

Аномальный гистерезис в магниторезистивных керамических и пленочных образцах $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0,4$)

В.Т. Довгий¹, А.И. Линник¹, В.П. Пащенко¹, В.Н. Деркаченко¹,
В.К. Прокопенко¹, В.А. Турченко¹, Н.В. Давыдейко¹, В.Я. Сычева¹,
В.П. Дьяконов^{1,2}, А.В. Климов², Г. Шимчак²

¹Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина НАН Украины
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина
E-mail: linnik@host.dipt.donetsk.ua

²Институт физики ПАН, Al. Lotnikow 32/46, 02-668, Warszawa, Poland

Статья поступила в редакцию 2 августа 2002 г.

Исследованы кристаллическая структура, намагничённость и магниторезистивный эффект в керамических образцах $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$, отожженных при 1150 и 1500°C. Показано, что дополнительный отжиг при температуре 1500°C приводит к значительным изменениям намагничённости и возрастанию магниторезистивного эффекта в 2–3 раза в зависимости от x . Обнаружен «аномальный» магнитный гистерезис на начальных участках кривых намагничивания как в керамических, так и в пленочных образцах, напыленных лазерным методом. Установлено, что величина «аномального» магнитного гистерезиса зависит от состава (x) образцов и температуры их отжига. Предложен механизм возникновения «аномального» гистерезиса, обусловленный наличием и взаимодействием ферромагнитной и антиферромагнитной фаз.

Досліджено кристалічну структуру, намагніченість і магніторезистивний ефект у керамічних зразках $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$, відпалених при 1150 та 1500°C. Показано, що додатковий відпал при температурі 1500°C приводить до значних змін намагніченості і зростання магніторезистивного ефекту в 2–3 рази в залежності від x . Виявлено «аномальний» магнітний гістерезис на початкових ділянках кривих намагнічування як у керамічних, так і в плівкових зразках, що напилено лазерним методом. Встановлено, що величина «аномального» агнітного гістерезису залежить від складу (x) зразків і температури їхнього відпалу. Запропоновано механізм виникнення «аномального» гістерезису, обумовлений наявністю і взаємодією феромагнітної та антиферомагнітної фаз.

PACS: 72.15.Gd, 72.60.+g, 75.50.-y, 75.60.-d

Введение

В последнее время стремительно возрастает интерес к перовскитоподобным редкоземельным манганитам $\text{R}_{1-x}\text{A}_x\text{MnO}_3$ (R — ионы La, Pr, Nd и других редкоземельных элементов, A — двухвалентные ионы Ca, Sr, Ba, Pb) в связи с наблюдаемым в них колоссальным магниторезистивным эффектом и перспективой их практического применения [1–7]. Манганиты представляют собой твердые растворы со своеобразной взаимосвязью электронных, магнит-

ных и структурных свойств, которые можно регулировать, изменяя технологию их изготовления и химический состав, в том числе в результате легирования [1–7]. В настоящее время обсуждается вопрос о сосуществовании в манганитах ферромагнитной и антиферромагнитной фаз с металлическими и диэлектрическими (или полупроводниковыми) свойствами и существовании неоднородных низкоразмерных фаз типа фазового расслоения или плоскостных кластеров [7–12].

Поскольку магнитные и транспортные свойства в этих материалах определяются прежде всего ионами марганца, представляют интерес исследования магнитных и электрических свойств манганит-лантановых перовскитов, содержащих избыточный сверхстехиометрический марганец относительно других катионов [12–15]. Главная цель настоящей работы — сопоставление магнитных и электрических свойств манганитов с избыточным содержанием марганца и выяснение возможности сосуществования различных магнитных фаз и их фазового расслоения с образованием кластеров.

Методика получения и исследования образцов

Объекты исследования — образцы манганит-лантановых перовскитов, легированных стронцием $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$ ($0 \leq x \leq 0,4$). Особенностью составов является избыточное содержание марганца при сохранении соотношения La:Sr = 4. Исследуемые образцы были приготовлены по стандартной керамической технологии. Исходные смеси порошков определенных составов получали из оксидов La_2O_3 , $SrCO_3$, Mn_3O_4 марки «ЧДА» после их тщательного перемешивания и синтезирующего отжига при $900^\circ C$ в течение 20 часов. После перетирания и прессования в таблетки образцы спекали в два этапа: при температурах 1150 и $1500^\circ C$ в течение 21 и 2 часов соответственно. После каждого отжига проводили комплекс структурных, магнитных и транспортных исследований полученных образцов.

