МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО СИМПОЗИУМА
“Упорядочение в минералах и сплавах” ОМА-17
(Ростов-на-Дону, сентябрь 2014 г.)

Сопредседатели Оргкомитета международного междисциплинарного симпозиума
“Упорядочение в минералах и сплавах” ОМА-17
академик **В.А. Чантурия**
д-р физ.-мат. наук **Ю.М. Гуфан**

Материалы международного междисциплинарного симпозиума
“Упорядочение в минералах и сплавах” ОМА-17
под общей редакцией д-ра физ.-мат. наук **Ю.М. Гуфана**

и

МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОГО МЕЖДИСЦИПЛИНАРНОГО СИМПОЗИУМА
“Порядок, беспорядок и свойства оксидов” ODPO-17
(Ростов-на-Дону, сентябрь 2014 г.)

Председатель Оргкомитета международного междисциплинарного симпозиума
“Порядок, беспорядок и свойства оксидов” ODPO-17
академик **Ю.В. Гуляев**

Материалы международного междисциплинарного симпозиума
“Порядок, беспорядок и свойства оксидов” ODPO-17
под общей редакцией д-ра физ.-мат. наук **Ю.М. Гуфана**

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2015, том 79, № 6, с. 768–770

УДК 534.8,535.8

МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫЕ СТРУКТУРНЫЕ, ЯН-ТЕЛЛЕРОВСКИЕ, ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В $La_{0.875}Sr_{0.125}MnO_3$

© 2015 г. А. В. Голенищев-Кутузов, В. А. Голенищев-Кутузов, И. Р. Исмагилов, Р. И. Калимуллин, А. А. Потапов, А. В. Семенников, В. А. Уланов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный энергетический университет"

E-mail: kalru@newmail.ru

Изучены температурная и магнитная зависимости упругих модулей и электросопротивления в монокристалле $La_{0.875}Sr_{0.125}MnO_3$. В дополнение к переходу металл–изолятор исследован структурный переход от ян-теллеровской кооперативно сильно искаженной орторомбической фазы к зарядово упорядоченной фазе при $T_{Я\text{-}Т} = 150$ К в магнитных полях до $H = 2$ Тл. Наши результаты демонстрируют возможность управления упругими параметрами вблизи $T_{Я\text{-}Т}$ посредством магнитных полей.

DOI: 10.7868/S0367676515060125

В последнее десятилетие не уменьшается интерес к манганитам. Если ранее основное внимание было обращено на физическую природу и практические применения колоссального магнитосопротивления (КМС) [1], то в наши дни появились работы, в которых манганиты рассматривают как мультиферроики [2–7], поскольку в них может существовать самоорганизация и взаимодействие зарядовых, орбитальных и решеточных степеней свободы. Хотя манганит $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ ($x = 0.125$) является, пожалуй, одним из наиболее изученных, интерес к его необычным физическим свойствам не ослабевает [5–10], что связано с комплексом разнообразных фазовых состояний и переходов между ними. При охлаждении до 450 К происходит структурный переход от ромбоэдрической к слабо искаженной орторомбической фазе (0) за счет Я-Т-деформации октаэдров MnO_6. Далее при $T_{Я\text{-}Т} = 280$ К возникает кооперативное упорядочение искаженных октаэдров (0'-фаза). Вблизи $T_C = 180$ К возникает спонтанная намагниченность с металлической проводимостью, а ниже $T_{C_0} = 140$ К манганит переходит ($x = 0.125$) в орторомбическую фазу с зарядово-орбитальным упорядочением и становится ферро-магнитным изолятором (фаза 0") [8]. Основное внимание сейчас обращено на низкотемпературную область. При этом обсуждаются особенности механизма орбитального и зарядового упорядочений [5–7]. Изучаются возможности влияния в этой фазе внешних магнитных полей на электрические, магнитные и диэлектрические характеристики. Однако остается менее изученной температурная область между T_C и T_{C_0}, в частности область перехода (0'–0") – 160–140 К, в окрестностях которого ранее наблюдался ряд необычных физических свойств: гигантская диэлектрическая проницаемость [3], мультиплетные зарядовые состояния [5], разрушение кооперативного Я-Т искажения [8–10]. Однако эти исследования не позволили получить достаточно полное представление о природе данного перехода.

