

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ГЕКСАФЕРРИТОВ, УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР И МУЛЬТИФЕРРОИКОВ

Г.Е. Кулешов, О.А.Доценко, О.А.Кочеткова

Приведены результаты исследования частотных зависимостей коэффициентов отражения композиционных материалов на основе углеродных наноструктур, порошков гексаферритов и мультиферроиков. Варьирование концентрации наполнителя в композите изменяет характеристики защитного покрытия от отражающего до поглощающего ЭМИ. Наполнитель, состоящий из мультиферроиков и гексаферритов, улучшает электромагнитные характеристики покрытий.

Ключевые слова: электромагнитные характеристики, гексаферриты, высокочастотное излучение, поглотители, коэффициент отражения, углеродные наноструктуры, мультиферроики

Введение

Количество электронных приборов, окружающих нас, постоянно растет. Если относительно недавно с микроволновой техникой имели дело только специалисты, проходившие специальное обучение и медицинское обследование, то сейчас круг пользователей существенно расширился. СВЧ печи, персональные компьютеры, мобильные телефоны, ближняя беспроводная радиосвязь для устройств разных типов (Wi-Fi, Bluetooth), базовые станции сотовой связи, системы спутниковой связи, системы сигнализации и другие устройства прочно вошли в быт людей. Преимущества их использования очевидны. Однако они являются источниками электромагнитных полей, которые могут оказать неблагоприятное воздействие на организм человека. При этом опасность для здоровья, которую они несут при постоянном использовании, очевидна. И она растет пропорционально количеству источников излучения, окружающих человека, их мощности и времени экспозиции.

Экспериментальные исследования биологических последствий длительного воздействия высокочастотных и сверхвысокочастотных полей в диапазоне 100 МГц – 60 ГГц выявили ряд специфических заболеваний, связанных с микроволновым излучением. Отмечены функциональные изменения в: головном мозге, репродуктивных органах, сердечно-сосудистой, эндокринной и иммунной системах [1 – 3]. Комиссией Международного агентства по исследованию рака (IARC, 2002) опубликовано заключение о том, что воздействие электромагнитного поля связано с возможной канцерогенностью [4]. В свою очередь ВОЗ официально признала факт, что ЭМИ оказывает канцерогенное воздействие, лишь в 2011 году. Регистрируется все больше

случаев корреляции между воздействием высокочастотных электромагнитных полей и возникновением лейкемии. Механизм воздействия излучения на организм человека еще не определен [4, 5], но медики рекомендуют ограничить использование мобильных телефонов, особенно детьми.

В работах [6 – 7] приведены результаты исследований, проводимого ВОЗ, свидетельствующие о наличии связи между длительным (более 10 лет) использованием сотовых телефонов и ростом числа возникновений злокачественных опухолей (в частности, головного мозга, слухового нерва). Поскольку отказаться от использования электронных устройств человечество уже не в состоянии, актуальной задачей является разработка средств защиты от воздействия ВЧ ЭМИ, основанных на достижениях современной науки и техники, которые можно использовать в мобильных устройствах и другой электронной технике. Все это привело к поиску новых материалов, обладающих необходимыми для современной радиоэлектроники свойствами.

Материалы для защитных экранов

Исследования по проблеме снижения вредного влияния от микроволнового излучения ведутся достаточно активно во всем мире. Множество работ посвящено защите от воздействия сотовых телефонов, в том числе разработке защитных экранов [8]. В некоторых работах в качестве защитных покрытий используются тонкие пленки разнообразных веществ. Наиболее оправданным является применение защитных устройств на основе материалов, активно взаимодействующих с ЭМИ, отражающих и поглощающих излучение.

К радиоотражающим материалам относятся различные металлы (железо, сталь,

РАЗДЕЛ V. ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

медь, латунь, алюминий или композиты, в которых используются проводящие структуры). Они выполняются в виде сплошных и перфорированных листов, сеток, решеток, трубок и могут быть нанесены в виде тонкопленочных покрытий. Подобные экранирующие материалы отличаются высокой эффективностью, поскольку за счет больших различий волнового сопротивления свободного пространства и экрана, они обладают высоким коэффициентом отражения. Однако у отражающих экранов имеются свои недостатки [8], связанные с появлением областей переизлучения из-за изменения положения экрана относительно излучателей и защищаемого объекта. Это приводит к возникновению переотраженных волн, при этом облучение отдельных участков тела человека усиливается. В свою очередь эффективность перфорированных и сетчатых экранов падает с повышением частоты. Поэтому особое внимание уделяется разработке экранов и защитных покрытий, эффективность которых достигается за счет поглощения ЭМИ.