Рентгеноструктурный анализ осуществляли на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2 в FeK_α -излучении. Магнитные свойства полученных образцов измеряли на вибрационном магнитометре и индуктивно-частотной установке, электропроводность и магнитосопротивление определяли стандартным четырехконтактным методом при $H = 0$ и 5 кЭ.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Согласно рентгеноструктурным данным, исследуемые образцы всех составов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$ содержали основную перовскитоподобную ромбоэдрически искаженную ($R\bar{3}c$) фазу с параметрами решетки, которые в зависимости от x находились в пределах: $a = 7,784\text{--}7,787 \text{ \AA}$, $a = 90,41\text{--}90,45^\circ$ (отжиг при $1150^\circ C$) и $a = 7,792\text{--}7,782 \text{ \AA}$, $a = 90,55\text{--}90,48^\circ$ (отжиг при $1500^\circ C$). При $x = 0$ и 0,1 — образцы однофазные, при $x = 0,2\text{--}0,4$ — гетерофазные: наряду с основной перовскитовой в малых количествах присутствует фаза $\gamma\text{-}Mn_2O_3$ или Mn_3O_4 .

Согласно данным магнитных измерений, образцы всех составов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$ в интерва-

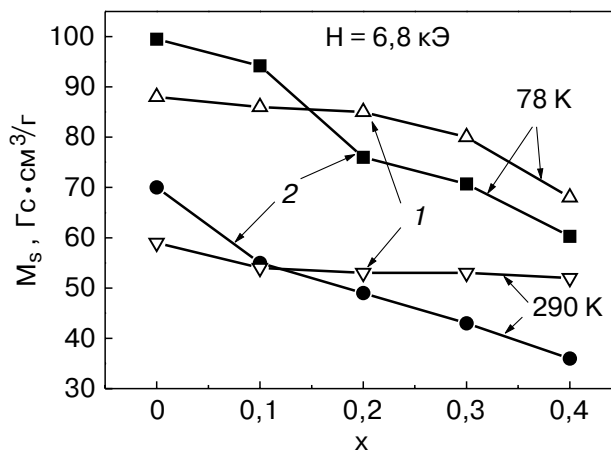


Рис. 1. Влияние состава на намагниченность насыщения керамических образцов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$ при температурах 78 и 290 К для различных температур отжига, °С: 1150 (1); 1500 (2).

ле $0 \leq x \leq 0,4$ являются магнитомягкими ферромагнетиками, так как полученная на вибрационном магнитометре кривая магнитного насыщения в полях $H = 6$ кЭ имеет характерную петлю гистерезиса шириной ≈ 30 Э. На рис. 1 и 2 приведены соответственно значения намагниченности насыщения и температуры Кюри T_C исследованных керамических образцов, полученных при температурах $1150^\circ C$ (кривые 1) и $1500^\circ C$ (кривые 2). Для образцов, отожженных при $1150^\circ C$, с увеличением x от 0 до 0,3 намагниченность насыщения M_s практически не изменяется. Если бы избыточный оксид марганца не растворялся, а образовывал вторую фазу Mn_3O_4 или Mn_2O_3 , то с увеличением его содержания M_s должна уменьшаться примерно на 20%, что не на-

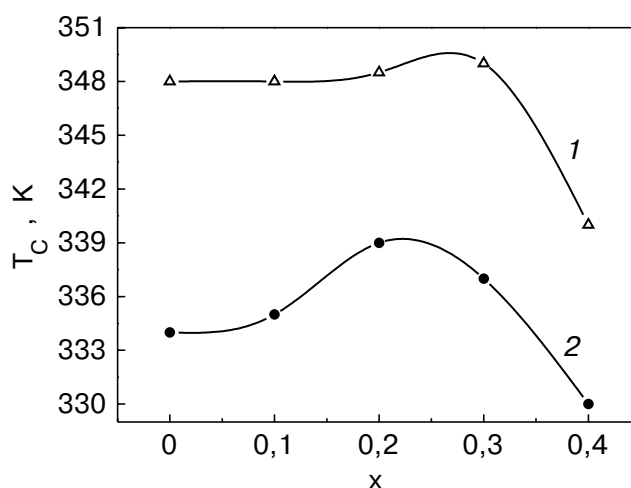


Рис. 2. Зависимость температуры Кюри (T_C) от состава x для керамических образцов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$, полученных при различных температурах отжига, °С: 1150 (1); 1500 (2).

