

Магнитокристаллическая анизотропия гексаферритов системы $\text{Ba}_2\text{Ni}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ *

В.А. Журавлев¹, Р.Ш. Сайидкулов¹, О.А. Доценко¹, Д.В. Вагнер¹

¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Представлены результаты исследования ферромагнитного резонанса на сферических образцах поликристаллических оксидных гексагональных ферримagnetиков Y-типа составов $\text{Ba}_2\text{Ni}_{2-x}\text{Cu}_x\text{Fe}_{12}\text{O}_{22}$ с концентрацией $0.0 \leq x \leq 2.0$ в диапазоне частот 37–50 ГГц. Гексаферриты синтезированы стандартным керамическим методом. Из опытов по ферромагнитному резонансу (ФМР) определены поля магнитокристаллической анизотропии и величины магнито-механических отношений как целевой Y-фазы, так и примесных фаз. Полученные по данным ФМР оценки фазового состава синтезированных материалов сравниваются с результатами рентгенофазового анализа.

Ключевые слова: гексагональный ферримagnetик, ферромагнитный резонанс, магнитокристаллическая анизотропия, магнито-механическое отношение.

Введение

Оксидные ферримagnetики с гексагональной кристаллической структурой (гексаферриты) находят широкое применение в различных отраслях современной науки и техники. О неослабевающем интересе ученых и инженеров к этим материалам свидетельствует значительный рост числа публикаций, посвященных исследованиям физических свойств и различным аспектам применения гексаферритов, отмеченный в обзорных работах [1–4].

В отличие от ферритов со структурой шпинели или граната, гексаферриты обладают большими значениями полей магнитокристаллической анизотропии (МКА), а также сравнительно высокими величинами намагниченности насыщения (M_s) и температуры Кюри [5]. По типу МКА гексаферриты подразделяются на две группы.

К первой группе относятся магнито-жесткие материалы (ферроксдюры) с положительной константой МКА, большими величинами полей МКА (H_a) и магнитным упорядочением типа ось легкого намагничивания (ОЛН), которая направлена вдоль гексагональной оси c кристалла. Они используются для изготовления постоянных магнитов, в качестве носителей магнитной записи, а также в различных устройствах микроволнового и миллиметрового диапазонов длин волн. К ним относятся простейшие гексаферриты M-типа со структурой магнетоплюмбита: $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{Fe}_{12}\text{O}_{19}$ ($0.0 \leq x \leq 1.0$). Методы получения, магнитные свойства и области применения этих материалов подробно рассмотрены в работах [1, 5] и в специализированных обзорах [6, 7].

Вторая группа – это магнито-мягкие материалы (ферроокспланы) с отрицательной константой анизотропии и магнитным упорядочением типа плоскость легкого намагничивания (ПЛН). Шесть направлений легкого и промежуточного намагничивания данной группы материалов расположены в базисной плоскости кристалла, перпендикулярной гексагональной оси c . К этой группе материалов относятся гексаферриты более сложных структурных типов: Y, W, Z, X, U. Методики синтеза, кристаллографическая структура и магнитные свойства ферроокспланов описаны также в работах [1, 5] и в специализированном обзоре [8]. Характерной особенностью ферроокспланов, содержащих в своей структуре ионы Co^{2+} , является наличие последовательности спин-ориентационных фазовых переходов (СОФП) при уменьшении температуры от точки Кюри [5]. Вблизи температуры Кюри они имеют магнитное упорядочение типа ОЛН. При понижении температуры происходит переход к магнитному упорядочению типа ПЛН через промежуточную фазу типа конус легкого намагничивания (КЛН). Дальнейшее охлаждение приводит к СОФП от ПЛН к КЛН. В кобальтсодержащих гексаферритах W- и Z-типов температуры этих переходов подробно исследованы в работах [9, 10]. Как правило, поле анизотропии в базисной плоскости (H_ϕ) ферроокспланов существенно меньше (приблизительно на два порядка), чем поле анизотропии относительно гексагональной оси (H_\parallel) [5]. Поэтому эти материалы имеют более высокие значения магнитной проницаемости в микроволновом диапазоне, чем материалы с ОЛН [5]. Их применяют при изготовлении под-

* Результаты получены в рамках выполнения госзадания Минобрнауки России, проект № FSWM-2025-0014.