

**УТВЕРЖДАЮ**

Ректор  
Федерального государственного  
бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Тамбовский государственный  
технический университет»  
И. Г. И., профессор  
Краснянский Михаил Николаевич



«30» 05 2022 г.

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**- Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» на диссертацию Тарасовой Оксаны Сергеевны «Высокочастотные магнитные и электрические свойства пленок и функциональных структур на основе нанокompозита  $(Co_{40}Fe_{40}B_{20})_x(SiO_2)_{100-x}$ », представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния**

В последнее время большой интерес привлекают исследования высокочастотных магнитных свойств нанокompозитов ферромагнитный металл-диэлектрик. Обладая наноразмерной гетероструктурой, где магнитные зерна диаметром несколько нанометров окружены диэлектриком, такие сплавы имеют высокое удельное сопротивление, зависящее от соотношения проводящей и изоляционной фаз. Однако, есть ряд проблем, которые на сегодняшний день не нашли подробного экспериментального изучения и теоретического объяснения. Механизмы формирования и управления высокочастотными магнитными свойствами нанокompозитов, и особенно многослойных наногетероструктур, поняты крайне недостаточно и задача оптимизации состава и структуры нанокompозитов для обеспечения максимально возможных высокочастотных магнитных свойств **является актуальной.**

Диссертация Тарасовой О.С. представляет собой законченное включает в себя введение, четыре главы, заключение, список литературы, который состоит из 148 наименований. Текст изложен на 144 страницах и включает 79 рисунков и 17 таблиц.

В соответствии с поставленной целью диссертационной работы Тарасовой О.С., отмечается решение следующих задач:

1. Разработан комплекс технологических приемов для получения образцов нанокompозитов  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  и многослойной структуры  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x} + \text{O}_2]\}_n$  размером  $400 \times 400$  мм<sup>2</sup> на поверхности лавсана и стеклоткани.

2. Проведен анализ взаимосвязи параметров осаждения (парциальное давление кислорода и концентрация диэлектрической фазы) и электрических свойств нанокompозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}$  и многослойной структуры  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5} + \text{O}_2]\}_n$ .

3. Исследованы магнитостатические и магнитодинамические свойства синтезируемых гетерогенных пленок.

4. Установлены параметры абсорбции электромагнитного излучения в диапазоне частот 1 – 10 ГГц образцов стеклотекстолита с нанесенным функциональным покрытием из нанокompозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}$  и многослойной структуры  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5} + \text{O}_2]\}_n$  на поверхность стеклоткани и квазифрактальной структуры с нанесенным функциональным покрытием из нанокompозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  на поверхности лавсана.

5. Разработана эмпирическая модель механизмов взаимодействия электромагнитного излучения в диапазоне частот 1 – 10 ГГц с исследуемыми структурами.

На основании проведенных экспериментальных исследований и их анализа автором получен ряд важных, принципиально **новых** результатов, имеющих высокую **научную значимость**:

1. Максимально достигнутые значения произведения удельного электрического сопротивления на магнитную проницаемость для пленки многослойной структуры  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x} + \text{O}_2]\}_n$ , полученной при циклическом добавлении кислорода с давлением  $\sim 4.3$  пар.%, в области концентраций металлической фазы от 40 ат.% до 60 ат.% на частоте 50 МГц, обусловлено увеличением магнитной проницаемости за счет подавления перпендикулярной магнитной анизотропии пленки, а также увеличением удельного электрического сопротивления образцов и незначительным сдвигом порога перколяции гетерогенной структуры.

2. Пленки нанокompозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}$  и многослойных структур  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5} + \text{O}_2]\}_n$ , осажденные на стеклоткань имеют большую частоту естественного ферромагнитного резонанса и полуширину частотной зависимости мнимой части комплексной магнитной проницаемости по сравнению с образцами на гладкой поверхности, что связано с наличием магнитной анизотропии формы фрагментов пленки на поверхности стеклонитей.

3. Пространственное перераспределение электрической составляющей электромагнитной волны в объеме образца относительно проводящих частиц структуры определяет уменьшение эффективной диэлектрической проницаемости стеклотекстолита с пленкой нанокompозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}$  и многослойной структуры  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{58,5}(\text{SiO}_2)_{41,5} + \text{O}_2]\}_n$ , осажденной на стеклоткань по сравнению с квазифрактальной структурой пленки нанокompозита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  на лавсане при равенстве удельных электрических сопротивлений резистивных слоев.