блюдается в эксперименте (рис. 1, кривые 1). Заметное уменьшение M_s для образца с $x = 0,4$ можно объяснить нерастворимостью избыточного марганца в основной перовскитовой фазе. Однако это уменьшение (~12%) тоже меньше расчетного (~23%), особенно для температуры 290 К. Для образцов, отожженных при 1500°C, наблюдается заметное уменьшение M_s при увеличении x как при температуре 78 К, так и 290 К. Заслуживает внимания то, что только для $x = 0$ значения M_s больше для образцов, отожженных при 1500°C (для $x = 0,1$ величины M_s близки при отжиге 1150 и 1500°C). Для остальных составов M_s больше в образцах, полученных при 1150°C. Это, видимо, свидетельствует об увеличении числа кислородных вакансий и изменении состава и дефектности решетки манганитной фазы манганит-лантанового перовскита с возможными расслоениями и образованием плоскостных кластеров, отличающихся составом, структурой, магнитными и транспортными свойствами. Отметим корреляцию уменьшения намагниченности и температуры Кюри для образцов с $x = 0,4$, отожженных при 1150 и 1500°C.

Исследования температурных зависимостей намагниченности в малых (менее 150 Э) и больших (4 кЭ) магнитных полях для образцов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$ в интервале $0 \leq x \leq 0,4$ и при температурах спекания 1150 и 1500°C показали различное поведение M_s : слабое изменение намагниченности в широком температурном диапазоне в малых полях и довольно значительную зависимость намагниченности во всем температурном диапазоне в больших полях. В качестве примера на рис. 3 приведены температурные зависимости намагниченности для образца $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ ($x = 0$, температура спекания 1500°C)

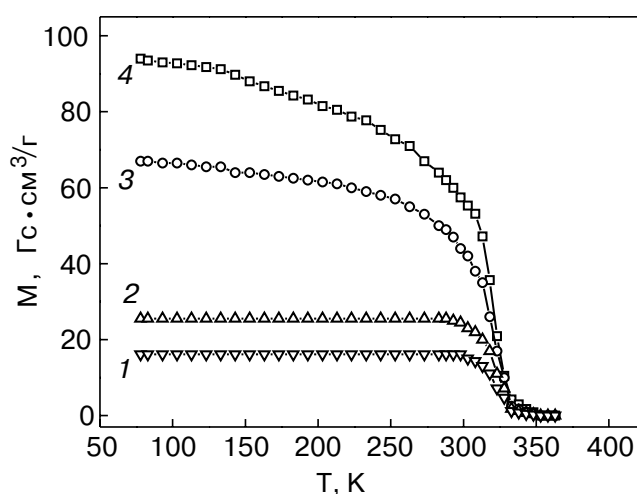
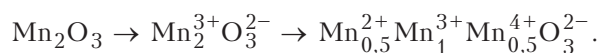
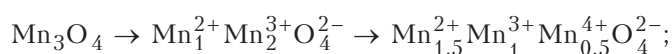


Рис. 3. Температурная зависимость намагниченности керамического образца $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ в различных магнитных полях: 80 Э (1); 150 Э (2); 500 Э (3); 4 кЭ (4).

в различных магнитных полях. Такое различие, возможно, связано с наличием в образцах магнитных неоднородностей — фаз [16–22] или кластеров [12–14]. Причем в малых полях, видимо, проявляется более однородная упорядоченная фаза (ферромагнитная), а в больших — другие менее однородные и упорядоченные магнитные фазы (пограничная область между ферромагнитной и антиферромагнитной фазами) или кластеры. Согласно рентгеноструктурным исследованиям, избыточный оксид марганца находится в виде фазы или кластера, близкого по составу к Mn_3O_4 (при $x = 0$) или Mn_2O_3 (при $x > 0$). С учетом валентных состояний ионов марганца и их суперпозиции составы кластеризованных твердых растворов, наиболее вероятно, имеют следующий вид:



Температурные зависимости транспортных свойств манганитов представлены на рис. 4 для температур отжига 1150 и 1500°C. Величина магниторезистивного эффекта $\Delta R/R_0 = (R_0 - R_H)/R_0$, где R_0 и R_H — сопротивление образцов соответственно при $H = 0$ и 5 кЭ, составляет 4–6% для отожженных при 1150°C образцов, причем пик магниторезистивности наблюдается ниже температуры Кюри на 13–14 К (рис. 4,а). Температурные зависимости сопротивления для всех значений x имеют пик сопротивления (T_{ms}) вблизи T_C . Низкотемпературная сторона пика соответствует «металлическому» типу проводимости, а высокотемпературная — полупроводниковому. После отжига образцов при температуре 1500°C магниторезистивный эффект увеличился до 10–13% для различных значений x и максимум магниторезистивности сместился ниже T_C на 7–15 К (рис. 4,б). Отметим, что при $x = 0$ (отжиг при 1150°C, рис. 4,а) магниторезистивный эффект практически не наблюдается, а после отжига при 1500°C для $x = 0$ (рис. 4,б) он составляет 12,5%. Анализ рис. 4 показывает, что после отжига при 1500°C магниторезистивный эффект увеличился в 2–3 раза для различных x . Резистивность образцов возросла в 2–3 раза и температурная зависимость резистивности при $T \leq T_C$ также демонстрирует «металлический» тип проводимости (на фоне полупроводникового). Однако максимум резистивности проявляется не четко, так как полупроводниковая ветвь имеет слабую температурную зависимость. Отжиг образцов при 1500°C привел к уменьшению температуры Кюри на ≈ 12 К и смещению максимума магниторезистивности (T_r) на ≈ 10 К (среднее значение для различных x). Отме-

