

Аномалии магнитных и магнитоупругих свойств монокристаллов $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x \sim 0.5$) при фазовых переходах

© Ю.Ф. Попов, А.М. Кадомцева, Г.П. Воробьев, А.А. Мухин*, В.Ю. Иванов*, К.И. Камиллов, Я.С. Штофич, А.М. Балбашов**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119992 Москва, Россия

* Институт общей физики Российской академии наук,
117942 Москва, Россия

** Московский энергетический институт,
111250 Москва, Россия

E-mail: kadamts@plms.msu.ru

(Поступила в Редакцию 12 ноября 2003 г.)

На основе измерения магнитных и магнитоупругих свойств установлено, что при понижении температуры в монокристаллах $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.5$ и 0.55) при $T_{\text{co}} = 220$ К происходит спонтанный фазовый переход из парамагнитного в локальное зарядовое упорядоченное состояние, а при $T_{\text{N}} = 175$ К в антиферромагнитное состояние А-типа. Показано, что сильные магнитные поля ($H_{\text{cr}} \sim 200$ кОе) разрушают антиферромагнитный порядок и зарядовое упорядочение и индуцируют фазовый переход в проводящее ферромагнитное состояние. Построены фазовые H – T -диаграммы для монокристаллов с $x = 0.5$ и 0.55 .

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 03-02-16445а).

1. Введение

Исследованию замещенных манганитов $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ ($\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$; $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}$) в последнее десятилетие посвящено большое число работ, что в значительной степени объясняется обнаружением в этих соединениях в определенном концентрационном интервале эффекта колоссального магнитосопротивления [1,2]. Замечательной особенностью замещенных манганитов является также сильная корреляция спин-зарядово-решеточных степеней свободы и наличие богатых фазовых T – x -диаграмм. Фазовые диаграммы существенно различаются в зависимости от типа редкоземельного иона. По мере уменьшения толеранс-фактора с увеличением атомного номера R и перехода от Sr к Ca происходит уменьшение ширины зоны, что ведет к усилению эффектов локализации и переходу от ферромагнитного к антиферромагнитному и зарядовому упорядочениям.

Среди разнообразных замещенных манганитов $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ особый интерес представляют соединения с $x = 0.5$, поскольку именно в них обнаружены состояния с различными типами магнитного, орбитального и зарядового упорядочений. Среди этих соединений наименее изученным является манганит $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$, относительно характера упорядочения которого в литературе имеются противоречивые данные. В работе [3], выполненной на поликристаллических образцах, приводится фазовая T – x -диаграмма, согласно которой состав $x = 0.5$ обладает локальным зарядовым упорядочением и является ферромагнетиком. В работе [4] приводятся данные измерений монокристалла $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$, в котором наблюдается антиферромаг-

нитное упорядочение. С целью устранения имеющихся противоречий нами было предпринято исследование спонтанных и индуцированных сильным магнитным полем фазовых переходов в монокристаллах при $x = 0.5$ и 0.55 . Проведенное исследование магнитных и магнитоупругих свойств показало, что в этих соединениях вопреки данным работы [3] спонтанный магнитный момент отсутствует и существует два спонтанных фазовых перехода: при $T_{\text{co}} = 220$ К локальное зарядовое упорядочение и при $T_{\text{N}} = 175$ К антиферромагнитное упорядочение. Нами показано, что сильное магнитное поле (~ 200 кОе) подавляет слабомагнитное низкопроводящее состояние и индуцирует фазовый переход в ферромагнитное проводящее состояние.

2. Экспериментальные результаты и их обсуждение

Монокристаллы $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.5$ и 0.55) были выращены методом зонной плавки с радиационным нагревом. Проводились измерения магнитных и магнитоупругих свойств в интервале температур 10–300 К. В слабых магнитных полях магнитная восприимчивость обнаруживает широкий максимум вблизи $T_{\text{co}} = 220$ К (рис. 1, а) с последующим резким спадом при понижении температуры до $T_{\text{N}} = 175$ К. Полагаем, что при $T_{\text{co}} = 220$ К в согласии с [3] происходит локальное зарядовое упорядочение, а при $T_{\text{N}} = 175$ К в отличие от [3] — антиферромагнитное упорядочение, о чем свидетельствует отсутствие спонтанного момента на кривых $M(H)$ (вставка на рис. 1, а). Как видно из рис. 1, б, при $T_{\text{N}} = 175$ К наблюдается локальный

