

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МУЛЬТИФЕРРОИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ МАГНИТНОГО РЕЛЬЕФА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ВНЕШНИМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Хлопов Борис Васильевич,

АО "Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга", Москва, Россия, hlopov@yandex.ru

Бондарев Юрий Степанович,

АО "Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга", Москва, Россия

Шашурин Василий Дмитриевич,

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия, shashurin@bmstu.ru

Чучева Галина Викторовна,

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия, gvc@ms.ire.rssi

Самойлова Валерия Сергеевна,

АО "Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга", Москва, Россия, Samvalser@yandex.ru

DOI 10.24411/2072-8735-2018-10046

Ключевые слова: наночастицы, метаматериалы, нанокompозит, электромагнитное поле, полеобразующая система.

Применение новых магнитных метаматериалов и нанокompозитов, в частности, могут найти коммерческое применение уже в ближайшее время для решения одной из острых проблем последнего десятилетия – защиты от всевозрастающего уровня мощности окружающих электромагнитных излучений вследствие широкого распространения электромагнитных приборов и РЭА при промышленном производстве. Метаматериалы, как нанокompозиты, представляют собой наноструктурированную дискретную среду, периодическую по электромагнитным свойствам составляющих её элементов. К наиболее перспективным трехмерным материалам подобного типа можно отнести решетчатые упаковки микросфер кремнезема со структурой опала (опаловые матрицы), с заполнением их межсферических нанополостей кластерами различных магнитных и немагнитных материалов (кристаллитами металлов или магнитных соединений).

В опаловых матрицах, нанополости которых частично заполнены металлами, имеет место микроволновая проводимость. То есть при воздействии внешних электромагнитных полей на опаловую матрицу, наблюдается значительный электрический "отклик", который приводит, в частности,

к эффекту мультиплицирования для интегральных магнитных полей. В ЦНИТИ "Техномаш" разработаны и созданы опытные варианты технологических процессов получения некоторых метаматериалов.

Полученные метаматериалы обладают термостойкостью до 900^оС, отклонениями от монодисперсности для диаметров наносфер менее 4% в диапазоне 190-350 нм, повышенной механической прочностью и химической устойчивостью, что позволило изготовить и исследовать нанокompозиты на основе решетчатых упаковок микросфер кремнезема с эффективными заданными значениями диэлектрической или магнитной проницаемостями. Межсферические нанополости образцов опаловых матриц частично заполнены кластерами (кристаллитами) следующих составов: титанат железа FeTi₂O₅; феррит состава Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe₂O₄; Ni₃Fe; смесь кристаллических фаз Ni₃Fe + Co + Ni; Co + Ni; Fe; Ni₃Fe + рентгеноаморфные фазы; Ni₂Fe₃; Co + Pd; Ni + FePd₃ + рентгеноаморфные фазы. Целью работы сотрудников АО "ЦНИТИ имени академика А.И.Берга" являлась исследование электрических и магнитных свойств указанных нанокompозитов и влияния на них электромагнитных полей.

Информация об авторах:

Хлопов Борис Васильевич, д.т.н., начальник отдела, АО "Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга", Москва, Россия

Бондарев Юрий Степанович, д.воен.н., заместитель генерального директора, АО "Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга", Москва, Россия

Шашурин Василий Дмитриевич, д.т.н., профессор. Зав. Кафедрой "Технологии приборостроения", МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Чучева Галина Викторовна, д.ф.-м.н., заместитель директора по научной работе, ученый секретарь, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. академика В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия

Самойлова Валерия Сергеевна, АО "Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт им. академика А.И. Берга", Москва, Россия

Для цитирования:

Хлопов Б.В., Бондарев Ю.С., Шашурин В.Д., Чучева Г.В., Самойлова В.С. Автоматизированное технологическое оборудование для визуального контроля технического состояния мультиферроидных материалов и их магнитного рельефа при облучении внешними электромагнитными полями // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2018. Том 12. №3. С. 4-8.