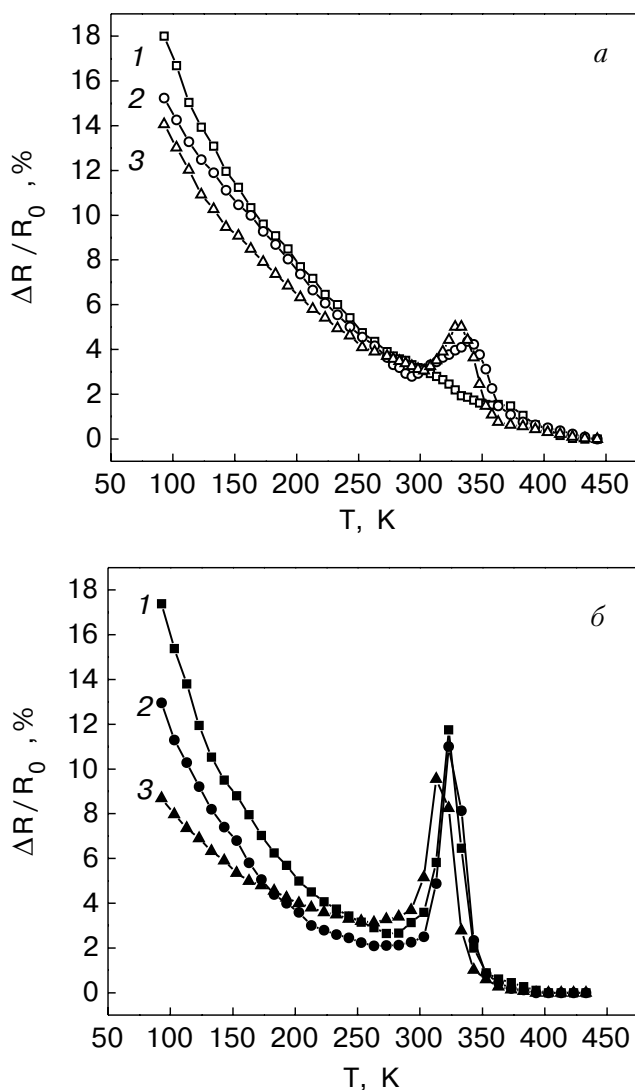


Рис. 4. Температурная зависимость магниторезистивного эффекта манганит-лантановых керамических образцов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$, отожженных при 1150 (а) и 1500 (б)°С, для $x = 0$ (1); 0,2 (2); 0,4 (3).

тим, что максимальные различия T_C и T_r наблюдаются для образцов с $x = 0,4$.

Уменьшение спонтанной намагниченности, температуры Кюри, увеличение сопротивления и величины магниторезистивного эффекта после отжига при 1500°С можно объяснить увеличением числа кислородных вакансий [23,24], кластерообразованием и появлением фазы γ - Mn_2O_3 или Mn_3O_4 [12–14].

Кривые намагничивания и магнитный гистерезис керамических и пленочных образцов исследовали на индуктивно-частотной установке [25]. Образец манганита помещали в выносную индуктивность измерительного генератора, собственная частота колебаний которого $f = 5$ МГц. При воздействии внешнего магнитного поля различной ориентации происходит изменение магнитного состояния манганитовой пленки или керамического образца,

что приводит к изменению индуктивности ΔL измерительной катушки и, как следствие, к изменению резонансной частоты генератора (Δf).

