

6. Еременко В.Н., Обушенко И.М. // Изв. вузов. Цвет. металлургия. -1981. -№ 3. -С. 59—62.
7. Еременко В.Н., Мелешевич К.А., Буянов Ю.И., Марценюк П.С. // Порошковая металлургия. -1989. -№ 7. -С. 41—46.
8. Еременко В.Н., Мелешевич К.А., Буянов Ю.И. // Доп. АН УРСР. Сер. А. -1983. -№ 3. -С. 83—88.
9. Еременко В.Н., Мелешевич К.А., Буянов Ю.И., Петюх В.М. // Там же. Сер. А. -1987. -№ 5. -С. 76—80.
10. Schachner H., Nowotny H., Kudielka H. // Monat. Chem. -1954. -85. -S. 1140—1153.
11. Venturini G., Ijjaali I., Malaman B. // J. Alloys Compd. -1999. -288. -P. 183—187.
12. Лукас С., Гладышевский Р., Гладышевский Е. // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. хім. -2004. -45. -С. 84—90.
13. Schobinger-Parantellos P., de Mooij D.B., Buschow K.H.J. // J. Less-Common Met. -1988. -144. -P. 265—274.
14. Savysyuk I.A., Gladyshevskii E.I., Gladyshevskii R.E. // VII Inter. Conf. Crystal Chem. Intermet. Comp., September 22—25, 1999. -Lviv: Coll. Abstr. -P. B17.
15. Мокрая И.Р., Печарский В.К., Шпырка З.М. и др. // Докл. АН УССР. Сер. Б. -1989. -№ 2. -С. 48—50.
16. Ijjaali I., Venturini G., Malaman B. // J. Alloys Compd. -1999. -284. -P. 237—242.
17. Venturini G. // Ibid. -2000. -308. -P. 200—204.
18. Брусков В.А., Бодак О.И., Печарский В.К. и др. // Кристаллография. -1983. -28. -С. 260—263.
19. Brauer G., Mitius A. // Z. Anorg. Allg. Chem. -1942. -249. -S. 325—339.
20. Venturini G., Ijjaali I., Malaman B. // J. Alloys Compd. -1999. -285. -P. 194—203.
21. Felten E.J. // J. Amer. Chem. Soc. -1956. -78. -P. 5977, 5978.
22. Thompson J.R. // Acta Crystallogr. -1963. -16. -P. 320, 321.
23. Venturini G., Ijjaali I., Malaman B. // J. Alloys Compd. -1999. -284. -P. 262—269.
24. Kraus W., Nolze G. PowderCell for Windows. -Berlin, Germany: Federal Institute for Materials Research and Testing, 1999.
25. Schwarzenbach D. LATCON: Refine Lattice Parameters. -Lausanne, Switzerland: University of Lausanne, 1966.
26. Young R.A., Larson A.C., Paiva-Santos C.O. Rietveld Analysis of X-Ray and Neutron Powder Diffraction Patterns. -Atlanta, GA: School of Physics, Georgia Institute of Technology, 1998.
27. Наконечна Н., Мельник А., Сависюк І., Гладышевский Р. // 8 Наук. конф. "Львів. хім. читання", травень 24—25, 2001. -Львів: 36. наук. праць. -С. Н1.
28. Kuprysiuk W., Babiuk W., Bodak O. et al. // VIII Kraj. Sem. Prof. St. Bretsznajdera, wrzesnia 19—20, 2002. -Plock, Polska: Mater. -S. 312—316.
29. Mel'nyk I., Kuprysiuk V., Gladyshevskii R., Pikus S. // VIII Inter. Conf. Crystal Chem. Intermet. Comp., September 25—28, 2002. -Lviv: Coll. Abstr. -P. 97.
30. Zhao J.T., Cenxual K., Parthé E. // Acta Crystallogr. -1991. -C47. -P. 1777—1781.
31. Гладышевский Е.И. // Журн. структур. химии. -1964. -5, № 4. -С. 568—575.
32. Лукас С., Мельник А., Куприсюк В., Гладышевский Р. // 9 Наук. конф. "Львів. хім. читання", травень 21—23, 2003. -Львів: 36. наук. праць. -С. Н36.