**Практическая значимость** работы определяется тем, что установлен оптимальный состав нанокompозитов, для которых достигнут максимальный коэффициент поглощения по энергии электромагнитной волны. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологических процессов получения тонких и сверхширокополосных радиопоглотителей.

Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации. Полученные в работе результаты представляются **достоверными**, а выводы и основные положения, выносимые на защиту – хорошо **обоснованными**, что обеспечивается высокой воспроизводимостью экспериментальных данных, согласием с известными теоретическими моделями и литературными данными. Работа выполнена с использованием современных методов исследования структуры и свойств материалов. Надежность и обоснованность научных положений, выносимых на защиту, подтверждены независимыми экспертными оценками рецензентов научных журналов, в которых опубликованы статьи, содержащие основные результаты работы. Основные результаты представлены в 15 научных работах, входящих в перечень ВАК, среди которых 7 статей, опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях, индексируемых базами данных Web of Science и Scopus, также получен патент РФ на полезную модель.

Вместе с тем, диссертация не лишена недостатков, некоторые из которых отмечены в представленных ниже **замечаниях**:

1. При выводе формулы 2.21 был рассмотрен только один процесс переотражения падающей и отраженной волны, что понижает точность интерпретации полученных результатов.

2. Приведенная микрофотография поперечного сечения пленки  $\{[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{60}(\text{SiO}_2)_{40}]/[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{60}(\text{SiO}_2)_{40}+\text{O}_2]\}_{176}$ , полученной при циклическом добавлении кислорода, на рис. 2.12 хорошо показывает наличие слоистой морфологии, но не демонстрирует гранулированной структуры композита.

3. На концентрационных зависимостях действительной и мнимой частей комплексной магнитной проницаемости многослойных структур на частоте 50 МГц (рис. 3.4 - 3.6) имеется максимум  $\mu''(x)$  его природа не обсуждается в диссертации, хотя вид зависимости очень похож на частоту естественного ферромагнитного резонанса, который как утверждает автор имеет частоту 1-3 ГГц.

4. На рис. 4.13 приведены зависимости коэффициента поглощения для квазифрактальных структуры и стеклотекстолита от удельного электрического сопротивления пленки композита причем в случае образцов на стеклоткани выявлено оптимальное сопротивление функционального покрытия, а для стеклотекстолита зависимость не имеет максимума в представленном диапазоне сопротивлений, что уменьшает ценность практического результата проведенных исследований.

Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Результаты диссертации имеют высокую научную значимость, поскольку работа на решение одной из важных задач современной физики конденсированного состояния – изучению влияния магнитной структуры, удельного электрического сопротивления пленки и конфигурации поверхности подложек на частотные зависимости коэффициента поглощения образцов

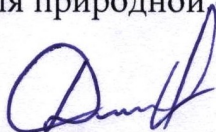
**Заключение.** Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную для науки и практических применений тему. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Новые научные результаты, полученные диссертантом в работе, имеют существенное значение для науки и практики в области физики конденсированного состояния. Основные научные результаты достаточно полно отражены в публикациях, в том числе и по Перечню ВАК. Диссертационная работа Тарасовой Оксаны Сергеевны соответствует паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния в части пунктов 1,2, пункту 6 и удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» Постановления Правительства Российской Федерации №842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Физика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», протокол № 9 от 25 мая 2022 г.

Отзыв подготовил профессор кафедры «Физика», доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния, профессор Моргунов Роман Борисович.

*Подтверждается согласие на обработку персональных данных*

Заведующий кафедрой «Физика» ФГБОУ ВО «ТГТУ»,  
доктор технических наук по специальности  
05.11.13 Приборы и методы контроля природной среды,  
веществ, материалов и изделий,  
профессор



Дмитриев Олег Сергеевич

«25» 05 2022 г.

Подпись Дмитриева О.С. заверяю:

Ученый секретарь ученого совета, к.т.н., доцент



Мозгова Г.В.

«25» 05 2022 г.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Почтовый адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.106/5, помещение 2

Телефон: 8 (4752) 63-10-19

E-mail: [tstu@admin.tstu.ru](mailto:tstu@admin.tstu.ru)