

Гигантский температурный гистерезис скорости звука и внутреннего трения в монокристалле $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$

Р. И. Зайнуллина, Н. Г. Бебенин¹⁾, А. М. Бурханов, В. В. Устинов, Я. М. Муковский⁺, А. А. Арсенов⁺

Институт физики металлов Уральского отделения РАН, 620219 Екатеринбург, Россия

⁺Московский государственный институт стали и сплавов, 117936 Москва, Россия

Поступила в редакцию 25 июня 2001 г.

Приведены результаты исследования температурной зависимости скорости продольного звука V_1 и внутреннего трения Q^{-1} в монокристалле манганита $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ в температурной области 5–350 К, включающей температуру структурного перехода $T_S \approx 95$ К, от низкотемпературной орторомбической $Pnma$ фазы к высокотемпературной ромбоэдрической $R\bar{3}c$ фазе и температуру Кюри $T_c = 308$ К. Вблизи T_S и T_c на кривых $V_1(T)$ и $Q^{-1}(T)$ имеются выраженные особенности; вне окрестностей T_S и T_c скорость звука монотонно убывает при увеличении температуры. Обнаружен гигантский по протяженности температурный гистерезис указанных свойств, который обусловлен тем, что при нагреве от $T < T_S$ области низкотемпературной $Pnma$ фазы сохраняются в $R\bar{3}c$ матрице вплоть до $T = 350$ К.

PACS: 62.65.+k, 64.70.Kb

Интерес к манганатам лантана $\text{La}_{1-x}D_x\text{MnO}_3$, где D – двухвалентный ион (Ca, Sr, Ba, Pb), а также к манганатам других редких земель обусловлен эффектом колоссального магнитосопротивления (КМС), который наблюдается в этих материалах вблизи температуры Кюри T_c [1–4]. КМС манганиты характеризуются сильным взаимодействием между электронными, спиновыми и решеточными степенями свободы. Существенная связь между электронами проводимости и магнитной подсистемой очевидна из самого факта наблюдения большой величины магнитосопротивления в окрестности T_c , а о взаимодействии между магнитной и решеточной подсистемами свидетельствуют, например, большая величина магнитострикции [5] и значительный сдвиг температуры структурного перехода T_S под действием внешнего магнитного поля H [6, 7]. Характерной чертой КМС манганитов является тенденция к расслоению на фазы. В основном исследуется расслоение на области, различающиеся типом проводимости или магнитным порядком [1, 8, 9]; имеются также сообщения о наблюдении включений низкосимметричной фазы в матрице, обладающей более высокой симметрией [10].

Хотя роль кристаллической решетки в формировании свойств КМС манганитов является в настоящее время общепризнанной, их решеточные свойства остаются слабо изученными. Нами предпринято исследование температурной зависимости скорости продольного звука V_1 и внутреннего трения Q^{-1} в

монокристалле $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ в широкой температурной области, включающей как структурный переход от низкотемпературной орторомбической $Pnma$ фазы к высокотемпературной ромбоэдрической $R\bar{3}c$ фазе, так и T_c . Проводились также исследования магнитных свойств. Полученные результаты позволяют сделать выводы относительно магнитного и кристаллического состояний указанного монокристалла при различных температурах.

Монокристалл $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{MnO}_3$ был выращен методом плавающей зоны с радиационным нагревом. Детальное описание процесса роста опубликовано в [11]. Измерения намагниченности образца в виде шарика проводилось на вибромагнитометре в диапазоне 77–380 К. Скорость звука и внутреннее трение исследовались в интервале температур 5–350 К методом составного вибратора [12] на частотах ~ 80 кГц. Этот метод основан на измерении резонансной частоты и добротности механической системы, состоящей из исследуемого образца и приклеенного к нему пьезоэлектрического преобразователя. Использовался образец в виде цилиндра длиной 28 мм и диаметром 3.5 мм. В качестве преобразователя применялся кварцевый вибратор, возбуждающий продольные колебания. Измерения проводились в атмосфере газообразного гелия. Методика вычисления скорости звука и внутреннего трения образца описана, например, в [13]. Охлаждение и нагрев образца осуществлялись со скоростью не выше 0.5 К/мин. Исследованный манганит является типичным ферромагнетиком. При $T = 77$ К в поле $H = 5$ кЭ намагни-