В конструкциях поглощающих экранов используется явление рассеивания энергии, потери на проводимость, а также магнитные и диэлектрические потери. Известно, что в качестве активной фазы поглотителей в СВЧ-диапазона хорошо зарекомендовали себя оксидные ферритмагнетики, сажа, карбонильное железо, диэлектрики. Ведутся разработки новых радиопоглощающих покрытий на основе сегнетоэлектриков и мультиферроиков. В последнее время разрабатываются устройства на основе наноразмерных материалов: углеродных наноструктур (напр., нанотрубок, фуллеренов, нановолокон, нанопроволок, углеродных луковичных структур) и нанопорошков ферритов.

Углеродные наноструктуры (УНС) являются перспективным материалом для решения задач разработки защитных покрытий. Обладая особыми свойствами: высокой проводимостью, малым объемным весом, механической прочностью, пластичностью, малой теплопроводностью, УНС позволяют разрабатывать на их основе высокопрочные и легкие покрытия. Причем варьированием концентрацией УНС можно получать как отражающие, так и поглощающие покрытия [9].

В последнее время активно ведутся исследования мультиферроиков – материалов, объединяющих в себе ферромагнитное и сегнетоэлектрическое упорядочение. Данным материалам присущи свойства, характерные как для каждого из класса веществ по от-

дельности: спонтанная намагниченность, магнитострикция, спонтанная поляризация и пьезоэлектрический эффект, так и свойства, связанные с взаимодействием магнитной и электрической подсистем: магнитоэлектрический эффект, переключение спонтанной поляризации магнитным полем и спонтанной намагниченности электрическим полем, магнитодиэлектрический эффект. Мультиферроики являются веществами, с помощью которых можно решать задачи спинтроники – преобразование информации, представленной в форме намагниченности, в электрическое напряжение, и обратно.

Известно, что материалы, обладающие спонтанной поляризацией, имеют большие значения диэлектрической проницаемости, а материалы со спонтанной намагниченностью – большие значения комплексной магнитной проницаемости. Дробление материалов понижает значения данных характеристик. При измельчении до наноразмеров начинают преобладать поверхностные явления, так как объем дефектно-структурной области поверхностного слоя становится сопоставим с объемом вещества, сохраняющего высокую степень порядка. В результате в материалах проявляются новые физические явления и свойства, которые невозможно предсказать, исходя из строения и свойств массивного вещества.

Пристальное внимание уделяется ферритам с гексагональной кристаллической структурой (гексаферритам), так как у них область естественного ферромагнитного резонанса, характеризуемой значительными изменениями величин комплексной магнитной проницаемости, находится в диапазоне СВЧ. Отметим, что свойства данного класса материалов зависят от способа получения, химического состава [10], формы и размера частиц [11], типа композиционной смеси.

Для оценки характеристик композиционной смеси расчетным методом необходимо знать электромагнитные свойства составных частей и правильно выбрать формулу теории композиционных смесей.

Экспериментальные образцы

При разработке и изготовлении защитных экранов, применяемых для снижения воздействия микроволнового излучения, необходимо принимать во внимание не только электромагнитные, но и потребительские свойства готового продукта. Для этого необходимо выбрать активную фазу и связующее вещество, обеспечивающие оптимальные свойства защитных покрытий.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 2/1, 2012

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ГЕКСАФЕРРИТОВ, УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР И МУЛЬТИФЕРРОИКОВ

В данной работе исследовались образцы композитов на основе силикона, содержащие:

- порошки гексаферрита $BaFe_{12}O_{19}$ (BaM) с линейными размерами частиц не более 100 мкм;
- углеродные наноструктуры (УНС), полученные из углеводородного газа с использованием СВЧ энергии [12]. Для измерений были отобраны три вида порошка, содержащего наноструктуры: 1) исходный, полученный непосредственно на выходе установки; 2) отожженный при $T=800$ °С в течение 2 часов; 3) размолотый из твердого осадка;
- ультрадисперсный порошок мультиферроика с размером зерен порядка 100 нм и размерами частиц не более 4 мкм, полученный методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Для исследования был взят образец состава $Co_{0,6}Zn_{1,4}W + CaTiO_3$ (30 %), где первое слагаемое гексаферрит W-типа, а второе – сегнетоэлектрик.

