

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию ВАГНЕРА Дмитрия Викторовича «Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов», на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Диссертационная работа Вагнера Д.В. посвящена исследованию электромагнитных характеристик композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов в диапазоне частот до 18 ГГц.

В настоящее время одним из важнейших направлений развития радиофизики и электроники является изготовление и исследование электромагнитных характеристик современных композиционных магнитных радиоматериалов, что подтверждается большим числом научных работ, в которых приводятся результаты исследований: спектров магнитной и диэлектрической проницаемости, коэффициентов отражения, удельного сопротивления и других. Композиционные радиоматериалы, содержащие магнитные наполнители, применяются при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. Это позволяет радиоэлектронным средствам эффективно функционировать с заданным качеством в определенной электромагнитной обстановке, не создавая при этом недопустимых электромагнитных помех, влияющих на работу находящейся рядом аппаратуры.

Одними из наиболее популярных наполнителей, которые применяются при изготовлении композиционных магнитных материалов, являются оксидные гексагональные ферритмагнетики, которые относятся к высокочастотным материалам. Композиты на их основе отвечают современным требованиям благодаря высоким значениям магнитной и диэлектрической проницаемости в микроволновом диапазоне. Все это определяет актуальность диссертационной работы Вагнера Д.В.

Перед диссертационной работой Вагнера Д.В. поставлены следующие цели: 1) разработка методики получения композиционных радиоматериалов с улучшенными магнитными характеристиками для решения задач электромагнитной совместимости и других практических применений; 2) экспериментальное исследование электромагнитного отклика и спектров диэлектрической и магнитной проницаемости композиционных материалов на основе порошков оксидных гексагональных ферромагнетиков.

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 105 страниц машинописного текста, содержащего 89 рисунков и 8 таблиц. Список литературы содержит 79 источников.

В введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены защищаемые положения и дана общая характеристика диссертационной работы.

В первом разделе представлен обзор публикаций, посвященный электромагнитным и физическим характеристикам оксидных гексагональных ферромагнетиков и композиционных материалов на их основе. Описаны свойства гексаферритов различных типов и их возможные практические применения; методы синтеза гексаферритов и их влияние на магнитные характеристики получаемых материалов. Проведен обзор методов управления электромагнитными характеристиками композиционных материалов на основе гексаферритов. Рассмотрены и проанализированы различные способы получения текстурованных магнитных материалов и отмечены их минусы.

Во втором разделе описана разработанная автором установка для текстурования магнитных материалов постоянным магнитным полем. Исследованы и проанализированы ее основные характеристики и режимы работы. Приведено описание восстановленного автоматизированного

комплекса для исследования магнитных свойств магнитоупорядоченных материалов. В разделе также описываются методы вычисления электромагнитных параметров материалов. 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. Также в разделе приведено описание измерительных приборов, которые использовались в работе.

В третьем разделе приведено экспериментальное исследование удельной намагниченности порошков гексаферритов, выбранных автором в качестве наполнителя для изготовления композиционных радиоматериалов. Приведены структурные характеристики композиционных материалов на основе порошков гексагональных ферримагнетиков. Исследование морфологии поверхности образцов композиционных материалов методом сканирующей электронной микроскопии показало, что воздействие внешнего магнитного поля приводит к перераспределению положения частиц в структуре образца. Результаты проведения рентгенофазового анализа образцов композиционных радиоматериалов на основе порошков гексаферритов показали, что обработка исследуемых образцов магнитным полем и ультразвуком приводит к увеличению интенсивности пиков отражения от базисных плоскостей и увеличению степени текстуры магнитно-текстурованных образцов за счет выстраивания частиц активной фазы в направлении приложенного магнитного поля в процессе полимеризации.

В четвертом разделе вычислены спектры диэлектрической и магнитной проницаемости методом Бейкера-Джарвиса 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. По измеренным спектрам 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 сформулированы основные результаты диссертационной работы.

