

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской
академии наук»
(ФИЦ КНЦ СО РАН)



Институт физики им. Л.В. Киренского
Сибирского отделения Российской академии наук –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН
(ИФ СО РАН)

660036, г. Красноярск,
Академгородок, д. 50, стр. 38
тел.: (391) 243-26-35, факс (391) 243-89-23
e-mail: dir@iph.krasn.ru, <http://kirensky.ru>

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института Физики
им. Л.В. Киренского СО РАН
Балаев Дмитрий Александрович



« 09 » декабря 2019 г.

« 09 » декабря 2019 г. № 356 - 52/ 5215 -

ОТЗЫВ

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт физики
им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН» г. Красноярск)

ведущей организации на диссертацию Вагнера Дмитрия Викторовича «Высоко-
частотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов
на основе гексагональных ферритов», представленную на соискание ученой сте-
пени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – «Радиофизика».

Актуальность темы диссертации

Диссертация Вагнера Д.В. посвящена исследованию высокочастотных электро-
магнитных характеристик композиционных радиоматериалов на основе гексагональных
ферритов, используемых при разработке радиоаппаратуры микроволнового диапазона.

Актуальность диссертационного исследования обоснована тем, что в последние
годы на объектах автоматизированных систем управления применяется большое коли-

чество аппаратуры, работающей на сверхвысоких частотах, что позволяет значительно ускорить и улучшить обработку, хранение и передачу информации, необходимой для управления автоматизированными процессами, а также облегчить работу обслуживающего персонала. При совместной работе такого большого количества радиоэлектронных устройств возникают побочные электромагнитные излучения (ПЭМИ), которые могут приводить к утечке информации, искажению сигналов и даже к отказам работы аппаратуры. Одним из способов снижения уровня ПЭМИ является использование радиопоглощающих материалов непосредственно внутри помещений. Снижение интенсивности отраженного излучения можно достичь использованием магнитного материала с низкой удельной проводимостью. Композиты на основе оксидных ферритов с гексагональной кристаллической структурой (гексаферритов) отвечают таким требованиям. Важно отметить, что гексаферриты благодаря значительным величинам магнитной кристаллографической анизотропии относятся к высокочастотным материалам. Однако композиты, изготовленные традиционным методом, когда частицы феррита в объеме материала располагаются хаотически, не обладают достаточной магнитной проницаемостью. Повысить эффективность взаимодействия композита с электромагнитным излучением можно, например, упорядочив определенным образом магнитные частицы. В результате можно снизить толщину и вес экранирующих слоев, применяемых в СВЧ диапазоне.

В связи с этим, тема диссертационного исследования, без сомнения, актуальна и соответствует современным направлениям решения проблем в рассматриваемой области науки.

Структура и содержание диссертации

Диссертация Вагнера Д.В. состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы и четырех приложений. Общий объем диссертации 105 страниц, включая 89 рисунков и 8 таблиц. Список литературы включает 79 цитированных источников.

Во **введении** обоснована актуальность темы, и степень ее разработанности, поставлены цели и сформулированы задачи диссертационного исследования. Отмечены научная новизна, научная и практическая значимость, названы методы исследования. Сформулированы положения, выносимые на защиту, и обоснована достоверность результатов представленной диссертационной работы. Приведен список конференций, на

которых были апробированы результаты исследования. Отмечен личный вклад автора, объем и структура диссертации.

В первом разделе представлен литературный обзор, посвященный электромагнитным и физическим характеристикам оксидных гексагональных ферромагнетиков и композиционных материалов на их основе. В нем приведены основные электромагнитные характеристики разных типов гексаферритов, а также областей их применения; методы 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 описаны способы изготовления гексаферритов и композитов на их основе под воздействием на их структуру магнитным полем, описаны известные способы получения текстурованных магнитных материалов. Дан анализ литературных источников, на основании которого выявлены существенные недостатки существующих методов повышения магнитной проницаемости композитных материалов, что позволило сформулировать задачу, на решение которой направлена диссертационная работа.

Во втором разделе приведено описание установки для текстурования магнитных материалов постоянным магнитным полем, а также экспериментального оборудования, которое применялось для проведения исследований свойств гексагональных ферромагнетиков и композиционных материалов на их основе. Приведены результаты исследования установки при изменении величин внешних воздействий (магнитного поля и ультразвука), что позволило подобрать режимы работы, обеспечивающие наибольшее упорядочение магнитных частиц в композите.

Приведено описание модернизированного автоматизированного комплекса для исследования магнитных свойств магнитоупорядоченных материалов, для которого был разработан и изготовлен новый индукционный датчик, что позволило повысить точность измерений удельной намагниченности насыщения. Этот факт доказан проведенными тестовыми измерениями на образцах никеля с известными значениями намагниченности насыщения.

В третьем разделе приведены результаты исследования магнитных свойств порошков гексаферритов, используемых в качестве наполнителей при изготовлении композитных радиоматериалов, а также структурных характеристик композиционных материалов на их основе. Описана методика изготовления экспериментальных образцов ис-

следуемых композиционных радиоматериалов. Приведены результаты измерений кривых намагничивания порошков гексаферритов в импульсных намагничивающих полях. Приведены результаты исследований морфологии поверхности и рентгенофазового анализа экспериментальных образцов, что позволило определить порядок расположения частиц наполнителя в объеме образцов и определить степень текстуры образцов композитных радиоматериалов на основе порошков гексаферритов $Ba_3Co_{2,4}Ti_{0,4}Fe_{23,2}O_{41}$ и $Ba_2NiCuFe_{12}O_{22}$. Показано, что одновременное воздействие ультразвукового излучения и магнитного поля приводит к равномерному распределению магнитных частиц в объеме текстурированного композитного материала и препятствует образованию агломератов из частиц активной фазы.