Выбор связующего вещества зависит от назначения готового композита: твердость, гибкость упругость и др. В качестве связующего использовались силикон, который сочетает высокие адгезийные свойства с гибкостью, легкостью и пластичностью.

Для изготовления опытных образцов защитных экранов использовалась следующая схема. Проводился отбор активной фазы и связующего вещества. Производилось тщательное взвешивание наполнителя и связующего вещества на весах Shimadzu AUX – 320 (погрешность ~0,5 мг). После этого составные части композита соединялись в соответствующих пропорциях (по массе) и тщательно перемешивались до однородного состояния. Полученная смесь наносилась на горизонтальную поверхность тонким слоем соответствующей толщины. В качестве армирующей основы для улучшения механических свойств покрытия использовалась тонкая полиамидная ткань толщиной 12 мкм ($\epsilon \approx 1$ отн. ед.). Полимеризация готового изделия проводилась при комнатной температуре в течение нескольких часов.

Для измерения динамических характеристик готового покрытия из готового образца вырезался тонкий длинный стержень размером $2 \times 2 \times 70$ мм.

Средства измерения

Измерения электромагнитных характеристик проводились при температуре окружающего воздуха $22,0 \pm 1,0$ °С резонаторным методом на установке, состоящей из вектор-

ного анализатора цепей Agilent Technologies E8363B и набора объемных прямоугольных резонаторов, используемых в качестве измерительных ячеек.

Установка позволяет измерять электромагнитный отклик электродинамической резонансной системы на внесение внутрь нее образца малого объема. После этого в приближении метода малых возмущений полученный отклик системы пересчитывается в значения комплексной магнитной и диэлектрической проницаемостей. По полученным спектрам рассчитываются коэффициенты отражения плоской волны, нормально падающей на идеально проводящую поверхность.

Результаты и обсуждение

Частотные зависимости коэффициента отражения для разных концентраций ферритового наполнителя BaM приведены на рисунке 1. Для каждой концентрации выбрана оптимальная толщина слоя: 30% – 8,2 мм, 40% – 5,1 мм, 50% – 5,1 мм, 60% – 5,3 мм. Видно, что $R > 3$ дБ у композита с 30 масс. % во всем рассматриваемом диапазоне. В то же время $R < 3$ дБ у композитов с концентрациями 40 – 60 %. Отсюда вытекает, что композит с 30 масс. % BaM можно использовать в качестве материала, отражающего СВЧ мощность, а остальные – как поглощающие.

Коэффициенты отражения композитов с наполнителями – наноструктурами, полученными на СВЧ плазматроне, приведены на рисунке 2.

Так же, как и в первом случае, была выбрана оптимальная толщина поглощающего слоя: для УНС (размол) – 23 мм, УНС (отжиг) – 13 мм, УНС – 4,8 мм.

Из приведенных зависимостей видно, что композиты с УНС, находящимися в аморфном состоянии после реакции горения, имеют $R < -3$ дБ в диапазоне 7,3 – 9 ГГц. У композитов, содержащих порошок, полученный путем измельчения твердой фракции углеродных наноструктур или отожженные УНС, $R > -3$ дБ. Причем, варьируя концентрацию наполнителя в композите, можно изменять характеристики защитного покрытия.

Также были измерены коэффициенты отражения от слоя композита, содержащего ультрадисперсный порошок мультиферроика системы $Co_{0,6}Zn_{1,4}W + CaTiO_3$.

Для получения многослойного поглотителя, использовались слои с 60 масс. % феррита BaM, 1 масс. % УНС и 50 масс. % мультиферроиков. При этом общая толщина поглотителя составила 8 мм. Расчет данного

РАЗДЕЛ V. ИЗМЕРЕНИЕ, КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

композиционного материала приведен на рисунке 3

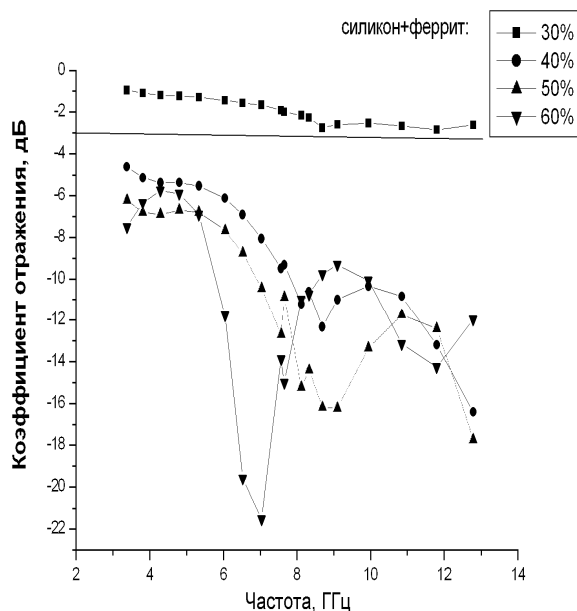


Рисунок 1 - Зависимость коэффициента отражения от частоты для композитов: силикон + феррит

