

Investigation of the nanocomposite materials properties under the influence of alternating electromagnetic fields

¹ Khlopov B.V., ¹ Bondarev Y.S., ¹ Samoilova V.S.

¹ JSC «CNIRTI named after academician A. I. Berg»

Moscow, 107078, Russian Federation,

mhlopovu@yandex.ru, samvalser@yandex.ru

Abstract: We have investigated the dielectric and magnetic characteristics of nanocomposite materials (metamaterials) samples based on the lattice packets SiO₂ nanospheres (opal matrices) which interspherical cavities have contained clusters of metals (Ni, Fe) and their connections. There was also studied their experimental dependence on the frequency of an externally acting electromagnetic field.

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

Исследование свойств нанокompозитных материалов под воздействием переменных электромагнитных полей

¹ Хлопов Б. В., ¹ Бондарев Ю. С., ¹ Самойлова В. С.

¹ Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А. И. Берга»

г. Москва, 107078, Российская Федерация

mhlopovu@yandex.ru, samvalser@yandex.ru

Аннотация: Исследуются диэлектрические и магнитные характеристики образцов нанокompозитных материалов (метаматериалов) на основе решетчатых упаковок наносфер SiO₂ (опаловых матриц), содержащих в межсферических полостях кластеры металлов (Ni, Fe) и их соединений. Показана их экспериментальная зависимость от частоты внешне воздействующего электромагнитного поля.

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

1. Введение

При разработке радиоэлектронной аппаратуры в наше время все чаще прибегают к использованию новых технологий и новых материалов, называемых композитами. Отечественными производителями были разработаны композитные метаматериалы на основе опаловых матриц, объемом $>1 \text{ см}^3$ с диаметр наносфер $\text{SiO}_2 \sim 200\text{-}400 \text{ нм}$ [1], межсферические полости которых заполнены более чем на 20% кластерами магнитных материалов (соединений на основе Ni, Fe). Образцы нанокompозитов получают при различных условиях пропитки и высокотемпературной термообработки (на воздухе или в водороде), что приводит к формированию в них различной концентрации кристаллических фаз сплавов и оксидов металлов.

Метод исследования образцов нанокompозитов на основе опаловой матрицы состоит в облучении их электромагнитным полем, в результате чего наблюдается его мультипликация [2]. Для оценки дальнейшего перспективного направления использования нанотехнологий проведены исследования свойств нанокompозитов на основе опаловых матриц в зависимости от содержимого межсферических нанополостей – кластеров металлов.

2. Экспериментальные диэлектрические характеристики образцов нанокompозитов

Проведены исследования полученных образцов нанокompозитов в переменном электрическом поле. Исследована частотная зависимость действительной (ϵ') и мнимой (ϵ'') компонент диэлектрической проницаемости (рис. 2) на разработанном стенде (рис 1).



Fig. 1. A structural scheme of the measuring stand
Рис. 1. Структурная схема измерительного стенда

Ниже на рис. 3,4 представлены результаты для других образцов опаловых матриц, содержащих в межсферических нанополостях кластеры соединений на основе Ni и Fe.

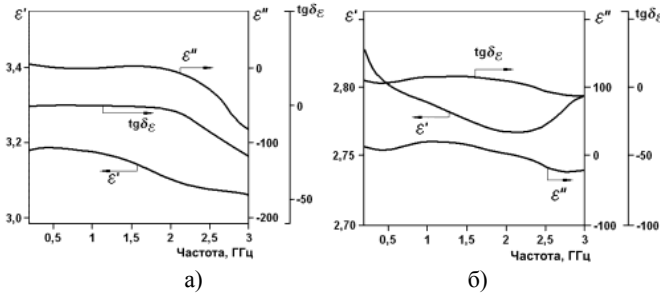


Fig. 2. Frequency dependences of the real (ϵ') and imaginary (ϵ'') permittivity and the dielectric loss angle tangent ($\text{tg}\delta_\epsilon$) of samples of the opal matrices filled with the Ni_3Fe crystallites formed at the temperature of: a) 1200 °C (with the air treatment); б) 1000 °C (with the H_2 treatment)

Рис.2. Графики частотных зависимостей действительной (ϵ') и мнимой (ϵ'') диэлектрической проницаемости, а также тангенса угла диэлектрических потерь ($\text{tg}\delta_\epsilon$) образцов опаловых матриц, заполненных кристаллитами Ni_3Fe , сформированными при температурах: а) 1200 °C (термообработка на воздухе); б) 1000 °C (термообработка в H_2)

