

СТРУКТУРА ТА МАГНЕТОРЕЗИСТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІКРИСТАЛІЧНИХ ЗРАЗКІВ $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ О.І. ТОВСТОЛИТКІН, О.І. В'ЮНОВ¹, К.П. ДАНІЛЬЧЕНКО¹,
А.Г. БІЛОУС¹

УДК 537.6;538.212;538.22

© 2004 р.

Інститут магнетизму НАН України

(Просп. Академіка Вернадського, 366, Київ 03142; e-mail:atov@imag.kiev.ua),

¹Інститут загальної та неорганічної хімії НАН України

(Просп. Академіка Палладіна, 32/34, Київ 03142)

Досліджено структурні, електричні та магнеторезистивні властивості полікристалічних зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($y = 0 \div 1$; $x = 0, 15 \div 0,3$). Електричні вимірювання проводили у температурному діапазоні 77–370 К, магнетоопір вимірювали в полях до 15 кЕ. Показано, що заміщення лантану неодимом приводить до суттєвого підвищення магнетоопору і зниження температури, при якій магнетоопір має максимум. Виявлено, що основні зміни в положенні піків на температурних залежностях електро- та магнетоопору відбуваються в інтервалі $0 \leq y \leq 0,25$, що корелює з характером зміни структурних параметрів. Особливості поведінки зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ поблизу $y = 0,25$ пов'язуються з утворенням структурно- і магнітно-неоднорідного стану.

Вступ

Підвищений інтерес до заміщених манганітів зі структурою деформованого перовскіту $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ (М — лужноземельний елемент) пов'язаний із сильною чутливістю їх електричних властивостей до магнітного поля (колосальний магнеторезистивний ефект), що робить такий клас матеріалів перспективним для використання в пристроях магнітоелектроніки [1, 2]. Однак у більшості випадків значні зміни електричного опору досягаються лише в сильних полях або в області низьких температур, що серйозно обмежує можливості практичного застосування. Як впливає із досліджень останніх років, заміщення в лантановій або марганцевій підґратках можуть служити ефективним інструментом впливу як на величину магнеторезистивного ефекту, так і на область температур, в межах якої цей ефект максимальний [3, 4].

Магнеторезистивний ефект в сполуках $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ є результатом конкуренції різних видів взаємодії між іонами марганцю. Вихідна сполука LaMnO_3 є антиферомагнітним діелектриком, в якому іони марганцю трикратно іонізовані і мають електронну конфігурацію $t_{2g}^3 e_g^1$ [5, 6]. Три електрони, які знаходяться на нижньому рівні (t_{2g}),

зв'язані сильною внутрішньою (кореляційною) обмінною взаємодією і поведуть себе як окремий локалізований спін ($S = 3/2$). На відміну від нижнього рівня, e_g -рівень марганцю сильно гібридизований з $2p$ -рівнем кисню, тому електрони, що перебувають на ньому, мають можливість рухатись між сусідніми вузлами марганцю. Відхиленні ступеня заповнення e_g -рівня від одиниці (при заміщенні La на одиначі двовалентні елементи або при зміні вмісту кисню) приводить до суттєвої зміни магнітного стану і провідності заміщених манганів — ці матеріали стають високопровідними феромагнетиками [1, 2, 5, 6].

Теоретичний аналіз причин сильного взаємозв'язку магнетизму і провідності в заміщених манганітах вперше виконав Зенер [7]. Він розглядав перенос e_g -електрона між іонами марганцю в ланцюзі $\text{Mn}^{3+}-\text{O}-\text{Mn}^{4+}$ при паралельній і антипаралельній орієнтації їх спінів і показав, що в першому випадку реалізація такого процесу може приводити до зниження вільної енергії системи, а в другому — є енергетично не вигідною. Такий висновок базується на припущенні про збереження орієнтації спіну електрона при переносі від одного катіона до іншого і на вимозі існування досить сильної кореляційної взаємодії, яка стабілізує орієнтацію спіну перенесеного електрона по відношенню до спінів катіонів у відповідності з правилами Хунда. У результаті між магнітними моментами обох катіонів виникає ефективний зв'язок, який еквівалентний обмінній взаємодії. Оскільки перенос електрона є послідовністю двох процесів, перший з яких відповідає передачі p -електрона кисню до Mn^{4+} , а другий — переходу d -електрона Mn^{3+} на його місце, результуючий зв'язок був названий подвійним обміном. Домінування подвійного обміну над іншими видами взаємодій (електрон-фононою взаємодією, антиферомагнітним надобміном, зарядовим впорядкуванням та ін.) сприяє делокалізації носіїв заряду і встановленню феромагнітного впорядкування [5, 6, 8].