Львівський національний університет ім. Івана Франка

Надійшла 15.12.2004

УДК 621.315.592.54-185

А.Г. Белоус, А.И. Товстолыткин, О.И. Вьюнов, Ю.Д. Ступин, Л.Л. Коваленко

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПЛЕНОК $\text{La}_{0,775}\text{Sr}_{0,225}\text{MnO}_3$

Проведен сравнительный анализ электрофизических свойств пленок состава $\text{La}_{0,775}\text{Sr}_{0,225}\text{MnO}_3$, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления. Определены температурные режимы, при которых пленки, полученные методом трафаретной печати, обладают оптимальными электрофизическими свойствами. Было показано, что по некоторым техническим параметрам полученные пленки не уступают пленкам, нанесенным по методу магнетронного напыления.

Перовскитоподобные манганиты $\text{R}_{1-x}\text{M}_x\text{MnO}_3$ (где R и M — редкоземельный и щелочно-земельный элементы соответственно), обладающие эффектом гигантского магнитосопротивления, широко исследуются благодаря уникальному сочетанию структурных, электрических и магнитных свойств [1]. Перспективными для практического

применения являются манганиты $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ с $x=0.2—0.3$, в которых этот эффект наблюдается в области комнатных температур [2, 3]. Магнитные и электрические свойства данных материалов чувствительны к режимам синтеза, микроструктурным особенностям (размер зерна, пористость и др.), а также к тому, в каком виде находится

© А.Г. Белоус, А.И. Товстолыткин, О.И. Вьюнов, Ю.Д. Ступин, Л.Л. Коваленко, 2006

материал — объемном или пленочном [4, 5]. По сравнению с объемными образцами в пленках манганитов одинакового химического состава влияние особенностей микроструктуры на электрофизические свойства состава проявляется сильнее, что расширяет область исследования и применения магниторезистивных материалов [6].

Для получения пленок манганитов широко используют методы лазерного и магнетронного напыления [7]. Однако данные методы имеют ряд недостатков: при получении пленок используется сложная аппаратура, трудно контролировать стехиометрию, сложно изготавливать промежуточные мишени-напылители [8]. Альтернативным методом получения пленок является трафаретная печать [9]. Однако в литературе недостаточно полно описаны возможности использования этого метода для получения пленок манганитов и их электрофизические свойства.

Поэтому цель данной работы — нахождение связи между электрофизическими свойствами и условиями приготовления пленок

$\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати, а также сравнение их характеристик с пленками, полученными методом магнетронного напыления.

Образец состава $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, из которого были изготовлены мишени для магнетронного напыления пленок, и мелкодисперсный порошок для получения пленок трафаретной печатью получали методом твердофазных реакций из La_2O_3 , Mn_2O_3 и SrCO_3 квалификации ос.ч. Стехиометрические количества исходных реагентов смешивали и гомогенизировали на вибрационной мельнице с использованием бидистиллированной воды и материалов, исключаяющих намол. Полученную шихту высушивали, просеивали через капроновое сито, проводили синтез при 1420 К в течение 6 ч и повторяли гомогенизирующие помолы. В синтезированную шихту вводили связующее (водный раствор поливинилового спирта), прессовали заготовки и обжигали 2 ч при 1630 К. Проводили механическую обработку обожженных заготовок, получая мишени для магнетронного напыления пленок, а для получения пленок методом трафаретной печати из заготовок получали мелкодисперсный порошок путем дробления, помола и ультразвукового диспергирования с использованием установки УЗДН-2Т. Магнетронное напыление проводили на установке ВУП-5М. Пленки наносили на подложки из поликора и отжигали в воздушной атмосфере.

Рентгеновские исследования проводили на ди-

фрактометре ДРОН-4-07 (CoK_α -излучение), подключенного через интерфейс к компьютеру. Съемку рентгенограмм осуществляли в интервале $2\theta = 10\text{--}150^\circ$ с шагом $\Delta 2\theta = 0.02^\circ$ и экспозицией 10 с. В качестве внешних стандартов использовали SiO_2 (стандарт 2θ) и Al_2O_3 (стандарт интенсивности). Структурные параметры уточняли методом полнопрофильного анализа Ритвельда.