¹⁾e-mail: bebenin@imp.uran.ru

ченность $\sigma = 92.7$ э.м.е./г, что соответствует магнитному моменту иона марганца $3.8 \mu_B$. Температура Кюри, определенная методом термодинамических коэффициентов, равна 308 К. Эти значения магнитного момента и температуры Кюри практически совпадают со значениями, приведенными в работе [14]. В парамагнитной области температурная зависимость магнитной восприимчивости подчиняется закону Кюри–Вейса с парамагнитной температурой Кюри $\theta_c = 310$ К. Близость значений T_c и θ_c указывает на магнитную однородность образца.

На температурной зависимости намагниченности в области структурного перехода наблюдается гистерезис, см. рис.1. Температуру перехода T_S удобно определить как полусумму температур, соответ-

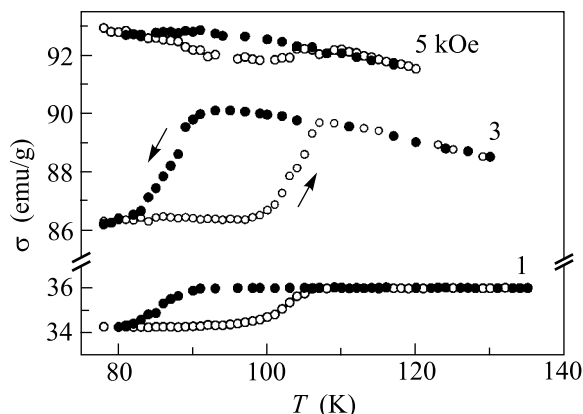


Рис.1. Температурная зависимость намагниченности σ в области структурного перехода. Светлые кружки – нагрев, темные – охлаждение

ствующих точкам максимального наклона на кривых $\sigma(T)$, снятых при охлаждении и нагреве в постоянном магнитном поле. Найденная таким способом температура структурного перехода $T_S \approx 95$ К. Заметная величина высоты петли $\Delta\sigma$ температурного гистерезиса в области технического намагничивания (кривая при 1 и 3 кЭ) указывает на изменение магнитной анизотропии при $Pnma \rightarrow R\bar{3}c$ -превращении. В области парапроцесса, $H > 5$ кЭ, разница в значениях намагниченности для $Pnma$ и $R\bar{3}c$ фаз невелика и составляет около 0.7 э.м.е./г, что равно величине $\Delta\sigma$ в изученном нами ранее монокристалле $La_{0.8}Ba_{0.2}MnO_3$ [7]. Ширина петли температурного гистерезиса от магнитного поля не зависит и равна приблизительно 25 К. При температурах $T > 105$ К и $T < 80$ К кривые $\sigma(T)$, снятые при охлаждении и нагреве, совпадают.

Температурная зависимость скорости продольного звука $V_1(T)$ показана на рис.2. При переходе из низкотемпературной $Pnma$ в высокотемпературную $R\bar{3}c$ фазу вблизи T_S наблюдается резкий рост V_1 . Пе-

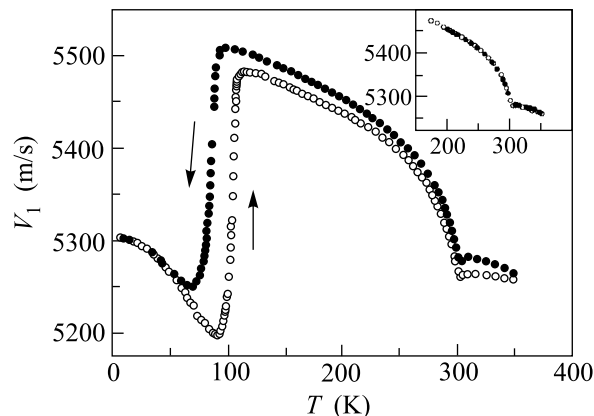


Рис.2. Температурная зависимость скорости продольного звука V_1 . На вставке: скорость звука при охлаждении от 350 К до 175 К с последующим нагревом