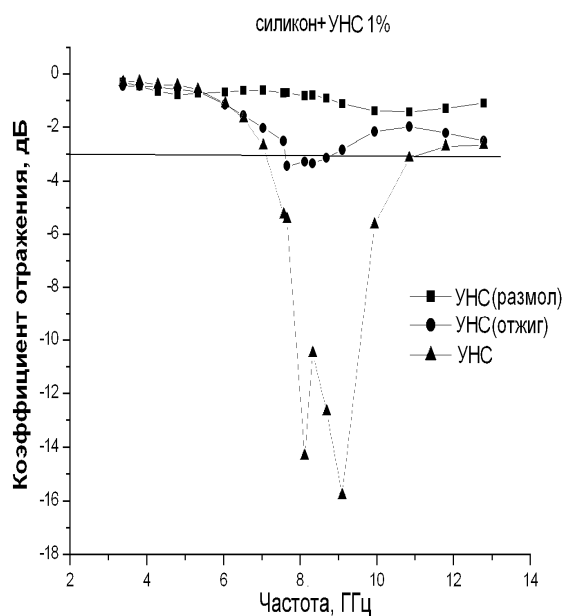


Рисунок 2 - Зависимость коэффициента отражения от частоты для композитов: силикон + углеродные наноструктуры

Из приведенного графика следует, что подслои мультиферроика изменяет характер

защитного покрытия. Добавление данного материала приводит к возможности использования многослойного поглотителя во всей измеряемой полосе частот от 3 до 13 ГГц для уровня отражения $R < -5$ дБ.

Из приведенной на рисунке 3 зависимости видно, что можно провести экстраполяцию полученных данных в область низких частот. Можно положить, что и в диапазоне до 2 ГГц коэффициент отражения не превышает заданной величины $R < -5$ дБ.

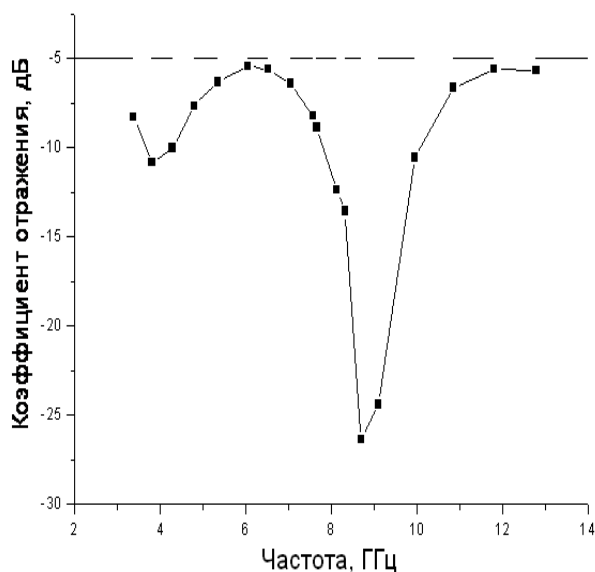


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента отражения от частоты для многослойного композита на основе силикона с ферритом, УНС и мультиферроиком

На рисунке 4 приведена фотография полученных образцов защитных экранов.



Рисунок 4 - Радиоматериалы и защитные экраны на их основе

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВ ГЕКСАФЕРРИТОВ, УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР И МУЛЬТИФЕРРОИКОВ

Заключение

Проведенное исследование показывает возможность использования ультрадисперсных порошков гексаферритов, углеродных наноструктур, а также порошков мультиферроиков в качестве активной фазы композиционных радиоматериалов, активно взаимодействующих с высокочастотным электромагнитным излучением. Они могут быть использованы для обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств, защиты биологических объектов от влияния микроволновых радиоизлучений, создаваемых научными и бытовыми приборами и т.д. А также в качестве защитных экранов вкладышей в чехлы для мобильных телефонов.

В результате работы было изготовлено многослойное покрытие, содержащее исследованные материалы, которое снижает уровень электромагнитного излучения.