Наявність структурних деформацій в $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ впливає не тільки на ефективний інтеграл переносу e_g електронів, змінюючи енергію подвійного обміну, але й модифікує ієрархію інших взаємодій, що в результаті може привести до значного ускладнення магнітної структури [3–6]. В роботах [3, 4] було досліджено вплив заміщень лантану на інші рідкісноземельні елементи і виявлено, що зменшення середнього радіуса іона у лантановій підгратці приводить до зниження температури магнітного переходу і суттєвого збільшення магнеторезистивного ефекту. Пізніші роботи показали, що важливу роль у вищезазначених ефектах відіграють також локальні деформації кристалічної ґратки поблизу іонів з різним радіусом [6, 9, 10].

До цього часу вивчення впливу заміщень лантану неодимом на структуру, магнетизм і електропровідність головним чином проводилося в зразках систем $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$ [4, 10–12], $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{MnO}_3$ [13] і лише частково в $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ [13–16].

Метою даної роботи є вивчення взаємозв'язку структурних, електричних і магнеторезистивних властивостей в зразках системи $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ в широкому інтервалі концентрацій стронцію ($x = 0,15 \div 0,3$) і неодиму ($y = 0 \div 1$).

Експеримент

Синтез перовскітоподібних зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ проводили на повітрі методом твердофазних реакцій. Як вихідні реагенти використовували ретельно висушені La_2O_3 , Nd_2O_3 , Mn_2O_3 та SrCO_3 , взяті у відповідних пропорціях. Гомогенізуючий помел здійснювали в кульовому млині з бідистильованою водою. Отриману шихту випаровували, додатково сушили при температурі 100–120 °C і пропускали крізь капронове сито. Гомогенізова-

Т а б л и ц я 1. Хімічний склад синтезованих зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$

Зразок	Хімічний склад
Nd ₀₁	$(\text{La}_{0,75}\text{Nd}_{0,25})_{0,85}\text{Sr}_{0,15}\text{MnO}_3$
Nd ₀₂	$(\text{La}_{0,5}\text{Nd}_{0,5})_{0,85}\text{Sr}_{0,15}\text{MnO}_3$
Nd ₀₃	$(\text{La}_{0,25}\text{Nd}_{0,75})_{0,85}\text{Sr}_{0,15}\text{MnO}_3$
Nd ₀₄	$(\text{La}_0\text{Nd}_1)_{0,85}\text{Sr}_{0,15}\text{MnO}_3$
Nd ₀₅	$(\text{La}_{0,75}\text{Nd}_{0,25})_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_3$
Nd ₀₆	$(\text{La}_{0,5}\text{Nd}_{0,5})_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_3$
Nd ₀₇	$(\text{La}_{0,25}\text{Nd}_{0,75})_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_3$
Nd ₀₈	$(\text{La}_0\text{Nd}_1)_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{MnO}_3$
Nd ₀₉	$(\text{La}_{0,75}\text{Nd}_{0,25})_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$
Nd ₁₀	$(\text{La}_{0,5}\text{Nd}_{0,5})_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$
Nd ₁₁	$(\text{La}_{0,25}\text{Nd}_{0,75})_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$
Nd ₁₂	$(\text{La}_0\text{Nd}_1)_{0,7}\text{Sr}_{0,3}\text{MnO}_3$

ну суміш відпалювали дві години при температурі 1050 °C. Після помелу та пресування в таблетки, заготовки спікали дві години при 1300 °C. Спечені зразки повільно охолоджували до кімнатної температури. Однофазність синтезованих зразків підтверджена рентгенівським структурним аналізом. У даній роботі досліджували властивості трьох серій зразків (з $x = 0,15, 0,2$ і $0,3$), хімічний склад яких наведено у табл. 1.