Съемку микроструктуры пленок проводили при помощи сканирующего электронного микроскопа JCXA Superprobe 733 (JEOL, Япония).

Электросопротивление пленок измеряли четырехзондовым методом в интервале 77—350 К. Серебряные контакты наносили напылением. Магнитосопротивление (MR) измеряли в магнитных полях до 1200 кА/м и вычисляли, используя соотношение $MR = (R_0 - R_H) / R_0 \cdot 100\%$, где R_0 — электросопротивление в нулевом магнитном поле; R_H — электросопротивление в магнитном поле с напряжением H .

Рентгеновские исследования показали, что керамический образец состава $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, используемый для получения пленок, является однофазным и характеризуется ромбоэдрически искаженной перовскитной структурой (пространственная группа $R\bar{3}c$ (167), параметры элементарной ячейки: $a = 5.5237(5)$ Å; $c = 13.3672(4)$ Å; $V = 353.13(5)$ Å³, позиции и координаты атомов: La(Sr) 6f (0 0 1/4); Mn 6b (0 0 0); O 18e (x 0 1/4)).

Анализ рентгенограмм пленки, полученной из порошка $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ методом трафаретной печати, показал присутствие преимущественной ориентации (параметр текстуры $G = 0.15(2)$). Кристаллиты ориентируются в направлении [001], что приводит к усилению рефлексов от плоскост-

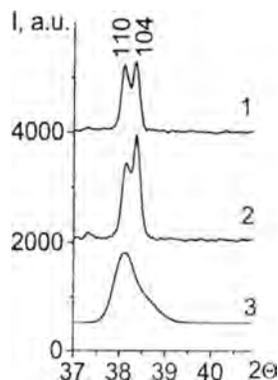


Рис. 1. Фрагменты рентгенограмм порошка $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, $T_{\text{спек}} = 1630$ К (1), пленки из этого же порошка, полученной методом трафаретной печати, $T_{\text{обж}} = 1440$ К (2) и методом магнетронного напыления (3).

тей (001) и близких к ним. Так, на рис. 1 (кривая 1) показан фрагмент рентгенограммы исходного порошка, где приведены рефлексы (110) и (104), имеющие близкие значения структурных факторов и, соответственно, интенсивности рефлексов. В то же время интенсивность рефлекса (104) в пленке существенно увеличивается (кривая 2). Известно [12], что параметр текстуры показывает не только отсутствие (при $G=0$ или $G=1$) или присутствие (при $G \neq 0$ или $G \neq 1$) преимущественной ориентации, но позволяет охарактеризовать форму частиц: при $0 < G < 1$ частицы имеют пластинчатую форму, а при $G > 1$ — игольчатую. Исходя из полученных значений параметра текстуры (0.15) в случае нанесения пленки $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ методом трафаретной печати частицы имеют пластинчатую форму. Нанесенная пленка достаточно толстая (80 мкм), поэтому на рентгенограмме отсутствуют рефлексы от поликоровой подложки.

В пленке, полученной методом магнетронного напыления, также наблюдается преимущественная ориентация, но в направлении [110], которая приводит к усилению рефлексов от плоскостей (110) (рис. 1, кривая 3). Исходя из полученного значения параметра текстуры ($G=1.4(2)$) можно сделать вывод, что частицы имеют игольчатую форму. Это согласуется с данными работы [13], в которой указывается, что при магнетронном напылении $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ частицы располагаются в виде перпендикулярных к поверхности подложки нанокристаллических столбиков. Нанесенная методом магнетронного напыления пленка состава $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ имеет толщину 0.7 мкм, поэтому на рентгенограмме присутствуют рефлексы подложки. Согласно рентгеновским данным, пленка содержит перовскитную фазу, которая также характеризуется пространственной

Т а б л и ц а 1

Кристаллографические параметры пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления

Параметры	Метод трафаретной печати	Метод магнетронного напыления
Параметры элементарной ячейки		
a , Å	5.522(4)	5.529(7)
c , Å	13.384(6)	13.37(1)
V , Å ³	353.5(4)	354.0(7)
Координаты ионов		
O : x	0.571(4)	0.57(7)
Факторы достоверности		
χ^2	2.92	4.92
R_B , %	6.52	9.50
R_f , %	6.17	6.02