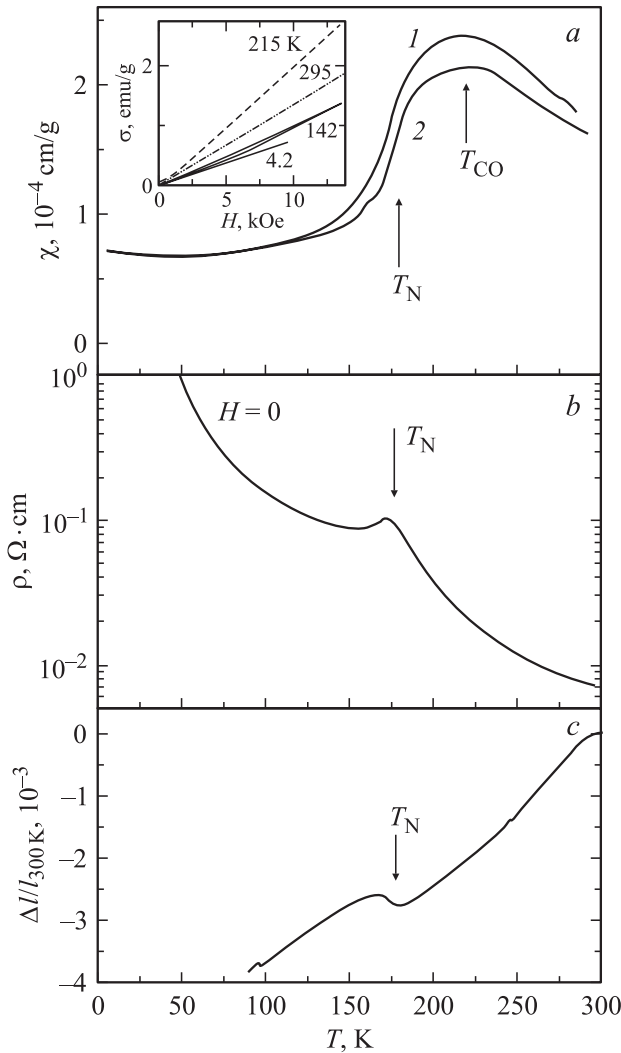


Рис. 1. Температурная зависимость для монокристаллов $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$: *a* — магнитной восприимчивости, измеренной при $H = 5.75$ kOe для составов $x = 0.5$ (1) и 0.55 (2); *b* — электросопротивления для $x = 0.5$; *c* — теплового расширения для $x = 0.5$. На вставке показаны кривые намагниченности при слабых магнитных полях.

максимум в температурной зависимости электросопротивления, тогда как в целом зависимость $\rho(T)$ носит полупроводниковый характер, типичный для манганитов с достаточно большой степенью локализации. Температурная зависимость теплового расширения также имела аномалию при $T_N = 175$ K (рис. 1, *c*), а при $T_{co} = 220$ K аномалия не наблюдалась, по-видимому, из-за локального характера зарядового упорядочения [3]. Предполагаем, что антиферромагнитная структура $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ является структурой А-типа, т.е. состоит из ферромагнитных слоев с антиферромагнитным взаимодействием между слоями.

При измерении кривых намагничивания в сильном магнитном поле наблюдалось возрастание намагниченности, которое имело скачкообразный характер при

$T \leq T_N = 175$ K и размытый характер в интервале температур $175 < T < 220$ K. Сильный рост намагниченности при пороговых полях H_{cr} при $T < T_N$ связан, очевидно, с переходом в ферромагнитное состояние

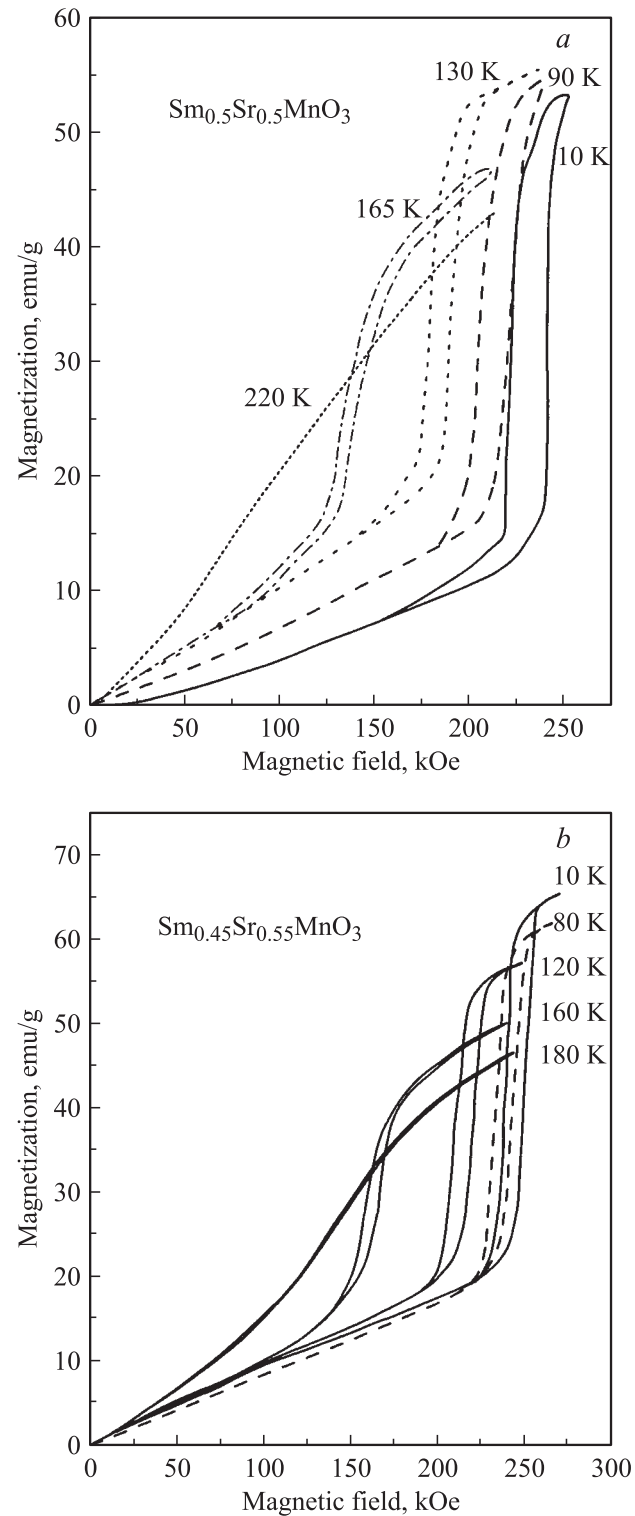


Рис. 2. Зависимость намагниченности от магнитного поля при различных температурах для монокристаллов $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ (*a*) и $\text{Sm}_{0.45}\text{Sr}_{0.55}\text{MnO}_3$ (*b*).

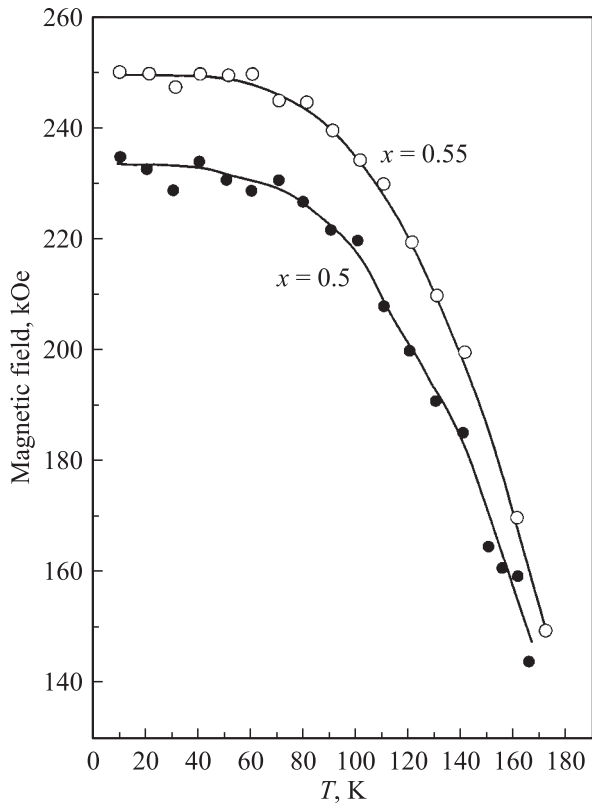


Рис. 3. Фазовые $H_{cr}(T)$ диаграммы для $x = 0.5$ и 0.55 .

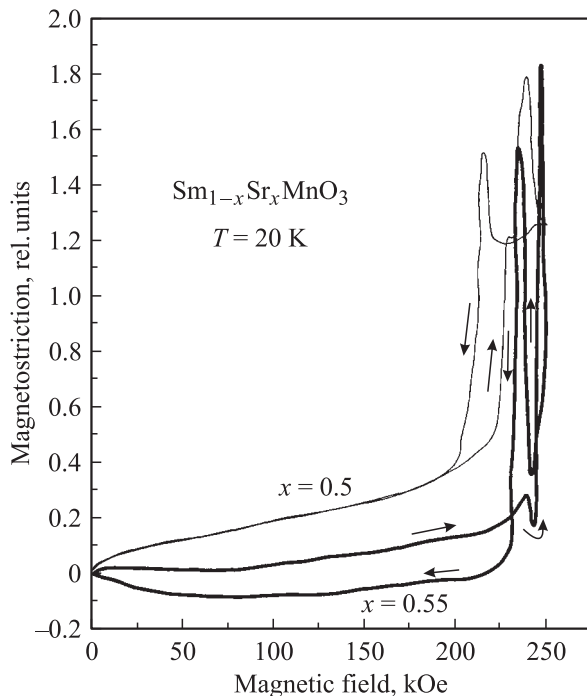


Рис. 4. Зависимость магнитострикции от поля при $T = 20$ К для составов $x = 0.5$ и 0.55 .

при подавлении антиферромагнитного упорядочения, а в интервале температур $175 < T < 220$ К — с подавлением локального зарядового упорядочения, среднюю температуру возникновения которого мы приняли за $T_{co} = 220$ К. Величина порогового поля для $T = 10$ К составляла $H_{cr} = 240$ кОе. Аналогичный характер кривых намагничивания в сильном магнитном поле наблюдается также для состава $x = 0.55$ (рис. 2, b). По значениям пороговых полей, вызывающих фазовый переход в ферромагнитное состояние при разных температурах, были построены фазовые $H-T$ -диаграммы для обоих составов (рис. 3). Различие результатов по характеру магнитной структуры $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{MnO}_3$ для моно- и поликристаллов связано, по-видимому, с лучшей стехиометричностью по кислороду у монокристаллов.

Было также обнаружено, что фазовый переход из антиферромагнитного в ферромагнитное состояние сопровождается магнитострикционной деформацией $\frac{\Delta l}{l} \sim 10^{-3}$. При этом следует отметить, что переход происходит столь резко, что после первого измерения образец частично разрушается и последующие значения магнитострикции оказываются меньше первоначального на порядок величины. Поэтому на рис. 4 величины магнитострикции для обоих составов указаны в относительных единицах. Следует отметить, что магнитострикционные деформации сопровождаются сильным гистерезисом, имеющим сложный характер.

В результате проведенного исследования установлено, что монокристаллы $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($x = 0.5$ и 0.55) не являются ферромагнетиками, как это было установлено в [3]. Согласно нашим измерениям, в исследуемых составах с понижением температуры обнаруживаются два спонтанных фазовых перехода: при $T_{co} = 220$ К переход в состояние с локальным зарядовым упорядочением и при $T_N = 175$ К переход в чистое антиферромагнитное состояние предположительно А-типа. Таким образом, приведенная в работе [3] фазовая $T-x$ -диаграмма для состава вблизи $x = 0.5$, нуждается, по-видимому, в уточнении. Сильное магнитное поле (~ 200 кОе) подавляет антиферромагнитную и зарядовоупорядоченную фазы и индуцирует фазовый переход в ферромагнитное проводящее состояние.

Список литературы

- [1] Y. Tokura, Y. Tomioka. *J. Magn. Magn. Mater.* **200**, 1 (1999).
- [2] M.B. Salamon, M. Jaime. *Rev. Mod. Phys.* **73**, 583 (2001).
- [3] C. Martin, A. Maignan, M. Hervieu, B. Raveau. *Phys. Rev. B* **60**, 12 191 (1999).
- [4] Y. Tomioka, H. Kuwahara, A. Asamitsu, M. Kasai. *Appl. Phys. Lett.* **70**, 3609 (1997).