Рентгенівські дослідження проводили на дифрактометрі ДРОН-3М ($\text{CuK}\alpha$ -випромінювання). Для рентгенофазового аналізу використовували базу даних JCPDS. Уточнення структурних параметрів і кількісний фазовий аналіз проводили методом повнопрофільного аналізу Рітвельда з використанням комп'ютерної програми “FullProf”. Зйомку дифрактограм проводили в інтервалі кутів $2\Theta = 10 \div 150^\circ$ у дискретному режимі з кроком $\Delta 2\Theta = 0,02^\circ$ і експозицією у кожній точці 10 с. Як зовнішні стандарти використовували SiO_2 (стандарт 2Θ) і NIST SRM1976 — Al_2O_3 (сертифікований стандарт інтенсивності). Вимірювання електроопору проводили чотириконтактним методом в температурному інтервалі 77–370 К. Зразки для вимірювань були вирізані в формі прямокутних паралелепіпедів розмірами $2 \times 3 \times 10$ мм. Контакти формували шляхом нанесення та відпалювання срібної пасти. Магнетопір (MR) вимірювали в полях до 15 кЕ і визначали як $(R - R_H)/R$, де R — електричний опір зразка в нульовому, а R_H — у прикладеному зовнішньому магнітному полі H .

Результати та їх обговорення

Рентгенографічні дослідження показали, що зразки $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$, які вивчалися в даній роботі, мають ромбоєдрично деформовану структуру перовскіту (просторова група $R\bar{3}c$). Структурні параметри, уточнені з використанням повнопрофільного аналізу Рітвельда, наведено у табл. 2. У межах кожної серії зразків об'єм елементарної комірки V зменшується при заміщенні La^{3+} (іонний радіус лантану $R_{\text{La}}^i = 1,061$ Å для найближчого оточення з координаційним числом 6) на менший іон неодиму ($R_{\text{Nd}}^i = 0,995$ Å). Залежність $V(y)$ є майже лінійною (рис. 1), що корелює з результатами, одержаними при заміщенні лантану неодимом в сполучі $\text{La}_{2/3}\text{Ca}_{1/3}\text{MnO}_3$ [10]. Зсув координати кисню x_{O} монотонно змінюється із збільшенням y , проте на кривій $x_{\text{O}}(y)$ спочатку спостерігається значний спад (при збільшенні y від 0 до 0,25), і лише потім змінює

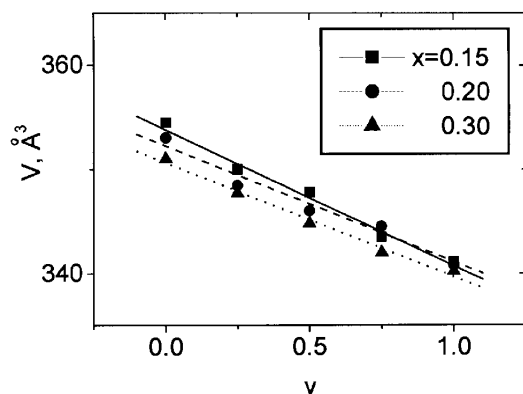


Рис. 1. Залежність об'єму елементарної комірки $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ від концентрації неодиму

повільнішою (рис. 2,а). Сильніші зміни в області малих концентрацій неодиму ($0 \leq y \leq 0,25$) характерні й для концентраційної залежності c/a (рис. 2,б) — параметра, який характеризує ступінь ромбоєдричної деформації структури перовскіту [17].

Відомо, що перовскітна комірка, будучи досить щільнопакованою, накладає досить жорсткі вимоги на іонні радіуси елементів, які в неї входять [5, 6]. Хоча область стійкості перовскітної структури з хімічною формулою ABO_3 визначається співвідношенням між середніми значеннями R_A^i і R_B^i , наявність в підгратках А або В елементів з різними іонними радіусами приводить до появи значних локальних деформацій. Враховуючи, що $R_{\text{Nd}^{3+}}^i$ відрізняється від $R_{\text{La}^{3+}}^i$, а ще більше від $R_{\text{Sr}^{2+}}^i$, збільшення вмісту неодиму повинно приводити до збільшення ступеня неоднорідності на локальному рівні. Беручи до уваги сильну чутливість електричних і магнітних властивостей манганітів як до середніх значень структурних параметрів, так і до ступеня локальних деформацій та напружень [3–6], слід очікувати суттєвих змін в електричній і магнеторезистивній поведінці зразків при зміні концентрації неодиму, особливо при збільшенні y від 0 до 0,25.