Мы провели более полное изучение особенностей кооперативного Я-Т-упорядочения, спонтанной намагниченности, электросопротивления и влияния на них приложенных магнитных полей в интервале температур 240–130 К. Основным методом исследований было измерение параметров скорости и затухания высокочастотных акустических импульсов (700–1000 МГц). По характеру изменения упругих модулей C_{11}, $C_{11}–C_{12}$, C_{44}, C_B, определенных из значений скоростей волн, были измерены значения упругих деформаций кислородных октаэдров при переходе кристалла в кооперативное Я-Т-упорядочение. Было установлено, что октаэдры испытывают деформацию растяжения вдоль осей a и b в кубической интерпретации порядка $1.5 \cdot 10^{-2}$ и деформацию сжатия вдоль оси c порядка $2 \cdot 10^{-2}$. Эти значения деформаций достаточно хорошо удовлетворяют изменениям параметров октаэдров, полученным из нейтронных и рентгеновских измерений [8, 9]. Следует отметить, что ранее подобная экспериментальная методика использовалась нами [10] только для измерения параметров кооперативного упорядочения при $T_{Я\text{-}Т} = 280$ К. В данной статье изложены результаты по обнаружению резкого скачка в зна-

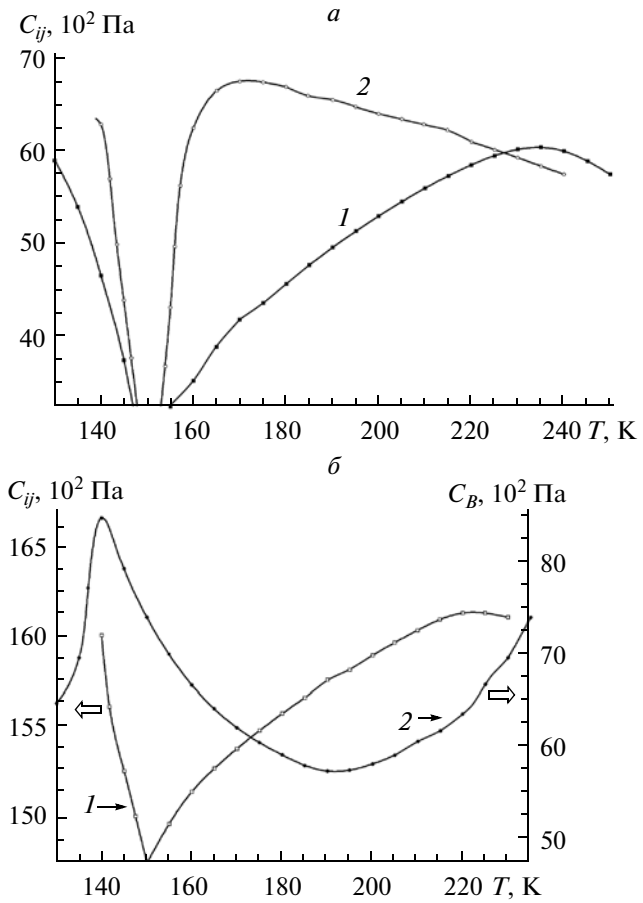

Рис. 1. Температурные зависимости сдвиговых модулей упругости $(C_{11}–C_{12})/2$ (*1*) и C_{44} (*2*) (*а*); C_{11} (*1*) и C_B (*2*) (*б*).

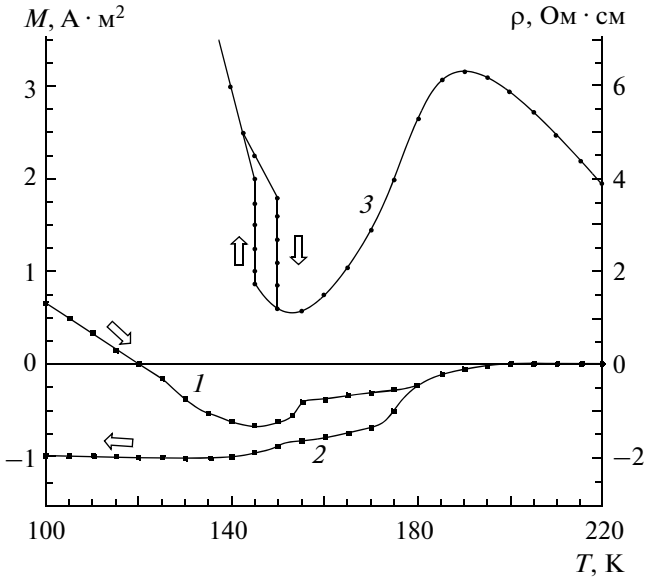

Рис. 2. Температурные зависимости намагниченности M (А · м^2) при увеличении (*1*) и уменьшении (*2*) температуры и удельного электросопротивления ρ (Ом · см) (*3*).

чениях упругих модулей вблизи $T_p = 150$ К, причем если значения модулей C_{11}, $C_{11}–C_{12}$ и C_{44} резко смягчались вблизи T_p, то значение объемного модуля $C_B = (C_{11} + 2C_{12})/3$, наоборот, резко возрастало (рис. 1). Эти данные свидетельствуют о возвращении ниже $T_p = 150$ К к первоначальному состоянию образца выше $T_{Я\text{-}Т}$. Изменения значений упругих модулей вблизи T_p соответствуют скачку в намагниченности и удельной электропроводности (рис. 2). При этом полной неожиданностью стал тот факт, что эти скачки имеют гистерезисный характер, поскольку происходят в условиях структурной Я-Т-перестройки. Температурная узость этих переходов вполне соответствует такому же узкому интервалу изменений значений упругих модулей.