В четвертом разделе приведены результаты измерений электромагнитных характеристик композитных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов. Построены спектры диэлектрической и магнитной проницаемости образцов композитных радиоматериалов на основе гексаферритов с применением модифицированного метода Бейкера-Джарвиса. Полученные результаты показали, что воздействие постоянного магнитного поля в процессе полимеризации образцов на основе порошков гексаферритов Z- и Y-типа позволяет значительно увеличить значение действительной и мнимой компонент магнитной проницаемости. Измеренные спектры коэффициентов отражений образцов композитных материалов на основе порошков гексаферритов показали, что текстурирование предложенным магнитным способом позволяет получить материал с улучшенными поглощающими свойствами без изменения концентрации активной фазы, что проявляется в увеличении ширины рабочей полосы частот. Измеренные значения характеристик электромагнитного отклика показывают возможность применения текстурированного магнитного композита для практических применений.

В заключении перечислены основные результаты работы.

Апробация

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.

Степень достоверности полученных результатов диссертации

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

Научная новизна работы

Впервые был предложен способ изготовления текстурованного магнитного полимерного материала на основе гексаферритов путем внесения его в постоянное магнитное поле во время полимеризации и воздействия на него ультразвука.

Впервые измерены микроволновые спектры коэффициентов отражения и прохождения полимерных композитных материалов на основе гексаферритов Y-, W-, Z- и U-типа.

Впервые получены спектры диэлектрической и магнитной проницаемости композитных 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.

Практическая ценность результатов

Результаты диссертационного исследования могут быть использованы:

1. для уменьшения количества исходного сырья при изготовлении радиоматериалов с высокими электромагнитными характеристиками на основе порошков гексаферритов с плоскостью легкого намагничивания;
2. для решения задач электромагнитной совместимости на предприятиях радиоэлектронной промышленности;

Значимость результатов для науки и производства

1. полученные в диссертационной работе результаты способствуют расширению области применения методов магнитного текстурирования, применяемых в процессе изготовления гетерогенных материалов, что приводит к существенному изменению физических свойств, в частности, композитных радиоматериалов на основе порошков гексаферритов;

2. получены экспериментальные данные, которые показывают значительное увеличение компонент комплексной магнитной проницаемости изотропных и анизотропных образцов композитных материалов с разным фазовым составом, полученных предложенным автором работы способом;

При этом к диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. В работе не показано преимущество постоянного магнитного поля перед переменным полем, которое используют другие авторы при изготовлении композитных магнитных материалов для их текстурирования.
2. В тексте работы ничего не сказано про величину магнитного поля, используемого для текстурирования образца при синтезе композита. Сказано лишь про напряжение питания на клеммах обмотки магнита, но по этой величине нельзя судить о величине создаваемого магнитом поля;
3. Из текста работы не понятно, почему автор считает гексаферрит перспективным материалом для радиотехники?
4. Автор работы утверждает, что один из пиков, наблюдаемых на спектрах магнитной проницаемости, связаны с резонансом доменных границ в исследуемых образцах, однако не приведено никаких доказательств этому утверждению.
5. Судя по кратности частот минимумов на зависимостях обратных потерь, наблюдаемые резонансы, скорее всего, являются резонансами электромагнитных волн соответствующих мод колебаний в измерительной ячейке с образцом, но не в материале измеряемого образца. Доказательством или опровержением этого предположения могло бы быть 3D моделирование измерительной ячейки с изготовленными образцами в современных пакетах программ полного электромагнитного анализа, таких как, например, «CST Microwave Studio».
6. В тексте диссертации и автореферата встречаются многочисленные стилистические ошибки, например, «магнитная тяга», «ультразвуковая пластина», «конструкция контакта», «дефект образца материалов», «порошок размером не более 80 мкм», «морская промышленность», «материал имеет небольшой размер» и т.д.

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

Указанные замечания не снижают научной значимости и практической ценности диссертации Вагнера Д.В. Диссертация представляет собой законченную научно-

квалифицированную работу, выполненную на высоком уровне. Выводы по разделам работы сформулированы четко и обоснованно. Выносимые на защиту научные положения полностью соответствуют изложенным в диссертации результатам. Материал изложен последовательно, работа логично структурирована. Выполненные в диссертации исследования актуальны, обладают новизной, научной и практической значимостью. Результаты исследования в достаточной степени опубликованы и апробированы на конференциях различного уровня.

Текст автореферата соответствует основному содержанию диссертации, позволяет оценить научную и практическую значимость работы, содержит обоснованные выводы и рекомендации, отвечает требованиям ВАК РФ.

Диссертация Вагнера Д.В. «Высокочастотные электромагнитные характеристики композиционных радиоматериалов на основе гексагональных ферритов» соответствует заявленной научной специальности 01.04.03 – Радиофизика, удовлетворяет требованиям Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук (п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, ред. от. 01.10.2018), а ее автор заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Отзыв, составлен на основании ознакомления с текстом диссертации и автореферата, и устного доклада Вагнера Д.В. на совместном научном семинаре Лаборатории электродинамики и СВЧ электроники и Лаборатории научного приборостроения Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН, состоявшемся 22 ноября 2019 г. На заседании семинара присутствовало 28 человек. Отзыв на диссертацию Вагнера Д.В. одобрен единогласно.

Заведующий лабораторией,
доктор технических наук, профессор



Беляев Борис Афанасьевич

Почтовый адрес: 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, строение 38.

Тел.: +7(391) 243-26-35, e-mail: dir@iph.krasn.ru