

УДК 537.311.31

М.А. Анисимов<sup>1</sup>, В.В. Глушков<sup>2</sup>, С.В. Демидов<sup>2</sup>, Р.В. Привезенцев<sup>3</sup>, Я.М. Муковский<sup>3</sup>,  
Н.Е. Случанко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский физико-технический институт (государственный университет)

<sup>2</sup> Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

<sup>3</sup> Московский институт стали и сплавов (национальный исследовательский технологический университет)

## Магнитосопротивление в $\text{La}_{0,78}\text{Ca}_{0,22}\text{MnO}_3$

В работе выполнено исследование поперечного магнитосопротивления монокристаллических образцов  $\text{La}_{0,78}\text{Ca}_{0,22}\text{MnO}_3$  в области температур  $60 \text{ K} < T < 300 \text{ K}$  в магнитных полях до  $80 \text{ кЭ}$ . Установлено, что отрицательное магнитосопротивление (ОМС) может быть интерпретировано в рамках модели Иосиды, описывающей рассеяние носителей заряда на локализованных магнитных моментах. В рамках указанного подхода в работе выполнена оценка локальной восприимчивости  $\chi_{loc}$ .

**Ключевые слова:** колоссальное магнитосопротивление, манганиты, модель Иосиды, локальная магнитная восприимчивость.

## I. Введение

Интерес к исследованию легированных манганитов лантана  $\text{La}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ , (A — двухвалентный элемент A = Ca, Ba, Sr и др.) связан с эффектом колоссального магнитосопротивления (КМС), проявляющегося в резком уменьшении сопротивления этих соединений при приложении внешнего магнитного поля. Максимальная амплитуда эффекта КМС обычно наблюдается в непосредственной окрестности перехода в ферромагнитное (ФМ) состояние, при этом высокие значения температуры Кюри  $T_C \sim 250 \text{ K} - 450 \text{ K}$  открывают широкие перспективы их технологического применения. Следует особо отметить, что физические свойства манганитов лантана оказываются крайне чувствительны к концентрации двухвалентной примеси [1]. В частности, легирование кальцием антиферромагнитного (АФМ) диэлектрика  $\text{LaMnO}_3$  приводит к формированию основного ферромагнитного диэлектрического состояния для  $x > 0,13$ , а затем к переходу в ФМ металлическую фазу при концентрации  $x \sim 0,22$  [1]. В составах  $x \sim 0,3$  наблюдается максимальная амплитуда эффекта КМС, причём дальнейший рост концентрации кальция  $x \geq 0,5$  возвращает систему в АФМ диэлектрическое состояние с другой магнитной структурой (рис. 1).

## II. Методика эксперимента

Традиционно синтез монокристаллических образцов  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  осложняется из-за их крайней чувствительности к наличию различных примесей, включений посторонних фаз, а также достаточно высокой температурой плавления  $T \sim 1800 - 1900 \text{ }^\circ\text{C}$ . Исследуемые в данной работе монокристаллические образцы

$\text{La}_{0,78}\text{Ca}_{0,22}\text{MnO}_3$  выращивались методом бестигельной зонной плавки с радиационным нагревом, который исключает загрязнение кристаллов материалом тигля [2]. Контроль качества образцов осуществлялся методом рентгеноструктурного анализа.

