

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Вагнера Дмитрия Викторовича **«Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Актуальность темы диссертационной работы.

Применение большого количества сверхвысокочастотной (СВЧ) радиоаппаратуры приводит к возникновению побочного электромагнитного излучения (ПЭМИ). Данное явление приводит к сбоям работы приборов и устройств, а также к их частичной или полной утрате работоспособности. Добиться уменьшения ПЭМИ и обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) возможно в результате применения при конструировании радиоаппаратуры композиционных радиоматериалов, активно взаимодействующих с электромагнитными полями. В диссертационной работе Вагнера Д.В. разработаны установка и методика изготовления композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов, которые позволяют поглощать электромагнитное излучение в широком диапазоне сверхвысоких частот. Также в данной работе проведено исследование электромагнитных характеристик разработанных автором композиционных радиоматериалов, а именно: магнитной и диэлектрической проницаемости, коэффициентов отражения.

Тема исследования является актуальной, так как направлена на решение важнейших задач электромагнитной совместимости при конструировании и производстве аппаратуры СВЧ диапазона.

Степень разработанности темы исследования.

На современном этапе исследования преимущественно направлены на изучение структурных, либо магнитных характеристик композитов, зависящих от химического состава, легирования другими элементами, режимов термообработки, воздействия механической активации и т.д. Лишь в очень немногочисленных работах предприняты попытки проследить взаимосвязь магнитных параметров и структуры композиционного материала, а именно, расположения кристаллитов в материале, размера кристаллитов, а также их формы. Одним из методов изменения структуры является воздействие на композиционный материал магнитным полем в процессе его изготовления (магнитное текстурирование). Этот метод для получения композиционных радиоматериалов практически не используется. Поэтому полученные результаты диссертационной работы являются существенным вкладом в развитие данного метода для получения радиопоглощающих материалов.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Соискателем сформулированы три положения, выносимые на защиту. Изложенные в диссертационной работе научные положения, результаты и основные выводы обоснованы и достоверны. Положения, результаты и основные выводы являются следствием детального экспериментального исследования закономерностей, полученных с применением взаимодополняющих современных методов исследования, статистической обработки экспериментальных данных и сопоставлением полученных результатов с данными других авторов.

Научная новизна работы. Получены автором наиболее важные результаты, отличающиеся научной новизной и определяющие ценность диссертации. В диссертационной работе впервые:

- предложен и апробирован способ изготовления текстурированного магнитного полимерного материала на основе гексаферритов путем внесения

его в постоянное магнитное поле во время полимеризации и воздействия на него ультразвука;

- измерены спектры коэффициентов отражения и прохождения полимерных композиционных материалов на основе гексаферритов Y-, W-, Z- и U-типа;

- вычислены спектры диэлектрической и магнитной проницаемости композиционных материалов на основе гексаферритов Y-, W-, Z- и U-типа;

- установлено, что одновременное воздействие магнитного поля и ультразвука на композиционный магнитный материал на основе порошка гексаферрита в процессе его полимеризации увеличивает значения магнитной проницаемости.

Практическая и теоретическая значимость.

Полученные в диссертационной работе результаты, имеют теоретическую и практическую ценность. Теоретическая ценность заключается в исследовании и описании метода магнитного текстурования композиционных радиоматериалов, что позволяет расширить область применения данного метода для исследования фундаментальных свойств композиционных радиоматериалов на основе порошков гексаферритов, а также позволяет изготавливать радиоматериалы с улучшенными электромагнитными свойствами. Практическая ценность состоит в разработке устройства для текстурирования магнитных диэлектриков в постоянном магнитном поле, которое позволяет изготавливать композиты на основе порошков гексаферритов с высокими электромагнитными характеристиками с наименьшими затратами исходного сырья. Данные материалы могут быть использованы для решения задач электромагнитной совместимости на предприятиях радиоэлектронной промышленности.

Анализ содержания работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы, включающего 79 наименований и четырех приложений.

Во введении содержится обоснование актуальности темы исследования и степень ее разработанности, цели и задачи диссертационной работы, научная новизна, научная и практическая значимость, методы исследования, положения выносимые на защиту, достоверность результатов работы, апробация работы, личный вклад автора, публикации, объем и структура диссертации.

Первый раздел. «Электромагнитные и физические характеристики оксидных гексагональных ферромагнетиков и композиционных материалов на их основе. Аналитический обзор литературных источников». Содержит обзор основных электромагнитных характеристик разных типов гексаферритов, а также областей их применения; методов синтеза гексаферритов и сравнение магнитных свойств гексаферритов, изготовленных при различных способах синтеза; обзор методов управления электромагнитными характеристиками композиционных материалов на основе гексаферритов. В данном разделе описан способ изготовления гексагональных ферритов и композитов на их основе воздействием на их структуру магнитным полем, описаны способы получения текстурованных магнитных материалов. Сформулированы цели и задачи исследования.

Второй раздел. «Установка для текстурирования магнитных материалов постоянным магнитным полем. Экспериментальное оборудование для проведения исследований свойств гексагональных ферромагнетиков и композиционных материалов на их основе». Разработана установка для текстурирования магнитных материалов постоянным магнитным полем. Определены необходимые параметры установки (величина постоянного магнитного поля, частота вращения образца в магнитном поле) для изготовления однородных по всему объему и с высокой степенью текстуры образцов композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов. Проведено исследование влияния расстояния между полюсами электромагнита и величины подаваемой на него силы тока на распределение магнитного поля в рабочей зоне установки, что позволило

выбрать требуемый режим работы. Проведена модернизация автоматизированного комплекса для исследования магнитных свойств магнитоупорядоченных материалов: изготовлен новый индукционный датчик, в виде компенсационной катушки, для улучшения точности измерений удельной намагниченности насыщения.