Одним із ключових параметрів, які визначають фізичні властивості і вид магнітного впорядкування в Sr-заміщених манганітах лантану, є концентрація Sr. Згідно з літературними даними [6, 19] $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($0,15 < x \leq 0,30$) в основному (низькотемпературному) стані є феромагнетиком з металічним характером провідності ($dR/dT > 0$). У парамагнітному стані провідність має активаційний характер ($dR/dT < 0$), тому крива $R(T)$ має максимум поблизу температури магнітного переходу. Температура переходу парамагнетик/феромагнетик (T_C) залежить від концентрації Sr і при збільшенні x змінюється від 230 К ($x = 0,15$)

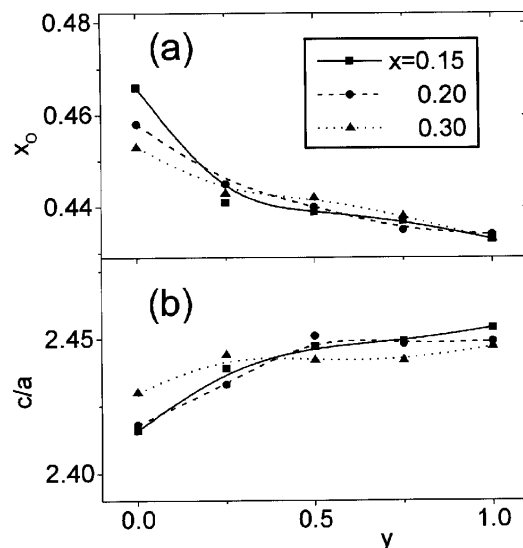


Рис. 2. Залежності координати кисню x_O (а) і відношення параметрів ромбоєдричної ґратки c/a (б) від вмісту неодиму для зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$

до 370 К ($x = 0,30$) [6]. Прикладання зовнішнього магнітного поля H зменшує електричний опір зразка, що приводить до появи магнеторезистивного ефекту. Магнетоопір MR монокристалічних зразків заміщених манганітів має максимум поблизу температури Кюрі і зменшується при відхиленні температури від T_C [19]. В полікристалах (кераміці) в низькотемпературній області ($T < T_C$) проявляється додатковий внесок, який монотонно зростає зі зниженням температури. Появу додаткового внеску пов'язують із спін-залежним розсіюванням носіїв заряду у міжзеренній області [20] або спін-поляризованим тунелюванням крізь міжзеренні межі [21].

Електричні та магнеторезистивні властивості зразків $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ з $x = 0,15$; 0,20 і 0,30, які

Т а б л и ц я 2. Структурні параметри манганітів $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$

Зразок	Параметри елементарної комірки			Фактори вірогідності	
	a , Å	c , Å	V , Å ³	R_b , %	R_f , %
Nd ₀₁	5,4881(7)	13,390(2)	349,26(7)	7,5	8,3
Nd ₀₂	5,4745(9)	13,398(2)	347,8(1)	8,5	9,9
Nd ₀₃	5,451(1)	13,350(3)	343,5(1)	8,8	10,85
Nd ₀₄	5,434(1)	13,338(3)	341,1(1)	10,95	10,45
Nd ₀₅	5,4881(7)	13,358(1)	348,42(8)	7,05	7,4
Nd ₀₆	5,4602(9)	13,402(3)	346,0(1)	8,0	8,55
Nd ₀₇	5,4594(9)	13,368(2)	345,1(1)	8,0	10,1
Nd ₀₈	5,436(1)	13,318(3)	340,8(1)	10,35	10,5
Nd ₀₉	5,4341(8)	13,318(3)	347,71(9)	10,7	10,9
Nd ₁₀	5,463(1)	13,342(4)	344,8(2)	8,0	7,25
Nd ₁₁	5,4475(9)	13,308(3)	342,0(1)	9,9	10,45
Nd ₁₂	5,438(1)	13,309(3)	340,9(1)	8,75	10,75

