

Магнитотранспортные явления

В гранулированных пленках с ферромагнитными металлическими наночастицами наблюдается как отрицательное, так и положительное магнитосопротивление. Отрицательное магнитосопротивление объясняется спин-зависимым резонансным туннелированием электронов через цепочку локализованных состояний между кластерными электронными состояниями (КЭС) (Рис. 1) [12]. Локализованные состояния образованы дефектами и примесями аморфной матрицы и расщеплены внешним и внутренним магнитными полями и обменным взаимодействием с $d(f)$ -электронами наночастиц. Наличие слаборасщепленных локализованных состояний в канале туннельной проводимости между КЭС приводит к отсутствию насыщения магнитосопротивления в сильных магнитных полях в структурах с малыми концентрациями наночастиц, что подтверждено экспериментально на структурах $a\text{-SiO}_2$ с наночастицами сплава $(\text{Co}, \text{Nb}, \text{Ta})$ (Рис. 2). Обнаружен максимум величины отрицательного магнитосопротивления при определенной концентрации наночастиц (Рис. 3) в структурах, находящихся в суперпарамагнитном состоянии, который объясняется действием двух факторов. Увеличение длины цепочки локализованных состояний между КЭС при понижении концентрации наночастиц приводит (а) к уменьшению коэффициента s - s -туннелирования, что ведет к увеличению магнитосопротивления, и (б) к росту вероятности неупругого рассеяния спина туннелирующего электрона, которое понижает магнитосопротивление.

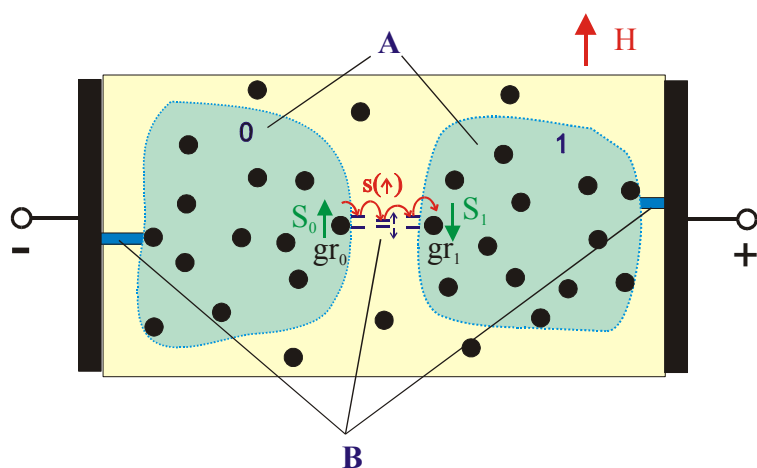


Рис. 1. Электронный транспорт в магнитном поле H между двумя кластерными электронными состояниями (КЭС) 0 и 1. (А) - КЭС; (В) - спин-поляризованные каналы; gr_0 и gr_1 - гранулы, с которых начинается и заканчивается цепочка локализованных состояний туннельного канала; S_0 , S_1 - спины гранул gr_0 и gr_1 .

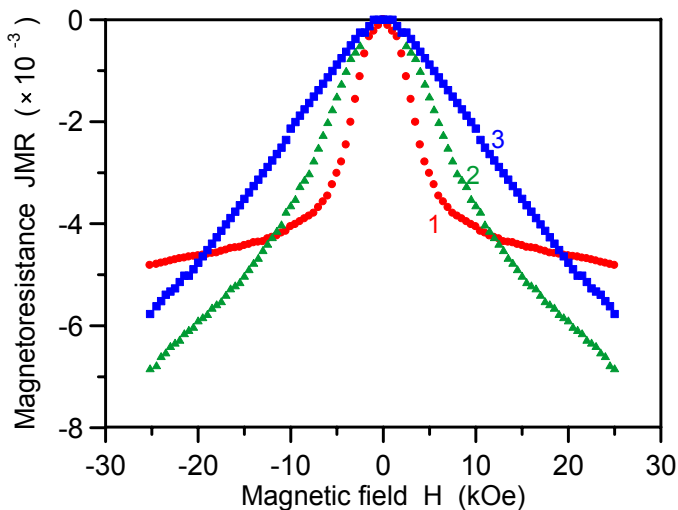


Рис. 2. Магнитосопротивление JMR неотожженной гранулированной структуры $\alpha\text{-SiO}_2(\text{Co},\text{Nb},\text{Ta})$ в зависимости от величины внешнего магнитного поля H при различных концентрациях гранул x : (1) - 54.5, (2) - 41.9, (3) - 31.7 at. %.

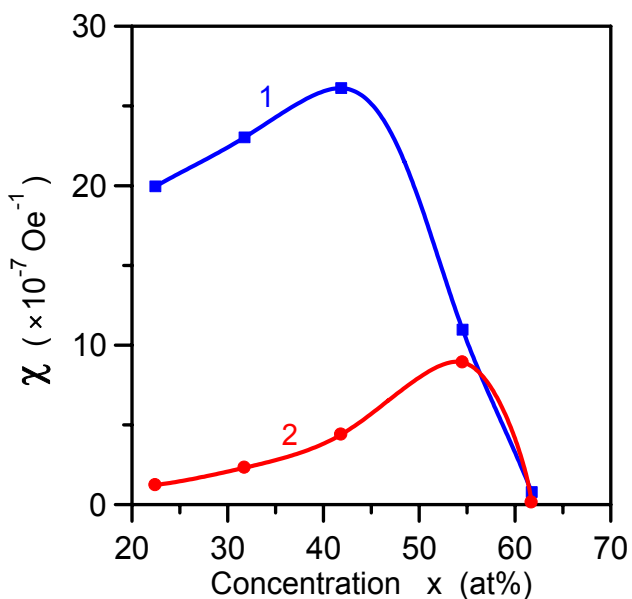


Рис. 3. Производная относительного удельного сопротивления от магнитного поля χ при $H = 3$ kOe в зависимости от концентрации металлической фазы x в неотожженной гранулированной структуре $\alpha\text{-SiO}_2(\text{Co},\text{Nb},\text{Ta})$ при температуре 77 (1) и 295 К (2).

Положительное магнитосопротивление [Аронзон Б.А., Варфоломеев А.Е., Ковалев Д.Ю., Ликальтер А.А., Рыльков В.В., Седова М.А., *Проводимость, магнитосопротивление и эффект Холла в гранулированных пленках Fe/SiO₂* // ФТТ 1999, 41 (6), 944. Варфоломеев А.Е., Седова М.В., *Эффект большого положительного магнитосопротивления в слабых магнитных полях в металл-диэлектрических нанокompозитах* // ФТТ 2003, 45(3), 500] может быть объяснено на основе s - d -обменной модели [Изюмов Ю.А., Кассан-оглы Ф.А., Скрыбин Ю.Н., *Полевые методы в теории ферромагнетизма*; Наука: Москва, 1974, 224 с.], в которой КЭС (s -система) связана обменным взаимодействием со спинами наночастиц (d -система). Действие магнитного поля с величиной большей поля насыщения упорядочивает спины наночастиц и ведет к увеличению размера локализации КЭС. После снятия поля эти спин-упорядоченные состояния становятся нестабильными, что приводит к эффекту положительного магнитосопротивления. При некоторых условиях возможно наблюдение фазового перехода суперпарамагнетик - ферромагнетик, индуцированного магнитным полем.