For citation:

Hlopov B.V., Bondarev Yu.S., Shashurin V.D., Chucheva G.V., Samoylova V.S. (2018). Automated technological equipment for visual control of the technical condition of multiferroic materials and their magnetic relief in irradiation by external electromagnetic fields. T-Comm, vol. 12, no.3, pp. 4-8. (in Russian)

Нанокompозиты на основе опаловых матриц

До введения в межсферические нанополости наночастиц, опаловая матрица представляет собой плотно упакованную периодическую структуру субмикронных сфер SiO₂ – другими словами решетчатую упаковку микросфер, чьи тетраэдрические и октаэдрические полости, образованные контактирующими микросферами не заполнены. Получены 3D правильные упаковки наносфер SiO₂ объемом >15 см³ с размерами монодоменных областей до 0,1 мм³, Δd<4% [1].

На основе опаловых матриц разработаны композитные метаматериалы, содержащих в межсферических полостях кластеры металлов (Ni, Fe) и их соединений [2], различные электрически-, оптически- или магнитоактивные вещества. Такие образцы нанокompозитов получают при различных условиях пропитки, высокотемпературной термообработки (на воздухе или в водороде), что приводит к формированию в них различной концентрации кристаллических фаз сплавов и оксидов металлов (рис. 1) [3].

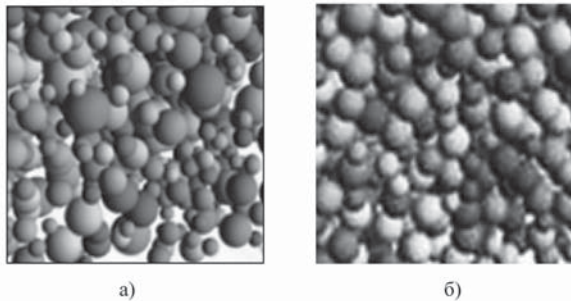


Рис. 1. Пример синтезированной полидисперсной структуры нанокompозита с различными включениями объемной концентрации: а) 0,25%; б) 0,4%

Контроль магнитного рельефа при облучении внешними электромагнитными полями мультиферроидных материалов (нанокompозитов на основе опаловых матриц)

Необходимость в измерении параметров импульсных магнитных полей в реальном масштабе времени, непосредственно в объеме образца метаматериала, особенно становится актуальной задачей при создании структурированных управляемых приборов из метаматериалов для изделий РЭА. Экстренность подтверждения параметров управляющей поверхности пластины образца определяет возможное однократное воздействие с минимальной длительностью и полностью исключает возможность произвести повторное воздействие импульсным магнитным полем на образец материала. Эта задача решается в предложенном устройстве.

Рассматриваемый визуальный метод контроля технического состояния магнитного мультиферроидного образца, реализуемый в описанном [4, 5] устройстве, решает задачи определения состояния и технических характеристик магнитного рельефа испытуемого образца в широком диапазоне частот при внешнем воздействии импульсного магнитного поля, с одновременным контролем технического состояния контролируемого магнитного информационного слоя, по всей управляющей поверхности пластины образца. Структурная схема малогабаритного устройства определения рельефа магнитных полей мультиферроидных материалов

представлена на рис. 2. Полеобразующая система, представленная на рис. 3, имеет внутреннюю полость в форме параллелепипеда.

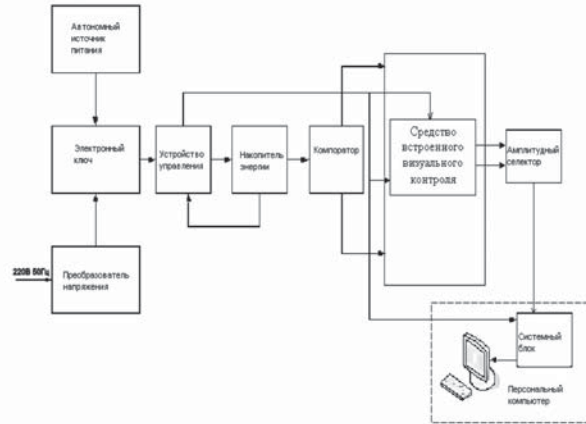


Рис. 2. Структурная схема устройства определения рельефа магнитных полей мультиферроидных материалов со встроенным визуальным контролем