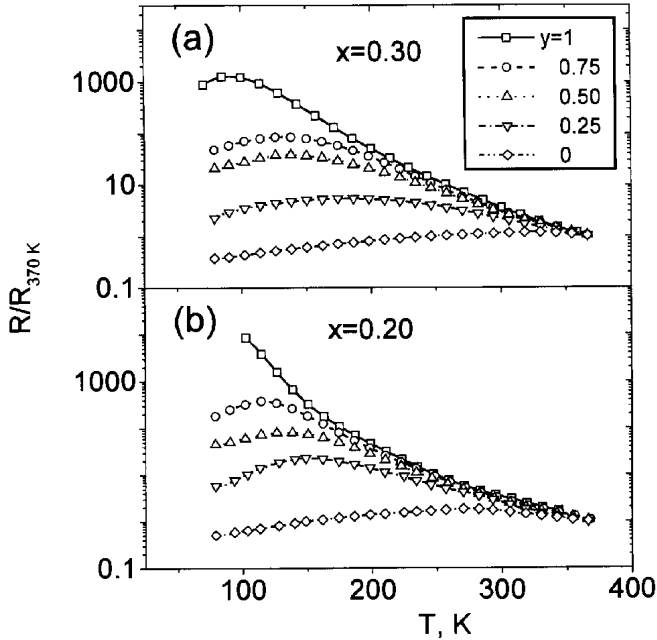


Рис. 3. Температурні залежності нормованого електроопору зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$

використовували як вихідні для вивчення впливу заміщень лантану неодимом в даній роботі, були детально проаналізовані в [17, 22]. У всьому дослідженому діапазоні концентрацій Sr характер температурних залежностей електричного опору $R(T)$ подібний до того, що спостерігається в монокристалах $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ [19]. Криві $R(T)$ мають максимум, температура якого (T_R) підвищується із збільшенням x . Для всіх x величина T_R на 10–15 K нижча, ніж у монокристалічних зразках, що, очевидно, пов'язано з незначним відхиленням вмісту кисню від стехіометричного значення [22].

На рис. 3 наведені температурні залежності нормованого електроопору $(R/R_{370})(T)$ для $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ з $x = 0,20$ і $0,30$ (R_{370} — електричний опір при температурі 370 K). В обох серіях зразків збільшення вмісту неодиму приводить до суттєвого зниження T_R . Так, повна заміна лантану неодимом у зразках із $x = 0,30$ зменшує T_R з 330 до 92 K, а в зразках із $x = 0,20$ — з 276 до 80 K. У зразках третьої серії ($x = 0,15$) вже при $y = 0,5$ положення піка близьке до 77 K, а при $y > 0,5$ T_R , очевидно, нижча за 77 K.

На рис. 4 показані температурні залежності магнетоопору $\text{MR}(T)$, одержані в магнітному полі $H = 15$ кЕ, для зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{0,70}\text{Sr}_{0,30}\text{MnO}_3$. При кімнатній температурі помітний магнеторезистивний ефект ($\text{MR} \sim 10\%$) спостерігається лише в зразку без

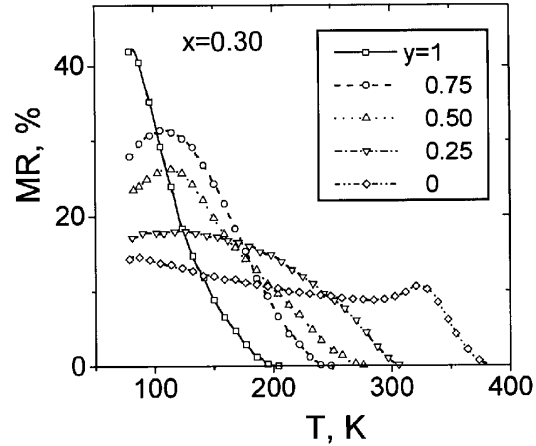


Рис. 4. Залежності від температури магнетоопору зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{0,70}\text{Sr}_{0,30}\text{MnO}_3$