К числу наиболее важных результатов работы, имеющих научную новизну, относятся:

1. Способ изготовления текстурированного магнитного полимерного материала на основе гексаферритов путем внесения его в постоянное магнитное поле во время полимеризации и воздействия на него ультразвука.
2. Измеренные спектры коэффициентов отражения и прохождения полимерных композиционных материалов на основе гексаферритов Y-, W-, Z- и U-типа.
3. Вычисленные спектры диэлектрической и магнитной проницаемости композиционных материалов на основе гексаферритов Y-, W-, Z- и U-типа. Показано, что одновременное воздействие магнитного поля и ультразвука на композиционный магнитный материал на основе порошка гексаферрита в процессе его полимеризации увеличивает значения магнитной проницаемости.

Научная значимость результатов работы заключается в следующем:

– полученные в диссертационной работе результаты способствуют расширению области применения метода магнитного текстурирования для исследования фундаментальных свойств композиционных радиоматериалов на основе порошков гексаферритов;

– получены экспериментальные данные по зависимости комплексной магнитной проницаемости изотропных и анизотропных образцов композиционных материалов с разным фазовым составом от частоты, указывающие на новые свойства композитов на основе порошков ферритов с гексагональной структурой;

– предложенный способ изготовления текстурованных композиционных материалов на основе гексаферритов с плоскостью легкого намагничивания применим для других композитов с различными магнитными наполнителями;

– предложенный способ изготовления текстурованных магнитных композиционных материалов позволяет изменять рабочий диапазон частот радиоаппаратуры, за счет увеличения (или уменьшения) значения коэффициента отражения.

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы:

– для сокращения количества исходного сырья при изготовлении радиоматериалов с высокими электромагнитными характеристиками на основе порошков гексаферритов с плоскостью легкого намагничивания;

– для решения задач электромагнитной совместимости на предприятиях радиоэлектронной промышленности;

– для расчета радиоэлектронных устройств, при разработке которых используют магнитные композиционные радиоматериалы;

– для оценки влияния текстуры магнитных композиционных материалов на основе порошков гексаферритов с плоскостью легкого намагничивания на изменение электромагнитных характеристик изделий на их основе.

Результаты диссертационного исследования внедрены в научную и производственную деятельность предприятия. Разработанная установка для текстурования магнитных диэлектриков постоянным магнитным полем используется в учебном процессе на радиофизическом факультете Томского государственного университета.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени опубликованы в отечественных и зарубежных рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК и входящих в базы данных SCOPUS и Web of Science, доложены и обсуждены на ряде крупных всероссийских и международных конференциях. Список публикаций по теме диссертации состоит из 12 статей и 1 патента на полезную модель. Также автором подана и зарегистрирована заявка на изобретение.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

В качестве **замечаний** по работе можно указать следующее:

1. Известно, что функциональные свойства сложных гексаферритов существенно зависят от природы двухвалентного катиона либо ионного комплекса, входящего в кристаллическую структуру. В связи с этим возникает вопрос, почему именно эти ионные комплексы (Co-Zn, Co-Ti, Ni-Cu) были использованы для замещения в исследуемых ферритах?

2. Почему в качестве объекта исследований не рассматривался гексаферрит со структурой М-типа?

3. В обзорной части приводятся литературные данные по основным способам получения ферритов (керамическая технология, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, золь-гель-горение и т.д.). При этом в работе не указано, каким именно способом были синтезированы гексаферриты, используемые в качестве магнитного наполнителя.

4. Автор пишет, что керамическая технология используется для получения монокристаллических микроразмерных образцов, хотя получаемые по этой технологии образцы являются, как правило, макроразмерными.

5. Приведены результаты расчета спектров магнитной проницаемости методом Крамерса-Кронига только для образца одного состава.

6. В работе в незначительном количестве присутствуют опечатки. Кроме того, в отдельных пунктах обзорной части используется термин «окислы»,