группой $R\bar{3}c$. Исследование пленки методом профильного рентгеновского анализа осложнено наличием на рентгенограмме пиков подложки: для получения корректных данных уточнения кристаллографических параметров проводили одновременно для пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ (в качестве исходных данных использовали параметры, полученные на порошках) и подложки поликора (Al_2O_3 , пространственная группа $R\bar{3}c$ (167), параметры элементарной ячейки: $a=4.7590(3)$ Å; $c=12.9939(8)$ Å; $V=254.86(3)$ Å³; позиции и координаты атомов: Al 12c (0 0 z); O 18l (x 0 $\frac{1}{4}$); $Z=0.3514(4)$, $x=0.317(2)$).

В табл. 1 приведены кристаллографические параметры пленок, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления при оптимальных условиях получения. Различия в при-

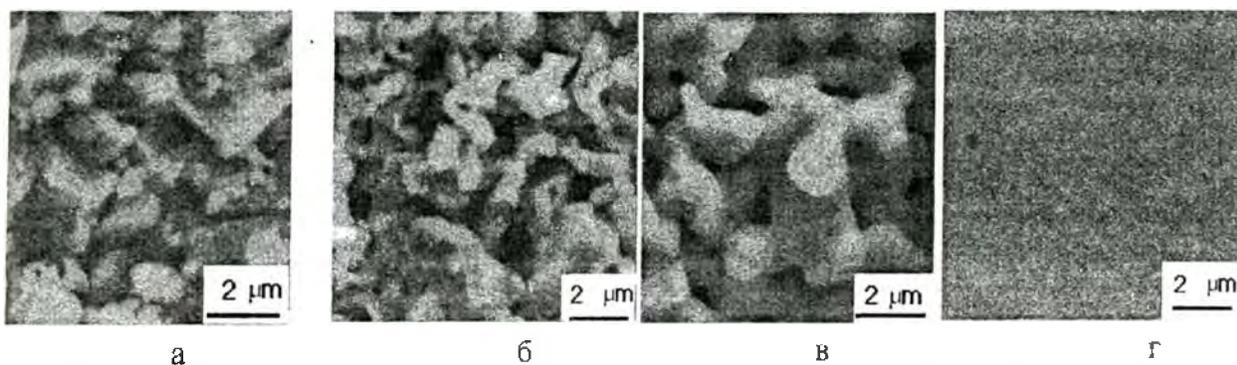


Рис. 2. Фотографии микроструктуры пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати с последующим обжигом при 1370 (а); 1440 (б); 1470 К (в) и пленки, полученной методом магнетронного напыления (г).

веденных значениях можно объяснить особенностями микроструктуры пленок. На рис. 2 представлены фотографии микроструктуры пленок состава $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных трафаретной печатью и обожженных при разных температурах, а также пленки этого же состава, полученные методом магнетронного напыления. При обжиге пленки при температурах до 1320 К начинается взаимодействие между частицами (рис. 2, а). При температуре 1440 К частицы объединяются в более крупные, при этом изменяется соотношение границы и объема частиц в пленке. Пленки, полученные трафаретной печатью, имеют разные по размеру частицы в пределах 1—2 мкм, частицы меньшего размера заполняют пустоты между большими частицами (рис. 2, б). При более высоких температурах наблюдается начало плавления частиц, при этом образуются поры (рис.

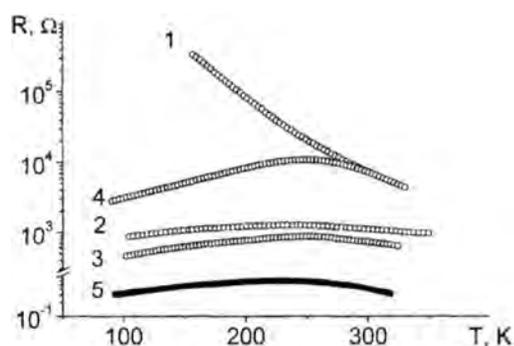


Рис. 3. Температурная зависимость электросопротивления пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати: $T_{\text{обж}} = 1370$ (1); 1420 (2); 1440 (3); 1470 К (4) и пленки, полученной методом магнетронного напыления (5).