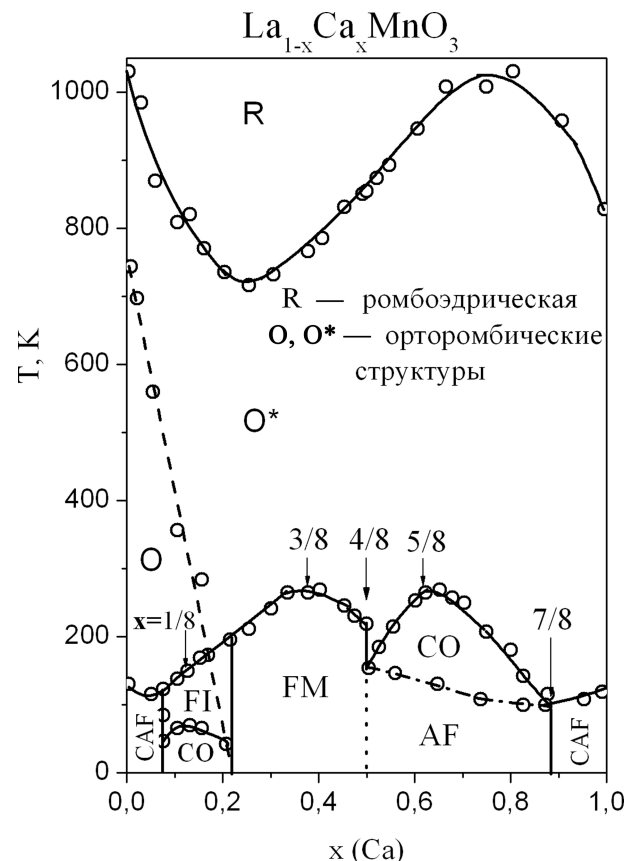


Рис. 1. Фазовая  $x - T$ -диаграмма манганитов  $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$  [1]. Линиями обозначены границы фазовых переходов. На рис. приведены следующие обозначения: CFA — скошенный АФМ, FI — ФМ-диэлектрик, FM — ФМ-металл, CO — зарядовое упорядочение

Измерения удельного сопротивления  $\rho(T)$  проводились на установке для гальваномангнитных характеристик [3], позволившей достичь высокой точности стабилизации температуры ( $\Delta T \sim 0,01 \text{ К} - 0,02 \text{ К}$ ) и магнитного поля (около  $\Delta H/H \sim 10^{-5}$  при 80 кЭ).

### III. Результаты и дискуссия

Для выяснения природы аномальных физических свойств легированного манганита лантана в окрестности концентрационного перехода металл–диэлектрик в работе выполнено исследование магнитосопротивления монокристалла  $\text{La}_{0,78}\text{Ca}_{0,22}\text{MnO}_3$  в области температур  $60 \text{ К} < T < 300 \text{ К}$  в магнитных полях до 80 кЭ.

Установлено, что максимальный эффект КМС наблюдается в окрестности температуры Кюри  $T_C = 183,3 \text{ К}$  и достигает значений  $\Delta\rho/\rho = [\rho(H) - \rho(0)]/\rho(0) \sim 80\%$  (рис. 2). В ФМ-фазе при  $T < T_C$  впервые обнаружено сложное поведение магнитосопротивления, характеризующее переходом от положительного ( $\Delta\rho/\rho > 0$  при  $H < 20$  кЭ) к отрицательному магниторезистивному эффекту ( $\Delta\rho/\rho < 0$ ) в больших полях (рис. 2). Кроме того, оказалось, что в ФМ-фазе магнитосопротивление анизотропно и зависит от ориентации магнитного поля относительно легкой ( $H||b, \Delta\rho/\rho_{\min}$ ) и трудной ( $H||c, \Delta\rho/\rho_{\max}$ ) осей намагничивания (рис. 2). Указанный эффект наблюдается и в парамагнитной (ПМ) фазе, при этом анизотропия магнитосопротивления практически исчезает при  $T > 230 \text{ К}$ .