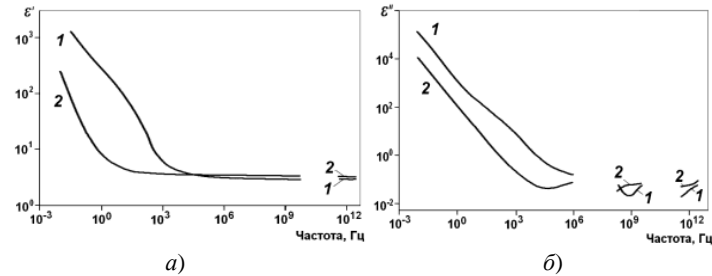


Fig. 3. Frequency dependences of the real (a) and imaginary (b) permittivity of the opal matrices filled with the Ni_2Fe (1) and Ni_2Fe_3 (2) clusters

Рис. 3. Графики частотных зависимостей действительной (a) и мнимой (б) диэлектрической проницаемости опаловых матриц, заполненных кластерами Ni_2Fe (1) и Ni_2Fe_3 (2)

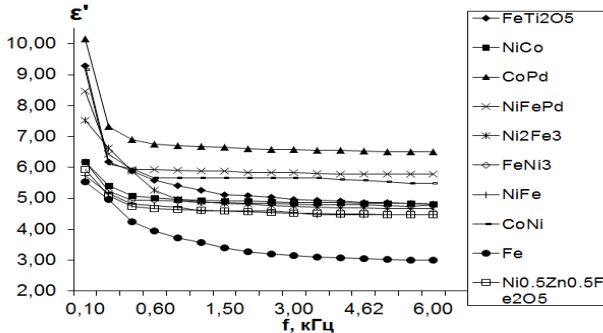


Fig. 4. Frequency dependences of the permittivity of samples of the different metamaterials

Рис. 4. Графики зависимости диэлектрической проницаемости образцов метаматериалов от частоты

Во всем исследуемом диапазоне частот образцы нанокompозитов имеют низкие диэлектрические потери и мало зависят от частоты, кроме некоторого подъема в области низких частот. Диэлектрическая дисперсия частот выражена слабо в микроволновом диапазоне, а все основные изменения, возможно, протекают на более низких частотах[3].

3. Экспериментальные магнитные характеристики образцов нанокompозитов

Для исследования магнитных свойств образцов был разработан стенд [4], обеспечивающий проверку магнитной восприимчивости материалов. Стенд состоит из полеобразующей системы, генератора тока, источника питания, системы охлаждения дросселя и аттестованных поверенных измерительных приборов (рис. 5). При испытании измерялись: напряжение питания генератора тока, ток дросселя, амплитуда напряжения на емкостном накопителе и напряженность магнитного поля.

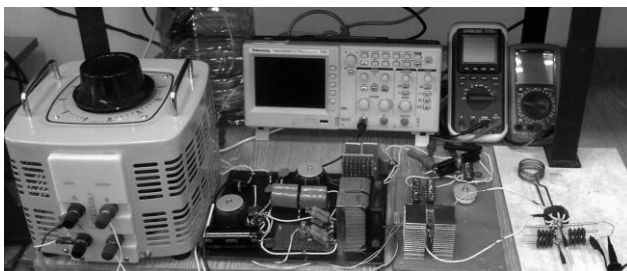


Fig. 5. Equipment for testing samples of magnetic metamaterials based on opal matrices

Рис. 5. Оборудование для испытаний образцов магнитных метаматериалов на основе опаловых матриц

На рис. 6 показаны кривые, отображающие изменение напряженности магнитного поля при облучении образцов частотами 344, 480, 500 КГц, в центральной области дросселя, в месте поочередного размещения образцов метаматериалов (Fe), (Ni+Fe+Co), керамического немагнитного материала (SiO_2) и немагнитного материала пластины из меди (Cu).

На рис. 7 показана зависимость параметров действительной μ' и мнимой μ'' магнитной восприимчивости от частоты.

На рис.8 хорошо виден вклад в магнитную восприимчивость и магнитную индукцию, связанный с наличием повышенной микроволновой

проводимости [5] в некоторых образцах содержащих в межсферических нанополостях матриц кластеры металлов (кривые 2, 3, 5, 6, 9, 10).

