

Спин-поляризационная релаксация

Для объяснения аномальной релаксации в магнитных нанокompозитных структурах предложена спин-поляризационная модель, заключающаяся в том, что спин ферромагнитных наночастиц взаимодействует со спинами неспаренных электронов, локализованных на дефектах аморфной матрицы.

Спиновые возбуждения одиночной ферромагнитной наночастицы и релаксация ее спина, обусловленная взаимодействием с неспаренными локализованными электронами матрицы, исследованы в рамках *s-d*-обменной модели [4]. Из-за взаимодействия с неспаренными электронами (*s*-система), спиновые возбуждения наночастицы (*d*-система) значительно отличаются от спиновых возбуждений, рассмотренных в модели Гейзенберга. Спектр спиновых возбуждений и коэффициент релаксации найдены из

уравнения для спиновой функции Грина наночастицы в однокольцевом приближении по электронным функциям Грина неспаренных электронов матрицы (Рис. 1). Спектр разбивается на две части:

спинволновые возбуждения частицы и коллективные возбуждения спина частицы и электронов матрицы – спин-поляризационные возбуждения. При спин-поляризационных возбуждениях вместе с изменением ориентации спина гранулы меняется спиновая

поляризация близлежащих локализованных электронов матрицы. Возбуждения локализованных электронов переходят в фоновые возбуждения решетки. Благодаря этому механизму, названному спин-поляризационной релаксацией, гранулированные структуры обладают аномально большим коэффициентом затухания спиновых возбуждений и большой шириной линий ФМР, значительно превышающей собственную релаксацию модели Гейзенберга. Локализованными электронными состояниями в матрице могут быть или глубоко лежащие по энергии уровни (например, дефекты матрицы), или состояния термически активированной электронной шубы наночастиц, расположенные в зоне проводимости матрицы. В первом случае процесс спиновой релаксации гранул не зависит от температуры. Во втором случае наблюдается сильная температурная зависимость. Спин-поляризационная релаксация зависит от плотности локализованных электронных состояний в матрице, которые на частотах СВЧ диапазона имеют величину расщепления, равную энергии СВЧ кванта, и, вследствие этого, расположены далеко от гранул. При увеличении концентрации гранул увеличивается обменное расщепление уровней локализованных состояний, проистекающее от соседних гранул, и эти

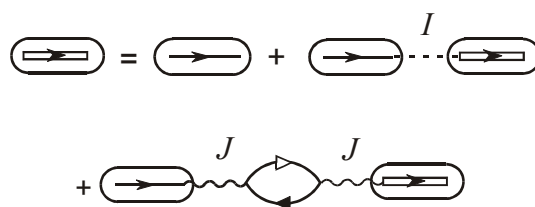


Рис. 1. Уравнение для эффективной спиновой функции Грина, выраженное через затравочные функции. I – обменное взаимодействие между спинами частицы, J – обменное взаимодействие с локализованными электронами в матрице. $I \gg J$.

состояния уже не вносят вклад в спин-поляризационную релаксацию. Это приводит к уменьшению магнитно активных уровней в матрице, приходящихся на одну гранулу и к уменьшению коэффициента затухания с ростом концентрации магнитных наночастиц. Уменьшение коэффициента затухания спиновых возбуждений с ростом концентрации магнитных гранул, предсказанное теоретически, а также уменьшение затухания, связанное с уменьшением числа локализованных электронных состояний в матрице после отжига, наблюдалось экспериментально (Рис.2).

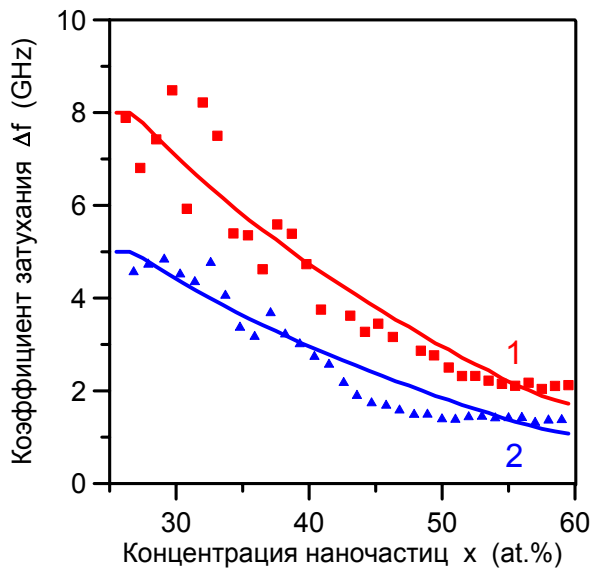


Рис. 2. Коэффициент затухания спинволновых возбуждений Δf гранулированной структуры $(a\text{-SiO}_2)_{100-x}(\text{Co}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{B}_{0.2})_x$ в зависимости от концентрации металлической фазы x на частоте 4.8 GHz. 1 – без отжига, 2 – после отжига при 400°C. Сплошные линии – теоретические зависимости, рассчитанные при среднем количестве соседей $n = 5$ и расстоянии 1.3 nm от границ гранул до локализованных состояний в матрице SiO_2 .