

Сведения о выполненных работах и полученных научных результатах
в период с 01.07.2023 г. по 30.06.2024 г.

по проекту **«Разработка и исследование физических свойств полимерных магнитных композиционных материалов на основе оксидных ферримагнетиков для обеспечения электромагнитной совместимости технических средств»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-79-00074

Руководитель: Вагнер Дмитрий Викторович, канд. техн. наук

За отчётный период проведены следующие работы:

1. Синтезированы ферриты $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x = 0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$) по короткой технологической схеме с применением керамической технологии. Исследованы их фазовый состав, структура и магнитные свойства.
2. Разработаны композиционные материалы на основе ферритов $\text{Ni}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$. Исследованы электромагнитные свойства (спектры комплексных магнитной и диэлектрической проницаемостей и коэффициентов отражения) композитов в диапазоне частот от 0,01 до 18 ГГц.
3. Методом магнитного текстурирования разработаны композиты на основе ферритов $\text{Ba}_3\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,2}\text{O}_{41}$ и $\text{Ba}_2\text{NiCuFe}_{12}\text{O}_{22}$. Исследованы электромагнитные свойства композитов в диапазоне частот от 0,01 до 18 ГГц, и определены их зависимости от воздействия постоянного магнитного поля в процессе полимеризации композитов.
4. Исследованы структурные характеристики разработанных композиционных материалов: распределение частиц наполнителя, тип магнитной текстуры.
5. Вычислена степень магнитной текстуры композитов при воздействии на них магнитных полей разной напряженности.
6. Изготовлены многослойные композиты на основе ферритов $\text{Ba}_3\text{Co}_{1,9}\text{Ti}_{0,4}\text{Fe}_{23,2}\text{O}_{41}$ и $\text{Ni}_{0,7}\text{Zn}_{0,3}\text{Fe}_2\text{O}_4$. Исследованы их электромагнитные свойства в диапазоне частот от 0,01 до 18 ГГц.
7. Создана методика для разработки магнитных полимерных композиционных материалов на основе порошков оксидных гексагональных ферримагнетиков для их применения при решении задач электромагнитной совместимости.

Полученные научные результаты:

1. Керамическая технология по короткой схеме (без предварительного обжига) может быть использована для получения однофазных никель-цинковых ферритов с высокими значениями намагниченности насыщения. Мокрое прессование и высокое давление приводят к уменьшению пористости образцов, что увеличивает полноту протекания химических реакций и скорость образования целевой фазы в продуктах синтеза. Также, плотная упаковка исходной шихты способствует быстрому росту кристаллитов. Высокая температура синтеза приводит к увеличению намагниченности насыщения. Изменение концентрации ионов цинка существенно влияет на магнитные свойства исследуемых ферритов. Таким образом, варьируя

химический состав, можно синтезировать ферриты под требуемые интервалы рабочих температур с заданными магнитными свойствами.

2. Воздействие на композиты, разработанные на основе порошков гексаферритов с магнитной кристаллической анизотропией типа «легкая плоскость», в процессе их полимеризации постоянного магнитного поля, позволяет увеличить значения действительной и мнимой частей комплексной магнитной проницаемости и улучшить радиопоглощающие свойства без увеличения толщины поглотителя и без изменения его химического состава.

3. Использование магнитных полей различной напряжённости и ферритовых наполнителей с различными размерами частиц можно подбирать необходимую полосу и уровень поглощения электромагнитного излучения за счёт изменения значений комплексной магнитной проницаемости.

4. Воздействие на композиты, разработанные на основе порошков гексаферритов с магнитной кристаллической анизотропией типа «легкая плоскость» в процессе их полимеризации постоянного магнитного поля величиной 2,5 кЭ позволяет достичь равномерного распределения частиц наполнителя и высокую степень магнитной текстуры (не менее 0,7).

5. Использование многослойных конструкций, состоящих из порошков ферритов с кубической и гексагональной структурами, позволяет значительно увеличить ширину и уровень полосы поглощения высокочастотного электромагнитного излучения по сравнению с однослойными композитами той же толщины.

6. Для создания широкополосных поглотителей могут быть использованы многослойные конструкции со слоями гексаферритов и ферритов-шпинелей различных составов с частотами резонанса доменных границ и естественного ферромагнитного резонанса в длинноволновой части диапазона СВЧ.

Возможность практического использования результатов проекта:

Результаты проекта могут быть использованы на предприятиях радиоэлектронной промышленности Российской Федерации, которые занимаются производством высокочастотной техники и материалов для её изготовления. Разрабатываемые в рамках проекта материалы поглощают побочное электромагнитное излучение в широком диапазоне частот, что позволит удовлетворить современные требования к радиоэлектронному оборудованию (ГОСТ Р МЭК 61000-6-7-2019 Электромагнитная совместимость (ЭМС). Требования к помехоустойчивости для оборудования, предназначенного для выполнения функций в системах, связанных с безопасностью (функциональная безопасность), на промышленных площадках).