реход из ферромагнитного в парамагнитное состояние проявляется в виде характерного минимума при $T = 304$ К. Вне окрестностей T_S и T_c скорость звука монотонно убывает при увеличении температуры, причем в парамагнитном состоянии зависимость V_1 от T является слабой. Заметим, что в близком по составу манганите $La_{0.85}Sr_{0.15}MnO_3$ при $T > T_c$ наблюдалось значительное возрастание величины V_1 при повышении температуры [15].

Отличительной чертой температурной зависимости скорости продольного звука в монокристалле $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$ является гигантская протяженность петли температурного гистерезиса. Совпадение кривых, снятых при охлаждении и нагреве, наблюдается при $T < 50$ К и $T > 350$ К. Ширина гистерезисной петли составляет величину порядка 300 К, что в три раза превышает значение T_S . Как видно из рис.2, гистерезисная петля является асимметричной: ее протяженность от T_S в сторону высоких температур много больше ее протяженности в сторону $T < T_S$. Величина Q^{-1} при гелиевой температуре невелика, см. рис.3. Рост T ведет к возрастанию внутреннего трения. На кривой $Q^{-1}(T)$ вблизи T_S и T_c имеются максимумы. В интервале $120 < T < 280$ К значение Q^{-1} слабо зависит от температуры. В парамагнитной области внутреннее трение растет при увеличении T . Температурный гистерезис имеет место в интервале $60 < T < 350$ К.

Гигантская протяженность петли температурного гистерезиса на зависимостях $V_1(T)$ и $Q^{-1}(T)$ свидетельствует, по-видимому, о том, что при нагреве монокристалла $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$ от температур, меньших температуры $Pnma \rightarrow R\bar{3}c$ -превращения, области с орторомбической $Pnma$ структурой сохраняются внутри ромбоэдрической $R\bar{3}c$ матрицы вплоть до

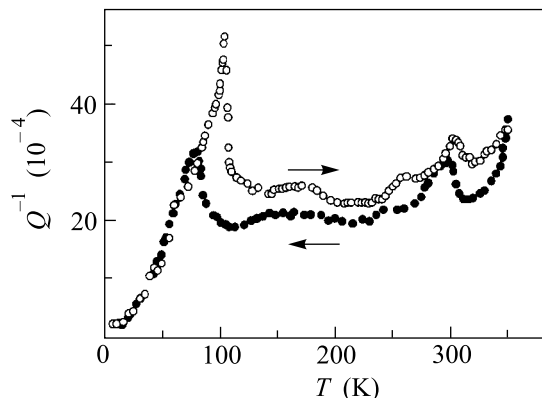


Рис.3. Температурная зависимость внутреннего трения Q^{-1} при охлаждении и нагреве

$T = 350$ К. Одной из причин такого сосуществования фаз может быть большой разброс температуры структурного превращения из-за неоднородности образца. Однако если бы гистерезис был обусловлен разбросом температуры $Pnma \rightarrow R\bar{3}c$ -перехода, гистерезисное поведение наблюдалось бы в любой области внутри интервала $100 < T < 350$ К. Как видно на вставке рис.2, при охлаждении образца от 350 К до 175 К с последующим нагревом гистерезис не наблюдается. Следовательно, указанное сосуществование фаз обусловлено не разбросом температуры структурного перехода, а близостью термодинамических потенциалов этих фаз. Этот вывод согласуется с тем, что скрытая теплота $Pnma \rightarrow R\bar{3}c$ -перехода в манганитах лантана невелика: например, для монокристалла $La_{0.85}Sr_{0.15}MnO_3$ в [16] было найдено $q \approx 0.5$ кДж/моль, что составляет лишь 5 мэВ на формульную единицу. Величина Q^{-1} при $T > T_S$ при нагреве исследуемого манганата от температуры жидкого гелия больше, чем при охлаждении из парамагнитной области. Следовательно, при нагреве от $T < T_S$ в монокристалле имеются дополнительные центры рассеяния звуковых волн вплоть до $T = 350$ К. Это согласуется с предположением о наличии при $T > T_S$ вкраплений $Pnma$ фазы в $R\bar{3}c$ матрице при нагреве из области $T < T_S$. При охлаждении от 350 К включения $Pnma$ фазы в ромбоэдрической матрице, по-видимому, отсутствуют вплоть до окрестности T_S . Пользуясь данными рис.2, можно попытаться оценить относительный объем x орторомбической фазы в ромбоэдрической матрице при $T > T_S$. Предполагая $V_l = V_l^{rhomb}(1-x) + V_l^{ortho}x$ и считая разность скоростей в фазах $V_l^{rhomb} - V_l^{ortho} = 260$ м/с не зависящей от T , мы нашли, что в интервале от 120 до 320 К доля орторомбической фазы составляет величину около 6%. Такую неоднородность трудно обнаружить с помощью магнитных измерений, поскольку намаг-