неодиму. Заміщення 25 % (тут і далі вміст — атомний) лантану на неодим приводить як до сильного зменшення температури, при якій магнетоопір має максимум (T_{MR}), так і до зміни виду кривої $\text{MR}(T)$. У той час як для зразка $\text{La}_{0,70}\text{Sr}_{0,30}\text{MnO}_3$ інтервал температур ΔT , в межах якого при зниженні температури MR змінюється від 0 до пікового значення, становить 55 K, для зразка з $y = 0,25$ він значно більший — $\Delta T \approx 180$ K. При подальшому збільшенні вмісту неодиму ΔT знову зменшується і при повному заміщенні лантану на неодим дорівнює 110 K. Подібний характер зміни поведінки магнетоопору при зміні концентрації неодиму спостерігається і в інших серіях зразків.

На рис. 5 показані залежності T_{MR} і максимального значення магнетоопору MR_{max} від концентрації неодиму. Для кожної з серій зразків $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ повне заміщення лантану на неодим приводить до зниження T_{MR} в 1,5–2 рази і підвищення MR_{max} в 2–4,5 рази. Основний ріст максимального значення магнетоопору відбувається при $y > 0,25$. T_{MR} , навпаки, слабо залежить від концентрації неодиму в області великих значень y і сильно зменшується при зміні y від 0 до 0,25, що корелює із характером зміни структурних параметрів (див. рис. 2).

Подібна поведінка T_{MR} величин і MR_{max} спостерігалась при заміщенні лантану іншими рідкісноземельними елементами в системах $\text{La}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ ($M = \text{Sr}, \text{Ca}$) [10–14]. Вище відмічалось, що магнітоактивними іонами в заміщених манганітах є іони марганцю, які взаємодіють між собою за участю аніонів кисню. Заміщення в лантановій підгратці впливають на

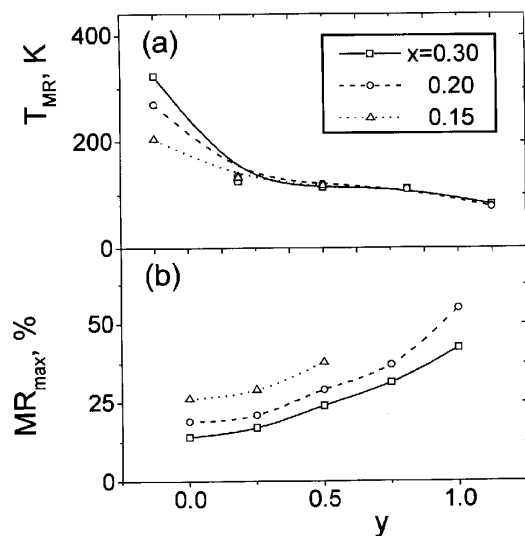


Рис. 5. Концентраційні залежності температури максимуму (а) і максимального значення магнетоопору (б)

ступінь взаємодії шляхом зміни локальних напружень і деформацій. Для ідеальної перовскітної структури ABO_3 закони кристалічної симетрії накладають жорсткі обмеження на іонні радіуси і відстань між сусідніми іонами: $d_{A-O}/d_{B-O} = \sqrt{2}$ [5, 6]. Щоб зберегти це співвідношення близьким до $\sqrt{2}$, у неідеальній перовскітній комірниці виникають напруження, а рівновага в системі досягається шляхом утворення локальних деформацій. Наявність таких деформацій впливає як на міжіонну відстань, так і на ступінь відхилення кута від 180° у ланцюзі B—O—B (для ідеальної перовскітної комірниці кут B—O—B дорівнює 180°). У заміщених манганітах (B = Mn) збільшення ступеня локальних спотворень шляхом заміщення частини іонів лантану на неодим приводить до зменшення перекривання електронних орбіталей сусідніх іонів, а отже — до ослаблення обмінної взаємодії між іонами марганцю. У нашому випадку загальний характер залежностей $T_{MR}(y)$ і $MR_{max}(y)$ узгоджується з таким поясненням, проте деталі потребують окремої дискусії.