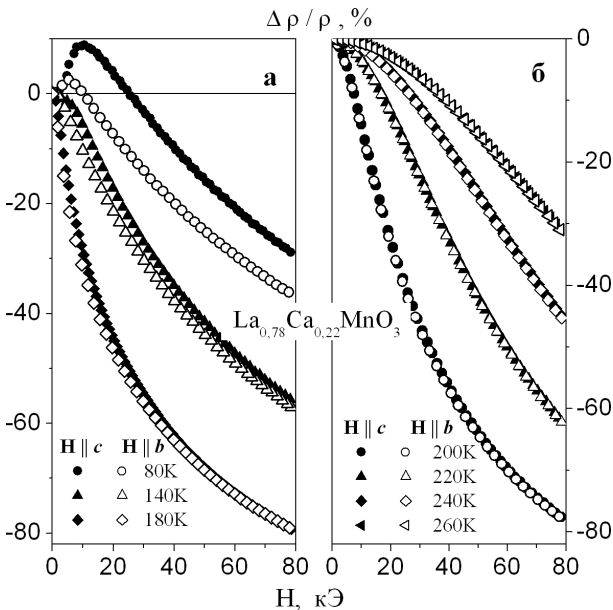


Рис. 2. Полевые зависимости поперечного магнитосопротивления  $\text{La}_{0,78}\text{Ca}_{0,22}\text{MnO}_3$  в ФМ- (а) и ПМ- (б) фазах для ориентации магнитного поля вдоль трудной ( $H||c$ ) и легкой ( $H||b$ ) осей намагничивания

Эффект КМС, наблюдаемый в манганитах, принято связывать с рассеянием носителей на магнитных поляронах (ферронах), формирующихся на магнитных моментах локализованных ионов

марганца [4]. Поэтому в данной работе для описания кривых отрицательного магнитосопротивления (ОМС) использован феноменологический подход, основанный на модели К. Иосиды [5], описывающей рассеяние носителей заряда на локализованных магнитных примесях с учётом  $s-d$  обмена. В рамках модели Иосиды отрицательное магнитосопротивление (ОМС) оказывается пропорциональным квадрату намагниченности локализованных магнитных моментов:

$$-\Delta\rho/\rho \sim M_{loc}^2 \sim \chi_{loc}^2 H^2 \quad (1)$$

или с учётом определения намагниченности произведению квадратов локальной восприимчивости  $\chi_{loc}$  и магнитного поля (1).

Выполненная в работе процедура численного дифференцирования полевых зависимостей магнитосопротивления позволила выделить линейный участок на кривых  $d(\Delta\rho/\rho)/dH$  в ФМ- и ПМ-состояниях. На рис. 3 в качестве примера представлены данные для ориентации магнитного поля вдоль трудной оси ( $H||c$ ).

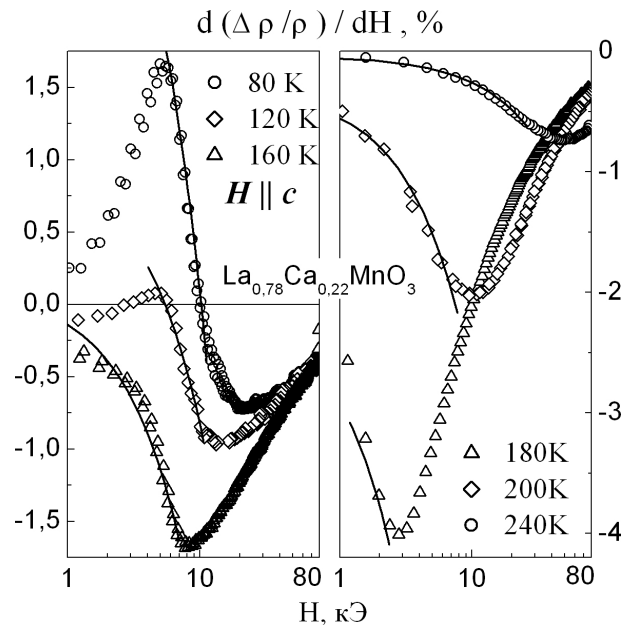


Рис. 3. Полевые зависимости производной поперечного магнитосопротивления для магнитного поля вдоль трудной оси. Сплошными линиями выполнена линейная аппроксимация вида  $A + BH$ . Для удобства восприятия оси магнитного поля приведены в логарифмическом масштабе

В рамках модели Иосиды из полученных данных выполнена оценка величины локальной магнитной восприимчивости:

$$\chi_{loc}(H, T_0) = \sqrt{-\frac{1}{H} \frac{d(\Delta\rho(H, T_0)/\rho)}{dH}}$$

Оказалось, что в ПМ-фазе  $\chi_{loc}$  подчиняется закону Кюри–Вейсса с парамагнитной температурой Кюри  $\Theta_C \sim 182 \text{ К}$  (рис. 4). При этом в ФМ-фазе при  $T < T_C$   $\chi_{loc}$  заметно зависит от направления магнитного поля. Наличие анизотропии локальной восприимчивости в ФМ-фазе следует из анизотропии магнитосопротивления, которая в свою

очередь, на наш взгляд, определяется эффектами магнитного рассеяния носителей заряда на локализованных магнитных моментах.

