

КОРРЕЛЯЦИИ ОСЕЙ СЛУЧАЙНОЙ АНИЗОТРОПИИ ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ

Назаренко Е.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Данилюк А.Л. – канд. физ.-мат. наук, доцент
Прищепа С.Л. – доктор физ.-мат. наук, профессор

В данной работе представлены результаты моделирования корреляционных функций случайных осей анизотропии для двумерной системы ферромагнитных наночастиц. Установлено наличие как монотонных, так и немонотонных зависимостей корреляционных функций от расстояния, в том числе и скачкообразного вида.

Массивы ферромагнитных наночастиц на поверхности двумерных кристаллов, в частности графена, представляют большой интерес для исследователей. Синтез и исследование таких магнитных композитов является весьма актуальной задачей для разработки устройств спинтроники. Такие композиты могут быть успешно синтезированы путем нанесения наночастиц различных ферромагнитных металлов на поверхность графена [1]. Для анализа результатов магнитных измерений магнитных композитов и их интерпретации обычно используется модель случайной анизотропии (МСА). Однако она ограничена из-за лежащими в ее основе приближениями, такими как выбор корреляционной функции. В МСА корреляции осей случайной анизотропии описываются только экспоненциальной функцией, к тому же устанавливаются жесткие соотношения между внешним магнитным полем и полем обмена. Указанных недостатков лишен подход, развитый в работе [2]. Он описывает закон приближения к намагниченности насыщения (ПНН) в интегральной форме и позволяет находить корреляционные функции для осей случайной анизотропии непосредственно из функций-образов, определяющих этот закон. Также данный подход свободен от ограничений МСА. Закон ПНН для двумерных магнитных композитов соответствует интегральному преобразованию Мейера [3]. С его помощью возможно определить корреляционные функции осей случайной магнитной анизотропии $C(z)$, а также поля обмена H_{ex} и случайной анизотропии H_a . Закон ПНН для двумерной магнитной системы, полученный в [4], может быть записан в виде преобразования Мейера [3]

=

где $\delta M(p) = M_s - M(H)$, K_1 – модифицированная функция Бесселя второго рода первого порядка, $M(H)$ – намагниченность в области ПНН, M_s – намагниченность насыщения, $p = (H/H_{ex})^{1/2}$, H – напряженность внешнего магнитного поля.

Из экспериментальных данных по измерению намагниченности $M(H)$ двумерных массивов ферромагнитных наночастиц определялась функция изображения $F(p)$. Расчеты проводились с использованием интегрального преобразования Мейера, описывающего закон приближения к намагниченности насыщения ансамбля ферромагнитных наночастиц [4]. Рассмотрен пример в виде аналитической функции изображения, на основе которой получены корреляционные функции различных типов, как монотонные, так и немонотонные, характеризующиеся наличием изломов, скачков. Установлено, что для магнитной системы, характеризующейся наличием корреляционной функции, возрастающей по амплитуде с расстоянием, наблюдается рост корреляций осей анизотропии под влиянием дипольного взаимодействия, обменной связи при наличии антиферромагнитной оболочки, характеризующейся сильной магнитной анизотропией. Для немонотонной корреляционной функции с одним максимумом можно предположить существенное превышение поля случайной анизотропии над обменным полем в области, где корреляционная функция растет с расстоянием. Ее уменьшение характеризует затухание корреляций с расстоянием для массивов ферромагнитных наночастиц со слабым дальним действием. Скачки корреляционной функции связаны с ограниченными областями сильной корреляции осей анизотропии за счет самоорганизации наночастиц в определенные кластеры, сравнительно слабо взаимодействующие друг с другом.

Список использованных источников:

1. CVD graphene sheets electrochemically decorated with "core-shell" Co/CoO nanoparticles / V.G. Bayev [et al.] // *Appl. Surf. Sci.* 440. – 2018. – P. 1252-1260.
2. Chudnovsky, E.M. The magnetism of amorphous metals and alloys / E.M. Chudnovsky, J.A. Fernandez-Baca, W.-Y. Ching // *World Scientific, Singapore.* – 1995. – Ch. 3. – P. 143-175.
3. A. Erdélyi (Ed.), *Tables of Integral Transforms* / A. Erdélyi // McGraw-Hill Book Co., New York. – 1954. – vol. 2. – 451 p.
4. Danilyuk, A.L. Low-temperature magnetic ordering in Co²⁺ core/CoO shell nanoparticles on the copper surface / A.L. Danilyuk [et al.] // *Current Applied Physics.* – 2023. – Vol. 56. – P. 79-84.