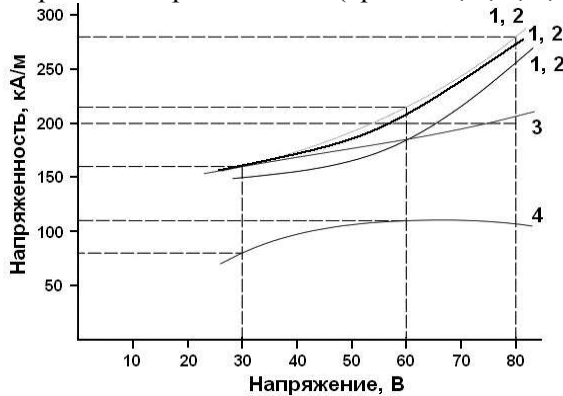


Fig. 6. Frequency dependences of the magnetic field strength for (Ni+Fe+Co), (Fe) (1, 2) Cu; SiO₂ (3, 4) samples

Рис. 6. Частотная зависимость напряженности магнитного поля для образцов (Ni+Fe+Co), (Fe) (1, 2) Cu; SiO₂ (3, 4)

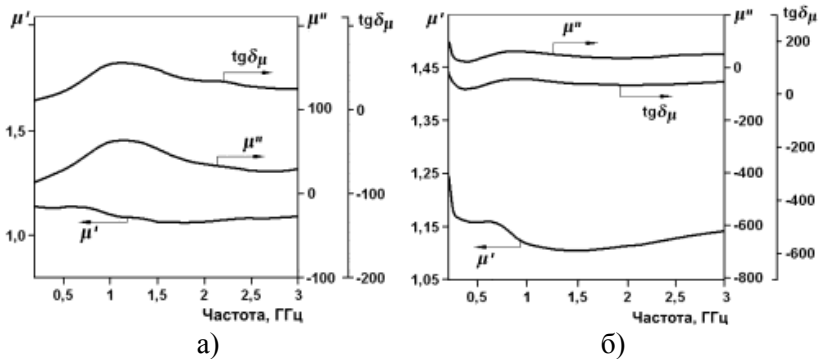


Fig. 7. Frequency dependences of the real (μ') and imaginary (μ'') permeability and the magnetic loss angle tangent ($\text{tg}\delta_\mu$) of samples of the opal matrices which inter-spherical cavities are filled with the Ni₂Fe₃ crystallites formed in a H₂ atmosphere at the temperature of: a) 650 °C; б) 1000 °C

Рис. 7. Графики частотных зависимостей действительной μ' и мнимой μ'' параметров магнитной восприимчивости, а также тангенса угла магнитных потерь $\text{tg}\delta_\mu$ образцов опаловых матриц, межсферические полости которых заполнены кристаллитами Ni₂Fe₃, сформированными в атмосфере H₂ при температурах: а) 650 °C; б) 1000 °C

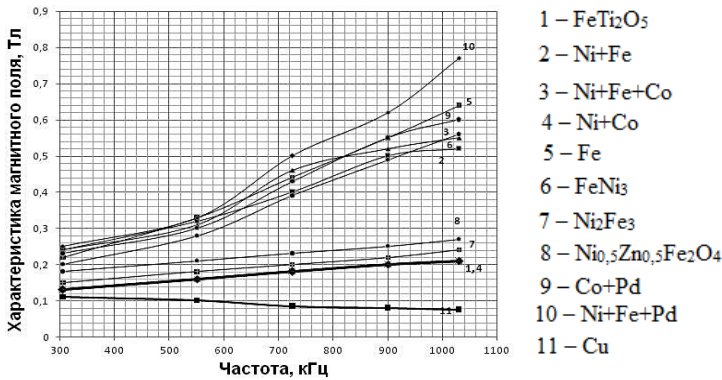


Fig. 8. Comparative characteristics of the dependence of the magnetic susceptibility on the frequency

Рис. 8. Сравнительные характеристики зависимости магнитной восприимчивости от частоты

4. Заключение

Метаматериалы, рассмотренные в статье, можно определить как нанокон-позиты, так как они состоят из элементов (наноблоков) в структуре опаловой матрицы, чьи геометрические размеры (десятки и сотни нанометров) значительно превосходят атомарные. По результатам исследований были сделаны выводы, что для таких материалов невозможно пренебречь вкладом от диэлектрической проницаемости (зависящей от времени), поскольку магнитный момент единицы объема кластера определяется токами электрической поляризации.

