

# МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МАССИВА УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК С НАНОЧАСТИЦАМИ ЖЕЛЕЗА И ЦЕМЕНТИТА

Е.С. Назаренко, М.В. Шарейко

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники», Минск, Республика Беларусь*

Перспективы использования массивов углеродных нанотрубок (УНТ) в спинтронных приборах обработки информации определяются их магнитными свойствами. Образцы были получены методом каталитического CVD с использованием ферроцена [1]. Анализ экспериментальных данных показал, что область приближения к намагниченности насыщения (LAS) характеризуется обратной квадратичной зависимостью от напряженности внешнего магнитного поля для образца, синтезированного с низкой концентрацией ферроцена 0,5 мас.%. Когда концентрация ферроцена больше 1 мас.% полученная LAS пропорциональна обратной зависимости от напряженности магнитного поля в степени 1/2. Установлено, что в массивах магнитофункционализированных углеродных нанотрубок, синтезированных при концентрации ферроцена 0,5–0,8 объемных процентов, с ростом температуры от 2 до 300 К происходит постепенное изменение закона приближения к намагниченности насыщения от обратной квадратичной зависимости от напряженности внешнего магнитного поля до обратной зависимости квадратного корня.

С помощью модели случайной анизотропии получены оценки поля обменного взаимодействия и поля магнитной анизотропией для различных концентраций наночастиц железа в ориентированных массивах углеродных нанотрубок. Полученные оценки этих полей показали, что их величины соответствуют области приближения к намагниченности насыщения. Этот результат влечет за собой определение корреляционных функций, обуславливающих вклад случайной анизотропии, а также уточнение оценок полей обмена и анизотропии. С помощью интегральной модели приближения к намагниченности насыщения [2] установлено, что при концентрации ферроцена 0,5 мас.% корреляционная функция имеет ступенчатый характер (ширина ступеньки составляет около 400 нм) и описывается функцией схожей с функцией Ферми-Дирака. В этом случае обменное взаимодействие между магнитными

наночастицами слабо и основной вклад в энергию дает случайная и когерентная анизотропия. Этот эффект обусловлен тем, что ориентация УНТ вместе с локализацией ферромагнитных наночастиц во внутренних каналах УНТ способствует возникновению ориентационной упорядоченности в образце. С ростом концентрации ферроцена и с повышением температуры корреляционная функция качественно меняет вид и описывается осциллирующей функцией.

Таким образом, в результате проведенных исследований магнитных свойств нанокompозитов на основе массивов УНТ, содержащих наночастицы железа и цементита, выявлены механизмы обменного взаимодействия и магнитной анизотропии, оценены основные магнитные параметры с использованием модели случайно анизотропии и модифицированной модели для закона приближения к намагниченности насыщения. Показано, что в случае, когда значение обменного поля находится в области приближения к намагниченности насыщения, для оценок магнитных свойств необходимо определять корреляционные функции методом обратного интегрального преобразования Лапласа.

### **Список литературы**

1. Danilyuk A.L. [et al.] *New J. Phys.* 2015. Vol.17 (2). P. 023073.
2. Chudnovsky E.M. *J. Magn. Magn. Mater.* 1989. Vol. 79, iss. 1. P. 127–130.