В дальнейшем планируется провести исследование характеристик защитных покрытий, активной фазой в которых являются порошки мультиферроиков, изготовленных из гексаферритов системы $\text{Co}_x\text{Zn}_{2-x}\text{W}$ ($x = 0,5 - 0,7$) с разной концентрацией сегнетоэлектрической фазы на основе титанатов бария, стронция или висмута для определения возможности их применения при решении задач электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств в СВЧ, КВЧ и ГВЧ диапазонах.

Благодарности

Благодарим за любезно предоставленные материалы для исследований сотрудников ОSM СО РАН В.И. Итина и Р.В. Минина, профессора ТГУ Е.П. Найдена, а также сотрудника ОСП СФТИ ТГУ В.Б. Антипова.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проектами 11-02-98010-р сибирь_а «Синтез и исследование статических и динамических характеристик радиоматериалов нового класса мультиферроиков на основе титанатов бария и стронция и нанопорошков ферромагнетиков» и ГК № 8691р/13125 от 14.01.2011 «Разработка опытного образца защитного экрана для снижения вредного воздействия мобильного телефона».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Independent Expert Group on Mobile Phones. Mobile phones and health. Oxon, United Kingdom, Expert Group on Mobile Phones. URL:

- <http://www.iegmp.org.uk/report/text.htm> (дата обращения: 10.03.2010).
2. Krewski D. Recent advances in research on radiofrequency fields and health / D. Krewski // Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B. 2001. № 4. P. 145 – 159.
3. Какое влияние оказывают мобильные телефоны на здоровье людей? Сеть фактических данных по вопросам здоровья. URL: <http://www.euro.who.int/en/system.html> (дата обращения: 10.03.2011).
4. Licari L. Children's health and environment: developing action plans. / L. Licari, G. Tulricia. – WHO, 2006. 119 p.
5. Отчет о 20-м совещании Европейского комитета по окружающей среде и охране здоровья Хельсинки, Финляндия, 12-13 декабря 2005. URL: www.euro.who.int/Document/EEHC/20th_EEHC_Mtg_report_Rus.pdf. 39 с. (дата обращения: 15.10.2011).
6. Hardell L. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours / L. Hardell, K.H. Mild, M. Carlberg // International Journal of Oncology. 2003. V. 22. P. 399 – 407.
7. Hepworth S.J. Mobile phone use and risk of glioma in adults: case-control study / S.J. Hepworth, M.J. Schoemaker, K.R. Muir // BMJ. 2006. V. 332. P. 883 – 887.
8. Лыньков Л.М. Гибкие конструкции экранов электромагнитного излучения / Л.М. Лыньков, В.А. Богуш, В.П. Глыбин. – Мн., 2003. – 284 с.
9. Доценко О.А. Микроволновые характеристики композиционных радиоматериалов на основе полимера и углеродных структур / О.А. Доценко, В.И. Сусяев, В.Л. Кузнецов, И.Н. Мазов, О.А. Кочеткова. // Доклады ТУСУР. 2011. № 2 (24). С. 36 – 40.
10. Сусяев В.И. Влияние ионов Fe^{2+} на СВЧ спектры ферритов CoZnW / В.И. Сусяев, Е.П. Найден, В.А. Журавлев, Г.И. Рябцев // Электронная техника. Сер. «Материалы». 1990. № 5/250/ДСП. С. 28 – 29.
11. Доценко О.А. Температурные зависимости СВЧ-спектров магнитной проницаемости наноразмерных порошков гексаферрита W-типа / О.А. Доценко, Е.Ю. Коровин, В.И. Сусяев, Г.Е. Кулешов // Изв. вузов. Физика, 2006. №9. С. 35-39.
12. Антипов В.Б. Исследование процесса пиролиза природного газа в СВЧ-разряде и его конверсии в углеродные наноматериалы / В.Б.Антипов, М.А. Бубенчиков, Ю.В. Медведев, Д.Ю. Медведев, С.А. Фирсов, Ю.И. Цыганок // Изв. вузов. Физика. 2010. № 9/2. С. 149 – 150.

К.ф.-м.н., доцент **О.А. Доценко** – apr@mail.tsu.ru; аспирант **Г.Е. Кулешов** – grigorij-kge@sibmail.com; магистрант **О.А. Кочеткова** – olechka0991@mail.ru; Томский государственный университет, радиофизический факультет, кафедра радиоэлектроники, apr@mail.tsu.ru, тел. (3822) 41-39-89.