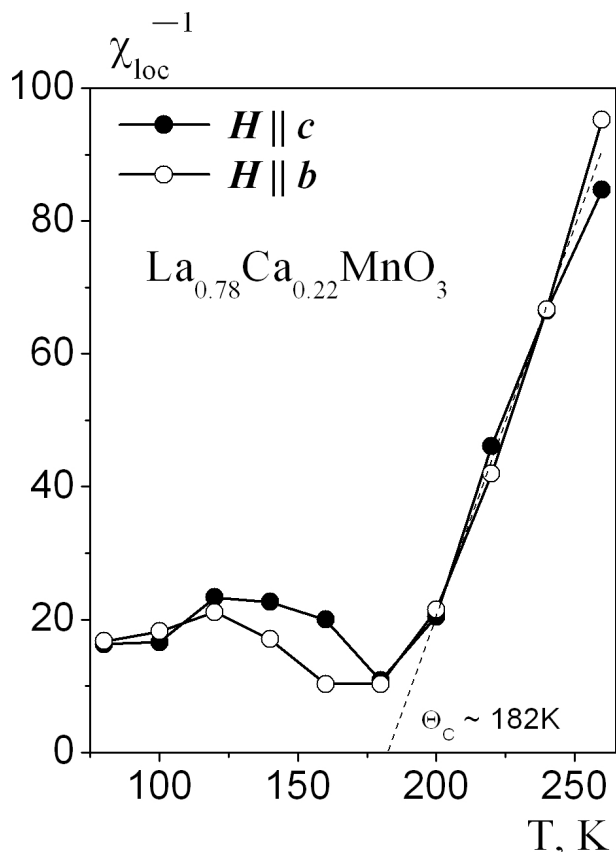


Рис. 4. Температурные зависимости локальной восприимчивости для легкой и трудной оси в кюри-вейссовских координатах  $\chi_{loc}^{-1}(T)$ . Сплошная линия соответствует аппроксимации законом Кюри-Вейсса с температурой Кюри  $\Theta_C \sim 182$  К

#### IV. Заключение

В работе выполнено исследование магнитосопротивления для монокристаллического  $\text{La}_{0.78}\text{Ca}_{0.22}\text{MnO}_3$ . В рамках феноменологического подхода, основанного на применении модели Иосиды, проведён анализ данных ОМС и оценена величина локальной восприимчивости. Обнаружено, что  $\chi_{loc}$  подчиняется закону Кюри-Вейсса с температурой Кюри  $\Theta_C \sim 182$  К.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 05-08-33463.

#### Литература

1. Coey J.M.D., Viret M. [et al.]. Mixed-valence manganites // Adv. Phys. — 1999. — V. 48. — P. 169.
2. Муковский Я.М. Получение и свойства материалов с колоссальным магнитосопротивлением // Росс. хим. ж. — 2001. — Вып. 5–6. — С. 1.
3. Sluchanko N.E., Bogach A.V. [et al.]. Genesis of the anomalous Hall effect in  $\text{CeAl}_2$  // JETP. — 2004. — V. 98. — P. 793.
4. Каган М.Ю., Кугель К.И. Неоднородные зарядовые состояния и фазовое расслоение в манганитах // УФН. — 2001. — Вып. 171. — С. 577.
5. Yoshida K. Magnetic properties of Cu-Al alloys // Phys. Rev. — 1957. — V. 106. — P. 893.

Поступила в редакцию 29.12.2008.