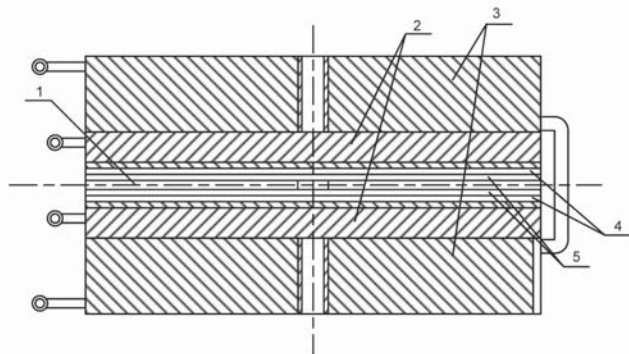


Рис. 3. Полеобразующая система: 1 – образец мультиферроидных материалов; 2 – соленоид; 3 – соленоид; 4 – матричные преобразователи магнитных полей; 5 – магниточувствительные пленки

На каждой стороне в полости полеобразующей системы размещено по матричному преобразователю магнитных полей с магниточувствительными пленками. Соленоид 2 полеобразующей системы выполнен из двух катушек в форме цилиндров с высотой много меньше их диаметров. Эти катушки размещены соосно. Расстояние между катушками равно или больше размера узкой стенки катушки первого соленоида. Устройство управления последовательно подключает первый матричный преобразователь магнитных полей, а в нем последовательно через адресные шины подключает магнитотриоды и через амплитудный селектор к входу системного блока персонального компьютера (рис. 1). Персональный компьютер используют при проведении визуальной проверки рельефа магнитного поля мультиферроидного материала на управляющей поверхности пластины образца и одновременно контроля возможного изменения структуры материала и его технических характеристик (рис. 3). При этом, одновременно, системный блок персонального компьютера

ЭЛЕКТРОНИКА. РАДИОТЕХНИКА

осуществляет синхронную развертку луча на экране монитора, яркость светового пятна которого регулируется с помощью амплитудного селектора. Оптическое изображение на экране монитора соответствует магнитному рельефу на управляющей поверхности пластины образца мультиферроидного материала и выходной магниточувствительной пленки на тонкопленочной магнитной пластине полеобразующей системе [6]. На рисунке 4 можно увидеть полученную с помощью прибора сигналограмму и матрицу магнитного рельефа поверхности на экране монитора рабочего компьютера. Наряду с двумерным изображением рельефа магнитной сигналограммы исследуемых образцов приводятся и амплитудные характеристики сигнала.

Учитывая, что внешние электромагнитные поля в реальных условиях меняют свое направление совершенно независимо от образцов, разработан и предложен процесс формирования в управляемой магнитной системе изменяющихся магнитных полей.

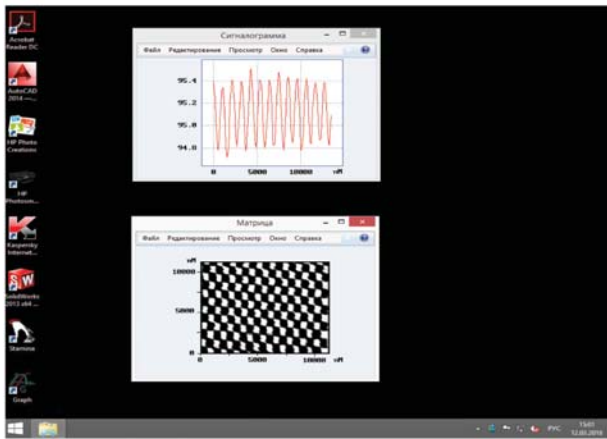


Рис. 4. Экран монитора с сигналограммой и матрицей магнитного рельефа

Магнитная система с переменным магнитным полем [7, 8] с помощью устройств управления обеспечивает технологический процесс взаимодействия одновременно изменяющихся импульсных магнитных полей в пространстве размещения образца мультиферроидного материала.