Исследование магнитных свойств этих соединений на индуктивно-частотной установке позволило выявить «аномальный» ход кривых намагничивания для керамических и пленочных образцов при воздействии внешнего квазистатического магнитного поля, перпендикулярного H_{\perp} или параллельного H_{\parallel} плоскости образца. На рис. 5 и 6 показано изменение частоты контура измерительного генератора с керамическим или пленочным образцом манганита. Ход кривых $\Delta f = f(H)$ и $M(H)$ эквивалентен, так как сдвиг частоты пропорционален величине намагничивания образца или изменению энергии магнетика в магнитном поле. Направление изменения магнитного поля в образце указано стрелками на рис. 5 и 6. На рис. 5 приведены начальные участки кривых намагничивания керамических образцов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$ в магнитном поле, перпендикулярном плоскости образца, при $x = 0; 0,2; 0,4$ после отжига при температуре 1150°С (а) и 1500°С (б). Кривые для $x = 0,1$ и $0,3$ примерно соответствуют кривым с $x = 0,2$. В магнитном поле, параллельном плоскости керамических образцов (H_{\parallel}), кривые намагничивания менее наглядны и на рис. 5 не приведены. Верхняя часть кривых $\Delta f = f(H)$ демонстрирует наличие «нормального» гистерезиса, характерного для магнитомягких материалов: кривая намагничивания идет ниже кривой размагничивания. На нижней части зависимости $\Delta f = f(H)$ (в малых полях) проявляется «аномальный» гистерезис, когда кривая размагничивания идет ниже кривой намагничивания и минимум энергии магнетика достигается в этом же по знаку магнитном поле. Величина «аномального» магнитного гистерезиса исследуемых манганитов зависит от избыточного марганца ($0 \leq x \leq 0,4$). Максимальные значения гистерезиса наблюдаются при $x = 0,1; 0,2; 0,3$.

Влияние высокотемпературного отжига (1500°С) на величину «аномального» магнитного гистерезиса иллюстрирует рис. 5,б. Видно, что для значения $x = 0$ «аномальный» магнитный гистерезис существенно возрос и практически совпал с таковым для $x = 0,1; 0,2; 0,3$, а для значения $x = 0,4$ изменился незначительно. Отметим также некоторое увеличение и «нормального» магнитного гистерезиса после высокотемпературного отжига при 1500°С для образцов $(La_{0,8}Sr_{0,2})_{1-x}Mn_{1+x}O_3$.

Представляет интерес установление возможности проявления «аномального» магнитного гистерезиса в тонкопленочных монокристаллических образцах. На рис. 6 аналогичные кривые намагничивания приведены для пленочного образца $La_{0,6}Sr_{0,2}Mn_{1,2}O_3$,