Структура, заполненная кластерами металлов плотно связанных между собой токами электрической поляризации в межсферических нанополостях опаловых матриц, позволяет образцам управлять облучающим магнитным полем. Образцы магнитных метаматериалов могут подавлять излучения во всех направлениях на некоторых управляющих частотах или фильтровать электромагнитные излучения в узком диапазоне частот для экранирования и фокусирования рассеянного излучения. Эти свойства метаматериалов были использованы при разработке устройств уничтожения информации [7], также СВЧ устройств, например, циркуляторов.

Список литературы

[1] Самойлович М.И., Ринкевич А.Б., Пашенко П.В. 3D-наноконпозиты – опаловые матрицы с включениями металлического Co и слоистые структуры «опаловая матрица – Co/Ir»// Технология и конструирование в электронной аппаратуре, 2011, №1-2, С.53-59

Copyright © 2017 for this paper by its authors. Copying permitted for private and academic purposes.
 Proceedings of the 27th International Conference «Microwave & Telecommunication Technology» (CriMiCo'2017)
 Sevastopol, Russian Federation, September 10—16, 2017

[2] Хлопов Б.В., Самойлович М.И., Шпак А.В., Самойлова В.С., Бондарев Ю.С. Воздействие на флеш носитель информации электромагнитным полем, сформированным метаматериалом на основе опаловой матрицы // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2015. – Том 9. – №11. – С. 12-18.

[3] Б.В. Хлопов, М.И. Самойлович, А.Ю. Митягин. Исследование пространственного мультиплицирования импульсного магнитного поля образцами метаматериалов // Телекоммуникации и транспорт. 2013. № 1. С. 48–51.

[4] Б.В. Хлопов, М.И. Самойлович, В. Бовтун. Исследование эффекта мультипликации электромагнитных полей в устройствах бесконтактного стирания информации с электронных носителей с использованием нанокompозитов на основе опаловых матриц // Нано и микросистемная техника. 2013. № 7. С. 6–13.

[5] Б.В. Хлопов, Г.В. Чучева, М.И. Самойлович. Исследование восприимчивости к магнитным полям образцов нанокompозитных материалов на основе опаловых матриц для аппаратуры стирания информации // Т-COMM: телекоммуникация и транспорт. 2014. Т. 8. № 10. С. 82–87.

[6] A.B. Rinkevich, M. Pardavi-Horvath, M.I. Samoylovich. Microwave Properties of 3D-Nanocomposites with Particles Composed of Fe, Ni and Pd. // Proceedings of the 44-th European Microwave Conference. 6-9 Oct 2014, Rome, Italy: European Microwave Association, p. 1206–1209.

[7] Патент на изобретение №2549111 от 25.03.2015г. (приоритет от 23.08.2013г). Бюл. №11.

References

[1] Samoylovich M. I., Rinkevich A.B., Pashchenko P.V. 3D-nanocomposites - opal matrices with metallic Co inclusions and layered structures "opaline matrix - Co / Ir. Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoy Apparature, 2011, no 1-2, pp. 53-59 (In Russian).

[2] Hlopov B.V., Samoylovich M.I., Shpak A.V., Samoylova V.S., Bondarev Yu.S. Impact on the flash media by an electromagnetic field generated by metamaterial based on opal matrix. T-Comm. 2015. Vol. 9. No.11, pp. 12-18. (in Russian).

[3] Hlopov B.V., Samoylovich M.I., Mityagin A.Yu. Research of a spatial multiplication of a pulse magnetic field samples of metamaterials//Telecommunications and transport. 2013. No. 1., pp. 48-51 (In Russian).

[4] Khlopov B.V., Samoylovich M.I., Bovtun B. Investigation of the Multiplier Effect of Electromagnetic Fields in Proximity Devices Erasing from Electronic Media Using Nanocomposites Based on Opal Matrices. NANO- AND MICROSYSTEMS TECHNOLOGY, 2013, no 7, pp. 6-13 (In Russian).

[5] B. V. Hlopov, G. V. Chucheva, M. I. Samoylovich. Research of a susceptibility to magnetic fields of samples of nanocomposite materials on the basis of opal matrixes for the equipment of deleting of information/T-COMM: telecommunication and transport. 2014. T. 8. No. 10. Page 82-87 (In Russian).

[6] A.B. Rinkevich, M. Pardavi-Horvath, M.I. Samoylovich. Microwave Properties of 3D-Nanocomposites with Particles Composed of Fe, Ni and Pd. // Proceedings of the 44-th European Microwave Conference. 6-9 Oct 2014, Rome, Italy: European Microwave Association, p. 1206–1209.

[7] The patent for the invention No. 2549111 from 25.03.2015g. (a priority from 23.08.2013g). Bulletin No. 11.