У роботі [10], яка присвячена вивченню властивостей об'ємних зразків системи $La_{(2-z)/3}Nd_{z/3}Ca_{1/3}MnO_3$, було виявлено аномальну поведінку зразків із $z \sim 1$, тобто зразків, в яких близько 50 % лантану заміщено неодимом. Комплексний аналіз структурних, електричних, магнітних і магнеторезистивних властивостей дозволив авторам зробити висновок, що в околі значення $z = 1$ стійкою є структура, в якій розподіл атомів Nd по об'єму зразка не є рівномірним. Такі зразки містять області, одні з яких збагачені La, а інші — Nd, і є структурно

і магнітно неоднорідними. У цьому випадку на температурних залежностях магнітної сприйнятливості спостерігаються два піки, положення яких близьке до відповідних температур магнітного переходу в $Nd_{2/3}Ca_{1/3}MnO_3$ (T_{Nd}) і $La_{2/3}Ca_{1/3}MnO_3$ (T_{La}). Криві $R(T)$ і $MR(T)$ мають один широкий пік в області температур між T_{Nd} і T_{La} . На нашу думку, схожість властивостей зразків, синтезованих нами, і досліджених в роботі [10] є результатом виникнення подібного неоднорідного стану в $(La_{1-y}Nd_y)_{1-x}Sr_xMnO_3$, зокрема, поблизу $y = 0,25$. Причиною виникнення такого виду неоднорідності автори роботи [10], вважають різний характер деформації ґратки поблизу іонів La^{3+} та Nd^{3+} і взаємодію деформаційних полів між собою.

Таким чином, у даній роботі досліджено структурні, електричні і магнеторезистивні властивості зразків системи $(La_{1-y}Nd_y)_{1-x}Sr_xMnO_3$ в широкому інтервалі концентрацій стронцію ($x = 0,15 \div 0,3$) і неодиму ($y = 0 \div 1$). Показано, що залежність об'єму елементарної комірки від концентрації неодиму близька до лінійної у всьому діапазоні значень y . Основні зміни інших структурних параметрів — координати кисню x_O і відношення розмірів елементарної комірки c/a — відбуваються в діапазоні $0 \leq y \leq 0,25$. Встановлено кореляцію між характером зміни структурних параметрів x_O та c/a , з одного боку, і температур T_R та T_{MR} , при яких на кривих $R(T)$ і $MR(T)$ спостерігається максимум, з іншого. Наведено дані, які свідчать про утворення структурно- і магнітно-неоднорідного стану в зразках зі значенням y близько 0,25.

Робота виконана за часткової підтримки НТЦУ, проект №1086.

1. Von Helmolt R., Wecker J., Samwer K. et al. // J. Appl. Phys.— 1994.— **76**, N 10.— P. 6925–6928.
2. Jin S., Tiefel T.H., McCormack M. et al. // Science.— 1994.— **264**, N 5157.— P.413–415.
3. Hwang H.Y., Cheong S.-W., Radaelly P.G. et al. // Phys. Rev. Let.— 1995.— **75**, N 5.— P.914–917.
4. Sun J.R., Rao G.H., Liang J.K. // Appl. Phys. Lett.— 1997.— **70**, N 14.— P.1900–1902.
5. Loktev V.M., Pogorelov Yu.G. // Low Temp. Phys.— 2000.— **26**, N 3.— P.171–193.
6. Haghir-Gosnet A.-M., Renard J.-P. // J. Phys. D: Appl. Phys.— 2003.— **36**, N 8.— P.R127–R150.
7. Zener C. // Phys. Rev.— 1951.— **82**, N 3.— P.403–405.
8. Millis A.J., Shraiman B.I., and Mueller R. // Phys. Rev. Lett.— 1996.— **77**, N 1.— P.175–178.

9. *Rodriguez-Martinez L.M., Attfield J.P.* // Phys. Rev. B.— 1996.— **54**, N 22.— P.15622—15625.
10. *Rao G.H., Sun J.R., Liang J.K., Zhou W.Y.* // Ibid.— 1997.— **55**, N 6.— P.3742—3748.
11. *Poddar A., Murugaraj P., Fisher R. et al.* // Physica B.— 1998.— **254**, N 1.— P.21—27.
12. *Rao G.H., Sun J.R., Liang J.K. et al.* // Appl. Phys. Lett.— 1996.— **69**, N 3.— P.424—426.
13. *Pierre J., Nossov A., Vassiliev V., Ustinov V.* // Phys. Lett. A.— 1998.— **250**, N4—6.— P.435—438.
14. *Moritomo Y., Akimoto T., Nakamura A. et al.* // Phys. Rev. B.— 1998.— **58**, N 9.— P.5544—5549.
15. *Xiong G.C., Li Q., Ju H.L. et al.* // Appl. Phys. Lett.— 1995.— **67**, N 20.— P.3031—3032.
16. *Абрамович А.И., Королева Л.И., Мичурин А.В. и др.* // ФТТ.— 2002.— **44**, вып. 5.— С.888—892.
17. *Xiong G.C., Li Q., Ju H.L. et al.* // Appl. Phys. Lett.— 1995.— **67**, N 20.— P.3031—3032.
18. *Белоус А. Г., Вьюнов О. И., Пашкова Е. В. и др.* // Неорг. материалы. — 2003. — **39**, №2.— С.212—222.
19. *Urushibara A., Moritomo Y., Arima T. et al.* // Phys. Rev. B.— 1995.— **51**, N 20.— P.14103—14109.
20. *Gupta A., Gong G.Q., Xiao G. et al.* // Ibid.— 1996.— **54**, N 22.— P.15629—15634.
21. *Gross R., Alff L., Büchner B. et al.* // J. Magn. Magn. Mater.— 2000.— **211**, N 2.— P.150—155.
22. *Bar'yakhtar V.G., Pogorilyi A.N., Belous N.A., Tovstolytkin A.I.* // Ibid.— 1999.— **207**, N 1—3.— P.118—120.

Одержано 30.12.03

СТРУКТУРА И МАГНЕТОРЕЗИСТИВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

 $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ *А.И. Товстолыткин, О.И. Вьюнов, К.П. Данильченко, А.Г. Белоус*

Резюме

Исследованы структурные, электрические и магнито-резистивные свойства поликристаллических образцов

$(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($y = 0 \div 1$; $x = 0,15 \div 0,3$). Электрические измерения проводили в температурном диапазоне 77—370 К, магнитосопротивление измеряли в полях до 15 кЭ. Показано, что замещение лантана неодимом приводит к существенному повышению магнитосопротивления и понижению температуры, при которой магнитосопротивление имеет максимум. Обнаружено, что главные изменения в положении пиков на температурных зависимостях электро- и магнитосопротивления происходят в интервале $0 \leq y \leq 0,25$, что коррелирует с характером изменения структурных параметров. Особенности поведения образцов $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ вблизи $y = 0,25$ связываются с образованием структурно- и магнитно-неоднородного состояния.

STRUCTURE AND MAGNETORESISTANCE PROPERTIES OF $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ POLYCRYSTALLINE SPECIMENS*A.I. Tovstolytkin, O.I. V'yunov¹, K.P. Danil'chenko¹, A.G. Belous¹*

Institute of Magnetism, Nat. Acad. Sci. of Ukraine
(36b, Academician Vernadskii Blvd., Kyiv 03142, Ukraine;
e-mail:atov@imag.kiev.ua),

¹Institute of General and Inorganic Chemistry,
Nat. Acad. Sci. of Ukraine
(32/34, Academician Palladina Blvd., Kyiv 03142, Ukraine)

Summary

Structure, electric and magnetoresistance properties of $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ ($y = 0 \div 1$; $x = 0.15 \div 0.3$) polycrystalline specimens are studied. Electric measurements are performed in the temperature range 77—370 K, magnetoresistance is measured in fields up to 15 kOe. It is revealed that a substitution of neodymium for lanthanum leads to a substantial increase in magnetoresistance and a decrease in the temperature, at which magnetoresistance displays a maximum. The principal changes in positions of the peaks on the temperature dependences of electro- and magnetoresistance are shown to occur within the range $0 \leq y \leq 0.25$, which correlates with the character of a change of structural parameters. The evidence is presented for that the peculiarities of the behavior of $(\text{La}_{1-y}\text{Nd}_y)_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ specimens near $y = 0.25$ are associated with the appearance of a structurally and magnetically inhomogeneous state.