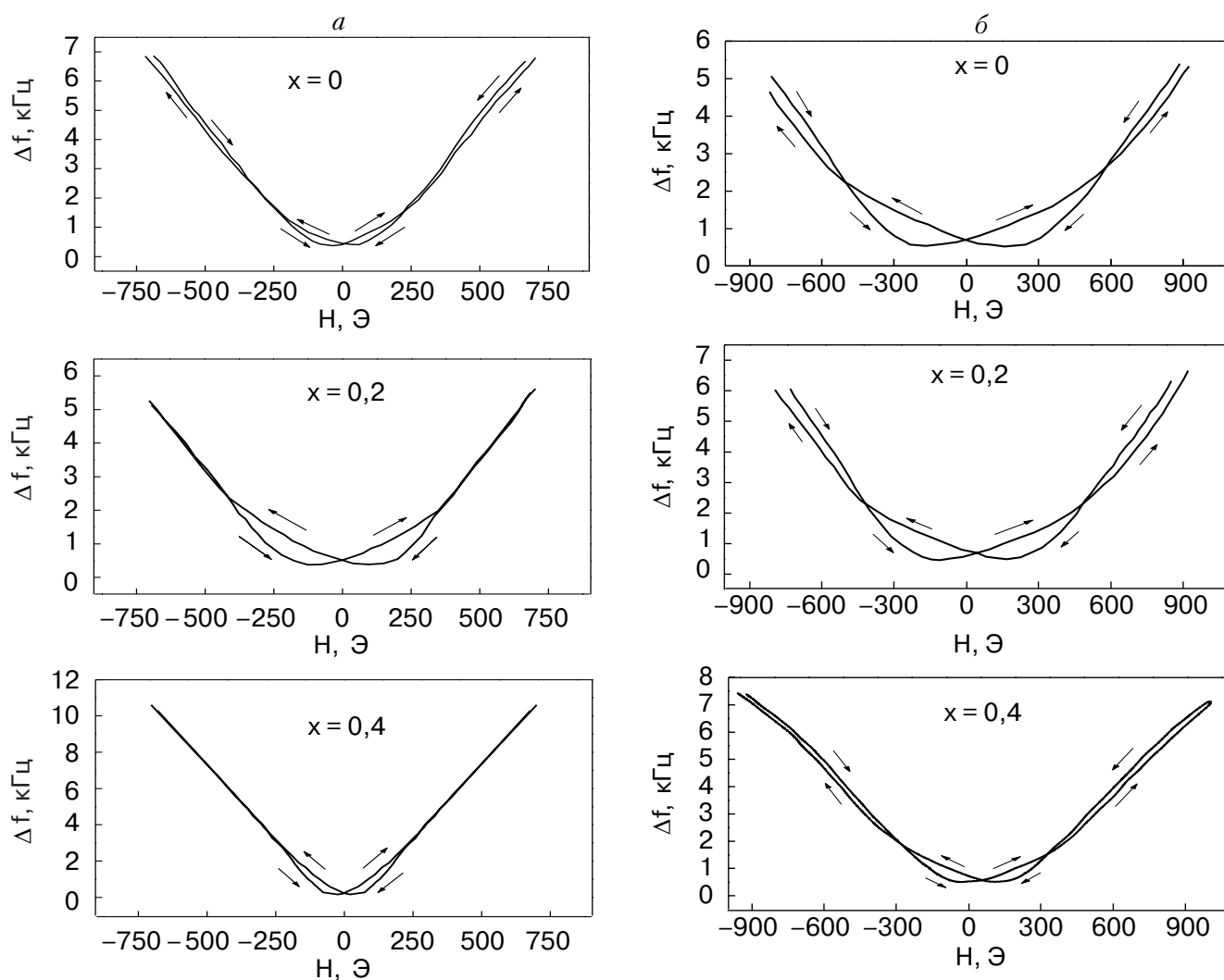


Рис. 5. Сдвиг резонансной частоты измерительного контура ($\Delta f \propto \Delta M$) с керамическим образцом манганита $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$ ($x = 0; 0,2; 0,4$) после отжига при 1150 (а) и 1500 (б)°С при изменении магнитного поля, перпендикулярного плоскости образца H_{\perp} .

нанесенного лазерным напылением на подложку. На рисунке видно, что намагничивание пленки в параллельном и перпендикулярном плоскости полях значительно отличается. Когда внешнее магнитное поле приложено параллельно плоскости пленки (H_{\parallel}), происходит быстрое насыщение в малых магнитных полях (500 Э) и гистерезис не наблюдается. При намагничивании пленки в магнитном поле, перпендикулярном ее поверхности (H_{\perp}), до значения $H = 1500$ Э намагниченность почти не меняется (см. рис. 6), а затем происходит резкое изменение намагниченности (поворот магнитных моментов) и насыщение пленки. При намагничивании и размагничивании пленки наблюдается только «аномальный» гистерезис: кривая размагничивания проходит под кривой намагничивания и достигает минимального значения в этом же по знаку магнитном поле.

Отметим, что после синтеза керамических образцов при температуре 900°С (до спекания образцов при 1150 и 1500°С) наблюдается только «нормальный» магнитный гистерезис. Максимальное изменение (сдвиг) частоты (при полном перемагничивании) для керамических образцов составляет примерно 25 кГц, а для пленочного образца — 0,5 кГц. «Аномальный» гистерезис (изменение частоты Δf) составляет относительно малую часть полного изменения частоты и примерно равен 2,5–6% для керамических и 8,5–16% для пленочных образцов.

Анализируя данные экспериментов, можно предположить существование в исследованных образцах манганитов магнитных неоднородностей, проявляющих себя как магнитные фазы с различным направлением намагниченности, ответственных соответственно за «нормальный» и «аномальный» магнитный гистерезис. Возможным механизмом такого поведения является, по-видимому, взаимодействие между

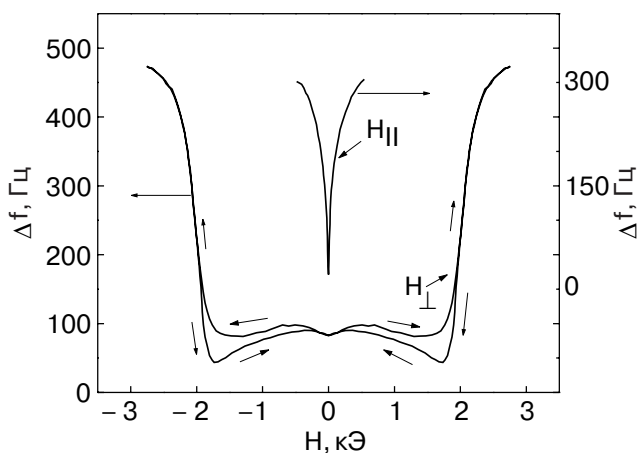


Рис. 6. Сдвиг резонансной частоты измерительного контура ($\Delta f \propto \Delta M$) с монокристаллическим пленочным образцом $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,2}\text{Mn}_{1,2}\text{O}_3$ при изменении магнитного поля, параллельного $H_{||}$ и перпендикулярного H_{\perp} плоскости пленки.

