Mityagin A.Yu., Sokolovskij A.A., Timiryazeva M.P., Fesenko M.V. (2010). The Influence of External Magnetic Fields on the Information Structure of Modern Hard Disks. *Nano-mikrosistemnaja tehnika [Nano-microsystem techn]*, no. 11, pp. 10-14. (in Russian).

Information about authors:

Boris V. Hlopov, Doctor of Techn. Sciences, Head of Department, Central Heating Radio Engineering Research Institute, Academician A.I. Berg, Moscow, Russia

Galina V. Chucheva, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Deputy Director, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia

Valentina G. Naryshkina, Senior Researcher, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia

Nadezhda F. Kukharskaya, Researcher, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia

Alla B. Mityagina, Lead Engineer, Fryazino branch of the Kotel'nikov Institute of Radioengineering and Electronics of Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia