

# 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

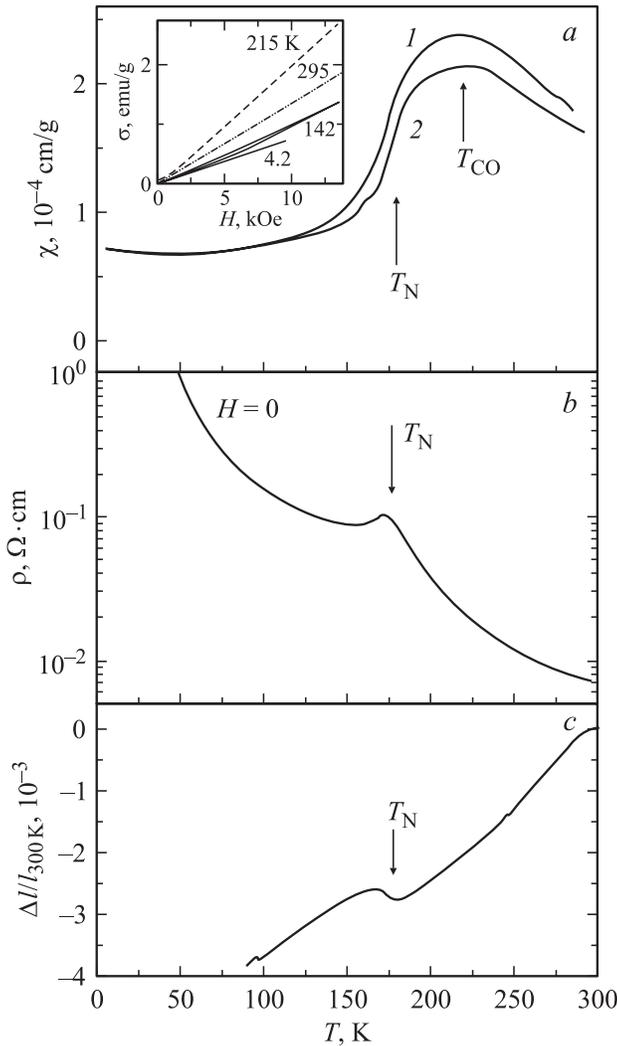
Исследованию замещенных манганитов  $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$  ( $\text{R} = \text{La}, \text{Pr}, \text{Nd}, \text{Sm}$ ;  $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}$ ) в последнее десятилетие посвящено большое число работ, что в значительной степени объясняется обнаружением в этих соединениях в 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 ( $\sim 200$  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