двумя фазами, характеризующими состояние манганитов, — ферромагнитной и антиферромагнитной [7,16–22].

Сосуществование этих фаз и их взаимодействие (обменная анизотропия) в пограничной области, разделяющей две фазы, приводит к сдвигу петли гистерезиса при намагничивании таких материалов [21,26]. Мы предполагаем, что именно такого рода взаимодействие приводит к появлению «аномального» гистерезиса и его наблюдению при комнатной температуре (300 К) в магнитном поле различной полярности. Этот эффект, видимо, является проявлением различной магнитной восприимчивости ферромагнитной и «скошенной» (пограничная зона раздела двух фаз при воздействии внешнего магнитного поля) магнитных фаз. Подтверждением этого могут быть следующие экспериментальные факты:

— величина «аномального» гистерезиса увеличивается с увеличением намагничивающего квазистатического поля; симметрия наблюдаемых кривых имеет место только при одинаковой величине насыщающего поля различной полярности.

— для ряда образцов, в том числе тех керамических образцов, которые были синтезированы при температуре 900°C, наблюдается только нормальный гистерезис, что может быть связано, по-видимому, с отсутствием упорядочения в антиферромагнитной фазе ($T_N < T = 300$ К).

Антиферромагнитная фаза может представлять собой кластеры в кристаллитах и межкристаллитных границах (прослойках).

Все сказанное выше правомерно и в отношении пленочных образцов: в работе [27] обнаружено наличие магнитно- и электрически «мертвых» слоев

различной толщины в тонких пленках манганитов, а в [28] показано, что аналогичные пленки могут иметь «блочную» структуру.

Заключение

1. Исследованные керамические образцы манганит-лантановой системы $(\text{La}_{0,8}\text{Sr}_{0,2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$ с «избыточным» сверхстехиометрическим марганцем ($0 < x < 0,4$), отожженные при 1150 и 1500°C, содержат основную перовскитоподобную ромбоэдрически искаженную ($R\bar{3}c$) фазу.

2. Дополнительный отжиг образцов при температуре 1500°C приводит к значительным изменениям намагниченности насыщения, увеличению магниторезистивного эффекта в 2–3 раза и уменьшению температуры Кюри и температуры пика магниторезистивности для различных значений x .

3. Обнаружен «аномальный» магнитный гистерезис на начальных участках кривых намагничивания для керамических и пленочных образцов. Показано, что величина «аномального» магнитного гистерезиса зависит от x и температуры отжига. Предложен механизм «аномального» гистерезиса, связанный с наличием и взаимодействием ферромагнитной фазы и антиферромагнитной фазы или кластера, отличающихся составом и дефектностью структуры.

4. Изменения намагниченности насыщения, магниторезистивного эффекта и величины «аномального» гистерезиса обусловлены изменениями концентрации разновалентных ионов марганца Mn^{3+} , Mn^{4+} , Mn^{2+} , катионных и анионных вакансий и мезоскопических неоднородностей кластерного типа, которые зависят от x и температуры отжига.

1. R.M. Kusters, J. Singleton, D.A. Keen, R. McGreevy, and W. Hayes, *Physica* **B155**, 362 (1989).
2. R. von Helmlont, J. Wecker, B. Holzapfel, M. Schultz, and K. Samwer, *Phys. Rev. Lett.* **71**, 2331 (1993).
3. K. Chahara, T. Ohno, M. Kasai, and Y. Kozono, *Appl. Phys. Lett.* **63**, 1990 (1993).
4. S. Jin, T.H. Tiefel, M. McCormack, R.A. Fastnacht, R. Ramesh, and L.H. Chen, *Science* **264**, 413 (1994).
5. A. Vrushibara, Y. Moritomo, T. Arima, A. Asamitsu, G. Kido, and V. Tokura, *Phys. Rev.* **B51**, 14103 (1995).
6. A.P. Ramires, *J. Phys.: Condens. Matter* **9**, 8171 (1997).
7. Э.Л. Нагаев, *УФН* **166**, 833 (1996).
8. Л.П. Горьков, *УФН* **168**, 665 (1998).
9. В.М. Локтев, Ю.Г. Погорелов, *ФНТ* **26**, 231 (2000).
10. Ю.А. Изюмов, Ю.Н. Скрябин, *УФН* **171**, 121 (2001).
11. М.Ю. Каган, К.И. Кугель, *УФН* **171**, 577 (2001).
12. В.П. Пашенко, С.И. Харцев, О.П. Черенков, А.А. Шемяков, З.А. Самойленко, А.Д. Лойко, В.И. Камнев, *Неорганические материалы* **35**, 1509 (1999).