Следовательно, на основе полученных данных и сопоставлении их с известными результатами можно констатировать, что при охлаждении в температурном интервале 160–140 К последовательно происходит конкурентное замещение одних фазовых состояний другими. Вначале за счет увеличения спонтанной намагниченности возникает постепенное подавление кооперативного Я-Т-упорядочения, которое скачкообразно завершается при 150 К с сохранением локальных деформаций отдельных октаэдров. Обратно этому процессу, как было ранее показано нами [10], подобным образом происходит скачкообразный переход при 280 К за счет конкурентного подавления первоначальной намагниченности ростом кооперативного упорядочения. В интервале между 150 и 140 К возникает перколяционный процесс носителей (дырок) с переходом от магнитного проводника к магнитному изолятору [3], заканчивающийся при 140 К.

Приложение относительно небольших магнитных полей ($H \leq 2$ Тл) приводит к сдвигу температуры T_p примерно на 5 К при $H = 1$ Тл (рис. 3), а следовательно, к значительному изменению ряда параметров вблизи T_p (упругих модулей, диэлектрической проницаемости [3], электросопротивления). Вследствие узости перехода при T_p возникает изменение этих параметров на 30 и более процентов, что позволяет управлять упругими, электрическими и диэлектрическими характеристиками.

Таким образом, с помощью комплексного измерения параметров высокочастотных акустических волн, магнитных и электрических характеристик монокристалла $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ с $x = 0.125$ в температурном интервале 240–140 К был обнаружен резкий структурный переход при 150 К первого рода. Он вызван процессом подавления коопера-

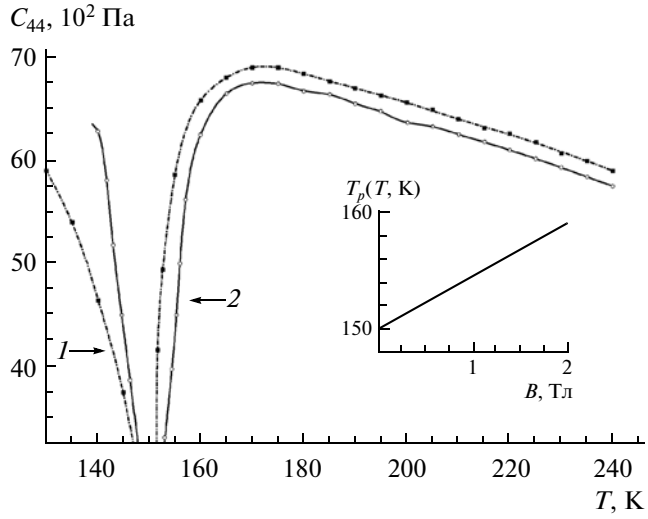

Рис. 3. Температурный сдвиг структурного перехода T_p для упругого модуля C_{44} в магнитном поле $B = 1$ Тл (*1* – с уменьшением температуры; *2* – с ростом температуры). На вставке приведена зависимость изменения T_p от приложенного поля.

тивного Я-Т-упорядочения ионов Mn^{3+} возрастающей намагниченностью. Приложение внешнего магнитного поля увеличивает намагниченность образца и смещает вверх температуру фазового перехода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dagotto E.* Nanoscale Phase Separation and Colossal Magnetoresistance. Berlin: Springer-Verlag, 2003.
2. *Khomskij D.I., Magn J.* // Magn. Mater. 2006. V. 306. P. 1.
3. *Mamin R.F., Egami T., Marton Z., Migachev S.A.* // Phys. Rev. B. 2007. B. V. 75. P. 115129.
4. *Zheng R.K., Jiang Y., Wang Y., Chan H.L.W., Choy C.L., Luo H.C.* // Phys. Rev. 2009. B. V. 79. P. 174420.
5. *Asaka T., Yu X.Z., Hiraoka Y., Kimoto K., Hirayama T., Kimura T., Matsui Y.* // Phys. Rev. 2011. B. V. 83. P. 174491.
6. *Fertman E.U.* // 11th Int. Symp. On Ferroelectric Domains. Ekaterinburg. Abstracts Book, 2012. P. 86.
7. *Mertelj T., Mamin R., Yusupov R., Mihailovic D.* // Phys. Rev. 2011. B. V. 83. P. 113103.
8. *Uhlenbruck S., Teipen R., Klingeler R., Buchner B., Friedt O., Hucker M., Kierspel H., Niemoller T., Pinsard L., Revcolevschi A., Gross R.* // Phys. Rev. Lett. 1999. V. 82. P. 185.
9. *Geek J., Wochner P., Bruns D., Buchner B., Gebhardt U., Kiele S., Reutler P., Revcoievschi A.* // Phys Rev. B. 2004. V. 69. P. 104413.
10. *Богданова Х.Г., Булатов А.Р., Голенищев-Кутузов В.А., Потапов А.А.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2013. Т. 77. № 3. С. 307; *Bogdanova Kh.G., Bulatov A.R., Golenishchev-Kutuzov V.A., Potapov A.A.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Physics. 2013. V. 77. № 3. P. 275.