Суммарное переменное магнитное поле создано с помощью двух переменных изменяющихся по частоте и амплитуде магнитных полей, с разными значениями напряженности и направлениями векторов. Управляемая магнитная система (рис. 5) состоит из шести жестко связанных соленоидов, каждый из которых создает импульсное магнитное поле.

Вектор первого переменного синусоидального магнитного поля изменяет свое направление, принимая значения с 90° на 270° с частотой ω перпендикулярно продольной оси плоскости подложки с максимальным значением напряженности магнитного поля не менее 450 кА/м . Данное магнитное поле создается последовательно включенными соленоидами 3 и 4. Вектор второго переменного синусоидального поля изменяет свое направление, принимая значения 180° на 360° , с частотой, значение которой лежит в пределах от 2ω до 4ω . Вектора магнитных полей взаимно перпендикулярны.

Оно образовано соленоидом 2, из последовательно соединенных соленоидов 6 и 7.

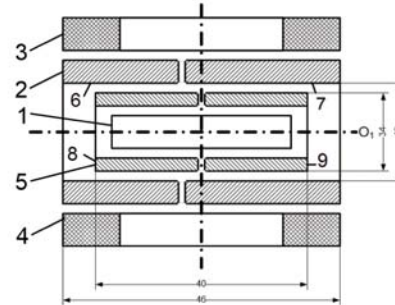


Рис. 5. Взаимное размещение соленоидов (2-9) и образца мультиферроидного материала (1)

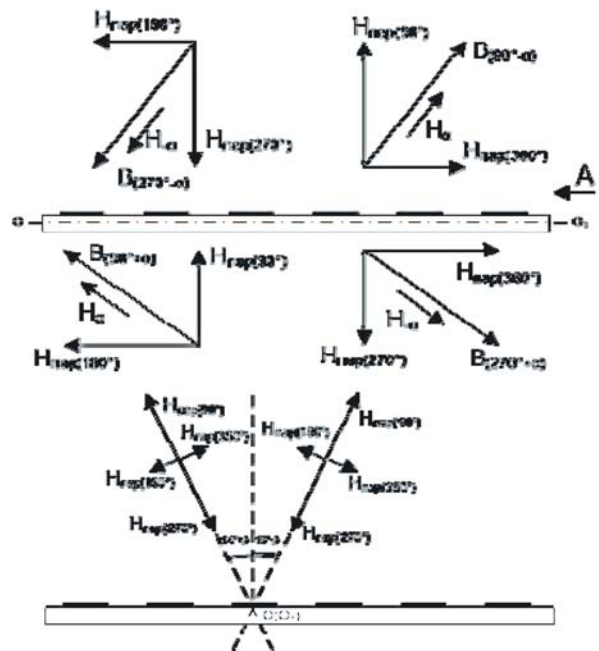


Рис. 6. Ориентация векторов магнитных полей и их сумм, создаваемых в магнитной системе

При одновременном воздействии переменные затухающие магнитные поля, с изменяющимися направлениями векторов, складываются, образуя затухающее магнитное поле с вращающимся вектором напряженности с углом α (рис. 6), значение которого изменяется по закону сложения магнитных полей.

Суммарное переменное магнитное поле, образованное соленоидами 2, 3, 4, воздействуя на третий контур - соленоид 5, состоящий из соленоидов 8 и 9, создает в нем переменное поле индукции. Данный метод используется также для стирания информации с носителей.

Заключение

В работе описаны новые перспективные идеи построения приборов из метаматериалов для изделий РЭА. Приведены разработанная схема устройства для исследования ключевых параметров мультиферроидных материалов, методики создания магнитных полей с изменяющимися направлениями векторов и определения магнитного рельефа поверхности нанокompозитов на основе опаловых матриц при облучении внешними электромагнитными полями. Метод обеспечивает исследование магнитных структур с субмикронным пространственным разрешением до 10 мкм и высокую амплитудную чувствительность при регистрации слабых магнитных рельефов.

Рассматриваемая схема позволяет быстро определить свойства и структуру мультиферроидных материалов, чтобы установить пригодность их использования для поставленных целей. Например, в системах обладающих маскировочными функциями. Это может позволить улучшить их технические характеристики, а именно, предоставить возможность увеличить мощность передающих устройств, а, следовательно, и максимальную дальность обнаружения источника излучения, а также уменьшить длительность высокочастотного импульса, а, следовательно, повысить разрешающие способности системы.

Литература

1. *Самойлович М.И., Ринкевич А.Б., Белянин А.Ф., Пащенко П.В.* 3D-нанокompозиты – опаловые матрицы с включениями металлического Со и слоистые структуры «опаловая матрица – Со/Ir» // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2011. №1-2. С.53-59.
2. *Хлопов Б.В., Бондарев Ю.С., Шашурин В.Д., Чучева Г.В.* Воздействие на нанокompозитные материалы электромагнитным полем // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2017. Том 11. №5. С. 4-8.
3. *Silberschmidt V.V. and Matveenko V.P.* Mechanics of Advanced Materials // Springer International Publishing Switzerland. 2015. 199 с.
4. *Хлопов Б.В.* Исследование НЖМД методом визуализации и уточнение условий надежного стирания информации с магнитных носителей // Известия института инженерной физики, 2013. Т. 1. № 27. С. 5-15.
5. *Хлопов Б.В.* Оборудование для изменения магнитного состояния тонкопленочного слоя магнитного носителя информации // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт, 2012. №3. С. 56-60.
6. *Хлопов Б. В., Лобанов Б. С., Бондарев Ю. С. и др.* Средство визуального контроля стирания информации с магнитного носителей для размещения в бортовой аппаратуре / Труды XVII Международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь» (RLNC – 2011), (Воронеж). Том 1. С. 630-638.
7. *Хлопов Б.В.* Исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков при воздействии внешнего постоянного магнитного поля // Электронный Журнал Труды МАИ, 2012. № 57. С. 322-327.
8. *Хлопов Б.В.* Исследования магнитных свойств тонкопленочных материалов современных жестких магнитных дисков при воздействии внешнего импульсного магнитного поля // Электронный Журнал Труды МАИ, 2012. № 57. С. 316-321.

AUTOMATED TECHNOLOGICAL EQUIPMENT FOR VISUAL CONTROL OF THE TECHNICAL CONDITION OF MULTIFERHERIC MATERIALS AND THEIR MAGNETIC RELIEF IN IRRADIATION BY EXTERNAL ELECTROMAGNETIC FIELDS

Boris V. Hlopov, JSC "CNIRTI named after academician A.I. Berg", Russian Federation, Moscow, Russia, hlopovu@yandex.ru

Yuriy S. Bondarev S., JSC "CNIRTI named after academician A.I. Berg", Russian Federation, Moscow, Russia

Vasily D. Shashurin, MGTU of N.E. Bauman, Moscow, Russia, shashurin@bmstu.ru

Galina V. Chucheva, Fryazino branch of Institute of Radioengineering and electronics. Academician V. A. Kotelnikov of the Russian Academy of Sciences, Fryazino, Russia, gvc@ms.ire.rssi.ru

Valeria S. Samoylova, JSC Central Research Radio Engineering Institute of the Academician A.I. Berg, Moscow, Russia, Samvalser@yandex.ru

Abstract

New magnetic metamaterials and nanocomposites can find commercial application in the near future to solve one of the acute problems of the last decade – protection from the increasing power level of ambient electromagnetic radiation due to the wide spread of electromagnetic devices and REA in industrial production. Metamaterials (nanocomposites) are a nanostructured discrete medium where their constituent elements are periodic by electromagnetic properties. The most promising three-dimensional materials of this type are lattice packets of silica microspheres with an opal structure (opal matrices) with interspher nanocavities filled with clusters of various magnetic and nonmagnetic materials (crystallites of metals or magnetic compounds). In opal matrices, partially filled with metals, there is microwave conductivity. That is, when external electromagnetic fields are applied to the opal matrix, a significant electrical "response" is observed, which leads to the multiplication effect for integral magnetic fields. Experimental variants of technological processes for the production of certain metamaterials developed and created at TsNITI "Technomash". This metamaterials have a thermal resistance up to 900°C, deviations from monodispersion for nanosphere diameters of less than 4% in the range 190-350 nm, increased mechanical strength and chemical stability, which allowed to fabricate and study nanocomposites based on lattice packages of silica microspheres with effective values of dielectric or magnetic permeabilities. Interspher nanocavities of samples of opal matrices are partially filled with clusters (crystallites) of the following compositions: iron titanate FeTi_2O_5 ; ferrite of composition $\text{Ni}_0.5\text{Zn}_0.5\text{Fe}_2\text{O}_4$; Ni_3Fe ; a mixture of crystalline phases of $\text{Ni}_3\text{Fe} + \text{Co} + \text{Ni}$; $\text{Co} + \text{Ni}$; Fe ; $\text{Ni}_3\text{Fe} + \text{X}$ -ray amorphous phases; Ni_2Fe_3 ; $\text{Co} + \text{Pd}$; $\text{Ni} + \text{FePd}_3 + \text{X}$ -ray amorphous phases.

The purpose of the work of the JSC "CNIRTI named after academician A.I. Berg" staff was to study the electrical and magnetic properties of these nanocomposites and the influence of electromagnetic fields on them.

Keywords: nanoparticles, metamaterials, nanoaggregate, electromagnetic field, field-generating system.

References

1. Samoylovich M.I., Rinkevich A.B., Belyanin A.F., Pashchenko P.V. (2011). 3D nanocomposites – opal matrices with metallic Co inclusions and layered structures "opaline matrix – Co / Ir". *Technology and design in electronic equipment*, no. 1-2. pp. 53-59 (in Russian)
2. Khlopov B.V., Bondarev Yu.S., Shashurin V.D., Chucheva G.V. (2017). Electromagnetic field impact on nanocomposite materials. *T-Comm*, vol. 11, no.5, pp. 4-8. (in Russian)
3. Silberschmidt V.V. and Matveenko V.P. (2015). *Mechanics of Advanced Materials*. Springer International Publishing Switzerland. 199 p.
4. Khlopov B.V. (2013). Investigation of HDD by the method of visualization and refinement of conditions for reliable erasure of information from magnetic carriers. *Izvestiya Institute of Engineering Physics*, vol. 1, no. 27. pp. 5-15. (in Russian)
5. Khlopov B.V. (2012). Equipment for changing the magnetic state of a thin-film layer of a magnetic information carrier. *T-Comm*, no. 3, pp. 56-60. (in Russian)
6. Khlopov B.V., Lobanov B.S., Bondarev Yu. S. et al. (2011). A means of visual control of erasure of information from magnetic carriers for placement in on-board equipment. *Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference "Radiolocation, navigation, Communication"* (RLNC – 2011), vol. 1, pp. 630-638. (in Russian)
7. Khlopov B.V. (2012). Investigations of the magnetic properties of thin-film materials of modern rigid magnetic disks under the influence of an external constant magnetic field. *Electronic Journal. Proceedings of the MAI*, no. 57, pp. 322-327.
8. Khlopov B.V. (2012). Investigations of the magnetic properties of thin-film materials of modern rigid magnetic disks under the action of an external pulsed magnetic field. *Electronic Journal Proceedings of the MAI*, no. 57, pp. 316-321.