13. V.P. Pashchenko, A.A. Shemyakov, V.K. Prokopenko, V.N. Derkachenko, O.P. Cherenkov, V.I. Mihajlov, V.N. Varyukhin, V.P. Dyakonov, and H. Szymczak, *J. Magn. Magn. Mater.* **220**, 52 (2000).
14. В.П. Пащенко, В.К. Прокопенко, А.А. Шемяков, В.Н. Варюхин, В.Н. Деркаченко, А.Д. Лойко, В.П. Дьяконов, Х. Шимчак, А. Гладчук, *Металлофизика и новейшие технологии* **22**, 18 (2000).
15. С.С. Кучеренко, В.П. Пащенко, П.И. Поляков, В.А. Штаба, А.А. Шемяков, *ФНТ* **27**, 761 (2001).
16. Т.И. Арбузова, И.Б. Смоляк, С.В. Наумов, А.А. Самохвалов, А.В. Мостовщиков, Н.И. Солин, *ЖЭТФ* **116**, 1664 (1999).
17. К.Н. Михалев, С.А. Лекомцев, А.П. Геращенко, В.Е. Архипов, А.В. Королев, Я.М. Муковский, А.А. Арсенов, *Письма в ЖЭТФ* **72**, 867 (2000).
18. К.Н. Михалев, С.А. Лекомцев, А.П. Геращенко, В.В. Сериков, И.А. Фогель, А.Р. Кауль, *ФММ* **93**, 32 (2002).
19. Л.И. Королева, Р.В. Демин, А.М. Балбашов, *Письма в ЖЭТФ* **65**, 449 (1997).
20. О.Ю. Горбенко, Р.В. Демин, А.Р. Кауль, Л.И. Королева, Р. Шимчак, *ФТТ* **40**, 290 (1998).
21. Р.В. Демин, Л.И. Королева, Р. Шимчак, Г. Шимчак, *Письма в ЖЭТФ* **75**, 402 (2002).
22. А.П. Носов, П. Стробель, *ФММ* **93**, 50 (2002).
23. I.O. Troyanchuk, D.D. Khalyavin, S.V. Trukhanov, G.N. Chobot, H. Szymczak, *Письма в ЖЭТФ* **70**, 583 (1999).
24. I.O. Troyanchuk, S.V. Trukhanov, H. Szymczak, J. Przewoznik, and K. Bärner, *ЖЭТФ* **120**, 183 (2001).
25. J. Maartense, *J. Appl. Phys.* **53**, 2466 (1982).
26. W.H. Meiklejohn and C.P. Bean, *Phys. Rev.* **105**, 904 (1957).
27. R.P. Borges, W. Guichard, J.G. Lunney, J.M.D. Coey, and F. Ott, *J. Appl. Phys.* **89**, 3868 (2001).
28. Ю.А. Бойков, Т. Клаесон, А.Ю. Бойков, *ЖТФ* **71**, 54 (2001).

Anomalous hysteresis in magnetoresistive ceramic and film samples

of $(\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$ ($0 \leq x \leq 0.4$)

V.T. Dovgij, A.I. Linnik, V.P. Pashchenko, V.N. Derkachenko, V.K. Prokopenko, V.A. Turchenko, N.V. Davydeiko, V.Ya. Sycheva, V.P. Dyakonov, A.V. Klimov, and H. Szymczak

The crystal structure, magnetization and magnetoresistive effect in ceramic samples of $(\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2})_{1-x}\text{Mn}_{1+x}\text{O}_3$ annealed at 1150°C and 1500°C were studied. It is shown that additional annealing of the ceramic samples at $T = 1500^\circ\text{C}$ results in considerable changes of magnetization and a 2–3 times increase in the magnetoresistance effect depending on x . An «anomalous» magnetic hysteresis in the initial portions of the magnetization curves was observed both in the ceramic and in film samples (the latter were deposited by a laser method). It is found that the value of the «anomalous» magnetic hysteresis depends on composition (x) of the samples and annealing temperature. A mechanism of the «anomalous» hysteresis which is connected with the existence and of ferromagnetic and antiferromagnetic phases their interaction is proposed.