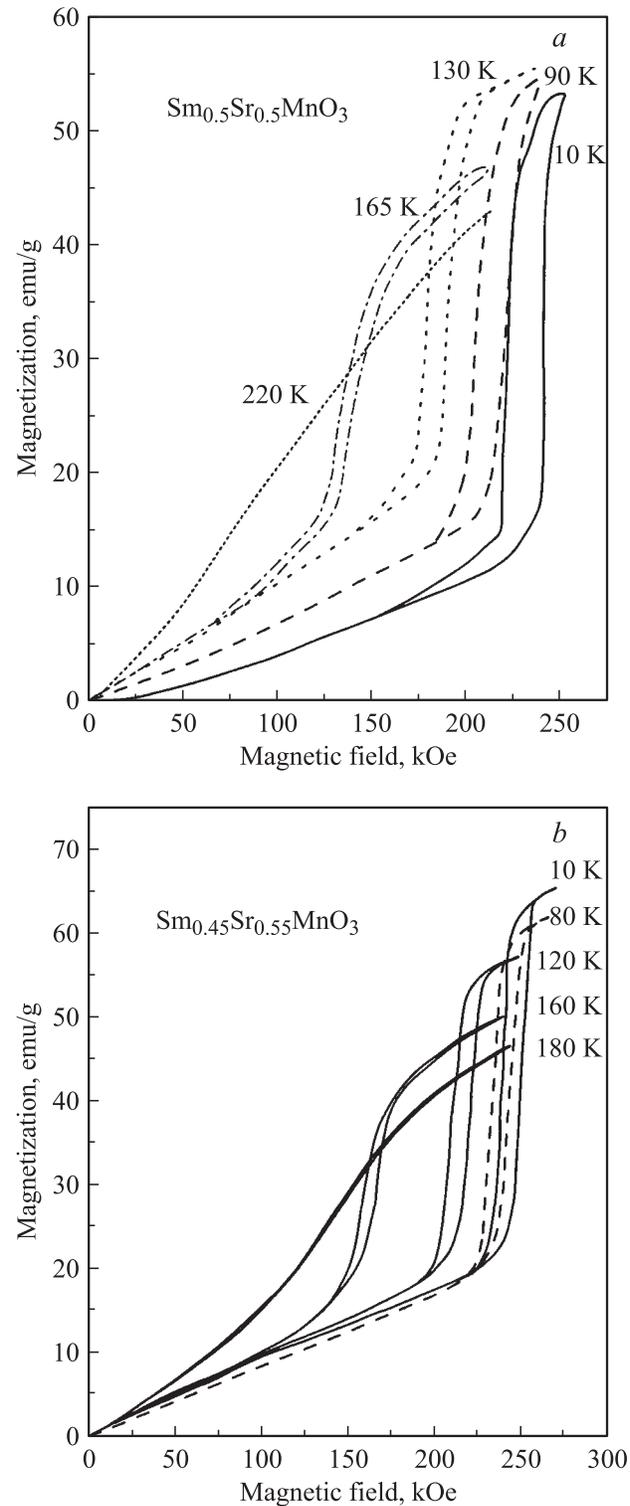


**Рис. 1.** Температурная зависимость для монокристаллов  $\text{Sm}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ : *a* — магнитной восприимчивости, измеренной при  $H = 5.75$  kOe для составов  $x = 0.5$  (1) и  $0.55$  (2); *b* — электросопротивления для  $x = 0.5$ ; *c* — теплового расширения для  $x = 0.5$ . На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

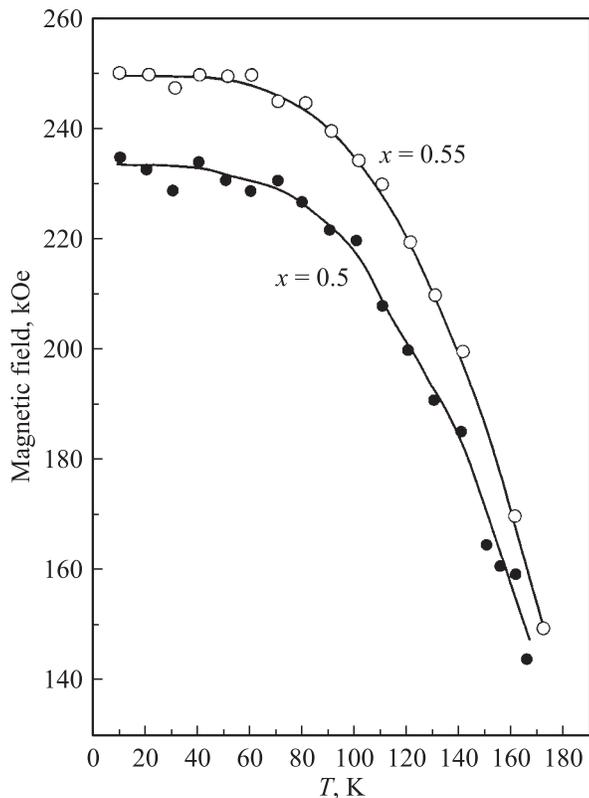


Рис. 3. Фазовые  $H_{cr}(T)$  диаграммы для  $x = 0.5$  и  $0.55$ .

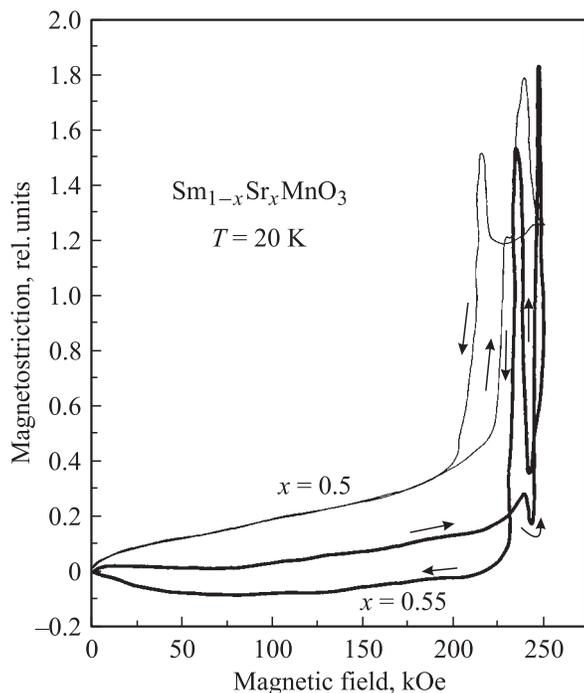


Рис. 4. Зависимость магнитострикции от поля при  $T = 20$  К для составов  $x = 0.5$  и  $0.55$ .

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 ( $\sim 200$  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).