Выбраны измерительные приборы для проведения исследований параметров экспериментальных образцов. Проведена оценка применимости методов Бейкера-Джарвиса и Крамерса-Кронига для расчета спектров магнитной и диэлектрической проницаемости по измеренным S -параметрам исследуемых образцов. Проведена оценка погрешности и достоверности измерений.

Третий раздел. «Магнитные свойства порошков наполнителя. Структурные характеристики композиционных материалов на основе гексагональных ферримагнетиков». Описана методика изготовления образцов композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферримагнетиков. Проведены исследования кривых намагничивания порошков гексаферритов, используемых для изготовления экспериментальных образцов, в импульсных намагничивающих полях. Проведено исследование морфологии поверхности, что позволило определить расположение частиц наполнителя и их размер в исследуемых образцах. Проведен рентгенофазовый анализ исследуемых материалов. Определена степень текстуры изготовленных композиционных материалов на основе порошков гексаферритов $\text{Ba}_3\text{Co}_{2,4}\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,2}\text{O}_{41}$ и $\text{Ba}_2\text{NiCuFe}_{12}\text{O}_{22}$. Определена эффективность применения ультразвука при изготовлении образцов. Показано, что ультразвуковое излучение позволяет получать равномерное распределение наполнителя в объеме текстурированного композиционного материала и избегать образования агломератов из частиц активной фазы.

Четвертый раздел. «Электромагнитные характеристики композиционных материалов на основе гексагональных ферритов».

Модифицированным методом Бейкера-Джарвиса вычислены спектры диэлектрической и магнитной проницаемости для образцов композиционных материалов на основе гексаферритов. Определено, что воздействие постоянного магнитного поля в процессе полимеризации образцов на основе порошков гексаферритов Z- и Y-типа позволяет значительно увеличить значение действительной и мнимой части магнитной проницаемости. Измерены спектры коэффициентов отражений композиционных материалов на основе порошков гексаферритов. Определены радиопоглощающие свойства исследуемых композиционных материалов в СВЧ диапазоне. Показано, что магнитное текстурирование предложенным способом позволяет получить материал с улучшенными поглощающими свойствами без изменения концентрации активной фазы, что проявляется в увеличении ширины рабочей полосы частот.

В заключении перечислены основные результаты работы.

Автореферат полно отражает основное содержание диссертационной работы и отвечает требованиям.

Апробация работы. Результаты диссертации полно отражены в публикациях автора и прошли апробацию на конференциях международного и всероссийского уровней. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе: 5 статей в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК; 7 статей в журналах, входящих в базу данных SCOPUS и Web of Science; 1 патент на полезную модель. Подана заявка на изобретение.

Достоверность полученных результатов

Достоверность результатов работы обеспечивается: сравнением результатов работы с независимыми экспериментальными данными, их соответствием и согласованностью между собой; анализом реальных инструментальных погрешностей; проведением измерений электромагнитных характеристик исследуемых образцов различными методами на поверенном оборудовании и аттестованными методиками.

Замечания по диссертационной работе:

1. В текстах автореферата и диссертации в конце каждой главы представлены выводы. Однако отсутствует раздел «Выводы по работе», в котором эти выводы представлены в обобщенном виде. Это затрудняет восприятие материала в целом.

2. В Разделе 1 диссертации не рассматривается влияние различных технологий получения гексаферритов на геометрию порошков получаемых материалов, и не обсуждается, как этот параметр отражается на возможностях метода магнитного текстурования.

2) В автореферате и в диссертации четко не прописано понятие «магнитная текстура».

3) В работе приведены результаты расчета спектров магнитной проницаемости методом Крамерса-Кронига только для образца одного состава. Было бы правильно провести такие расчеты для нескольких составов.

4) Часть выводов по полученным результатам в разделе 4 фактически является констатацией фактов. Было бы хорошо увидеть физическую интерпретацию полученных результатов.

5) В тексте диссертации имеются опечатки и неточности.

Заключение о соответствии диссертации требованиям,
установленным положением о порядке присуждения ученых степеней.

Указанные замечания не снижают научной значимости и практической ценности диссертации Дмитрия Викторовича.

Диссертационная работа Вагнера Дмитрия Викторовича «Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные решения, и соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Результаты и выводы достоверны и

имеют научную и практическую ценность. Защищаемые положения отражены в выводах диссертации. На основании вышеизложенного считаю, что Вагнер Дмитрий Викторович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиоп физика.

Я даю согласие на обработку персональных данных.

Официальный оппонент,

доктор технических наук по специальности

01.04.07 – физика конденсированного состояния,

ведущий научный сотрудник Проблемной

научно-исследовательской лаборатории

электроники, диэлектриков и полупроводников

Исследовательской школы физики высокоэнергетических

процессов ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский

Томский политехнический университет»...

634050, Томская область, г. Томск, проспект Ленина, дом 30

E-mail: ghyngazov@tpu.ru Телефон: +7-909-539-67-41

 Гынгазов Сергей Анатольевич

25 ноября 2019

Подпись С.А. Гынгазова удостоверяю

Учёный секретарь



 О.А. Ананьева