ниченности $Pnma$ и $R\bar{3}c$ фаз весьма близки друг к другу.

Таким образом, на температурной зависимости скорости продольного звука и внутреннего трения в монокристалле $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$ обнаружен гигантский по протяженности температурный гистерезис. При нагреве монокристалла от температур, меньших температуры $Pnma \rightarrow R\bar{3}c$ -превращения, области с орторомбической $Pnma$ структурой, по-видимому, сохраняются внутри ромбоэдрической $R\bar{3}c$ матрицы до $T = 350$ К, тогда как при охлаждении от 350 К орторомбические включения в ромбоэдрической матрице отсутствуют вплоть до окрестности T_S .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты # 00-02-17544 и # 00-15-96745.

1. Э. Л. Нараев, УФН **166**, 833 (1996).
2. А. Р. Ramirez, J. Phys.: Condens. Matter **9**, 8171 (1997).
3. Y. Tokura and Y. Tomioka, JMMM **200**, 1 (1999).
4. J. M. D. Coey, M. Viret, and S. von Molnar, Adv. Phys. **48**, 167 (1999).
5. А. М. Кадомцева, Ю. Ф. Попов, Г. П. Воробьев и др., ФТТ **42**, 1077 (2000).
6. А. Asamitsu, Y. Moritomo, R. Kumai et al., Phys. Rev. **B54**, 1716 (1996).
7. V. E. Arkhipov, N. G. Bebenin, V. P. Dyakina et al., Phys. Rev. **B61**, 11229 (2000).
8. A. Moreo, S. Yunoki, and E. Dagotto, Science **283**, 2034 (1999).
9. Н. Н. Лощкарева, Ю. П. Сухоруков, Э. А. Нейфельд и др., ЖЭТФ **117**, 440 (2000).
10. M. Hervieu, G. Van Tendeloo, V. Caignaert et al., Phys. Rev. **B53**, 14274 (1996).
11. D. Shulyatev, S. Karabashev, A. Arsenov, and Ya. Makovskii, J. Crystal Growth **198/199**, 511 (1999).
12. H. J. McSkimin, in: *Physical Acoustic. Principles and Methods*, Ed. W. P. Mason, Academic Press, New York and London, 1964, vol. I, part A, p.272 (Русский перевод: Г. Мак-Скимин, в кн. *Физическая акустика. Методы и приборы ультразвуковых исследований*, под ред. У. Мэсона, т.1А, М.: Мир, 1966, с.327).
13. А. М. Бурханов, В. В. Гудков, И. В. Жевстовских и др., ФММ №1, 68 (1990).
14. А. Urushibara, Y. Moritomo, T. Arima et al., Phys. Rev. **B51**, 14103 (1995).
15. Р. И. Зайнуллина, Н. Г. Бебенин, В. В. Машкауцан и др., ЖЭТФ (2001), в печати.
16. V. E. Arkhipov, N. G. Bebenin, K. M. Demchuk et al., *EASTMAG-2001 Abstract Book*, Institute of Metal Physics of the Ural Division RAS, Ekaterinburg, 2001, p.120.