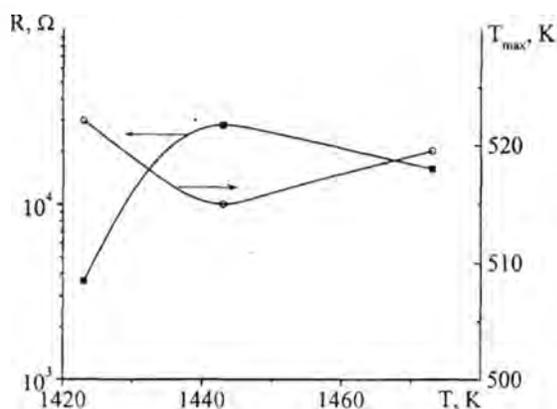


Рис. 4. Зависимость электросопротивления при комнатной температуре (R) и температуры максимума (T_{max}) от температуры обжига пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати.

2, в). Частицы пленок, полученных магнетронным напылением, плотно упакованы и расположены на подложке в виде перпендикулярных к поверхности нанокристаллических столбиков с высотой 0.7 мкм и диаметром 100 нм, которые, как показали рентгеновские исследования, ориентированы в направлении 100. Размер зерен в пленке, полученной методом магнетронного напыления, практически не зависит от материала подложки и увеличивается с ростом температуры обжига.

На рис. 3 представлена температурная зависимость электросопротивления полученных пленок состава $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$. С повышением температуры обжига электросопротивление пленок, полученных методом трафаретной печати, падает, достигая минимума при 1440 К, что связано с процессом спекания частиц (см. рис. 2, б). Спекание частиц между собой приводит к снижению вклада в электросопротивление пленки межзеренных границ, где, согласно работам [10, 11] наблюдается структурная и магнитная разупорядоченность, а также отклонение химического состава от номинального и связанное с ним изменение соотношения $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$. В работе [3] установлено, что изменение соотношения $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$ при повышении температуры спекания керамических образцов манганитов $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ влияет на положение точки Кюри, от которой зависит положение максимума на зависимости $R(T)$. Поэтому можно предположить, что сдвиг максимума $R(T)$ в пленках с различной температурой спекания, сопровождающий изменение электросопротивления пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ (рис. 4), объясняется изменением соотношения $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$. В отличие от пленки, полученной методом магнетронного напыления, пленки, полученные методом трафаретной печати, имеют более пористую структуру, что существенно влияет на соотношение $\text{Mn}^{4+}/\text{Mn}^{3+}$ и, соответственно, на положение точки Кюри.

Характер кривых $MR-T$ пленок, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления, типичен для манганитовых объемных поликристаллических образцов (рис. 5). На кривой $MR-T$ вблизи точки Кюри присутствует пик, который обусловлен ферромагнитным переходом [10, 11]. В пленках, полученных методом трафаретной печати, с ростом температуры обжига уменьшается доля межзеренной области в общем объеме, что влияет на спин-поляризационное тунелирование через границы зерен и на спин-зависимое рассеяние носителей заряда в межзеренной области. В результате с ростом тем

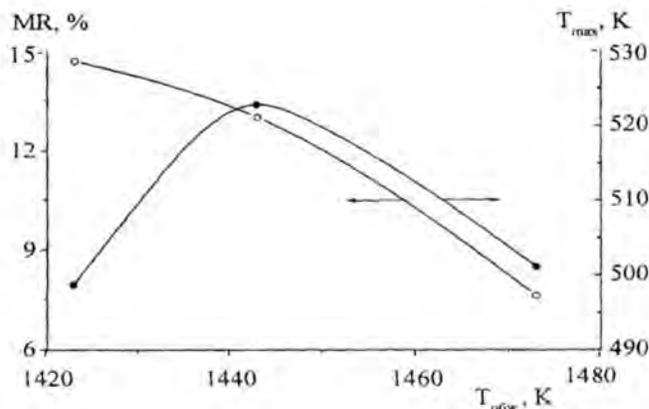
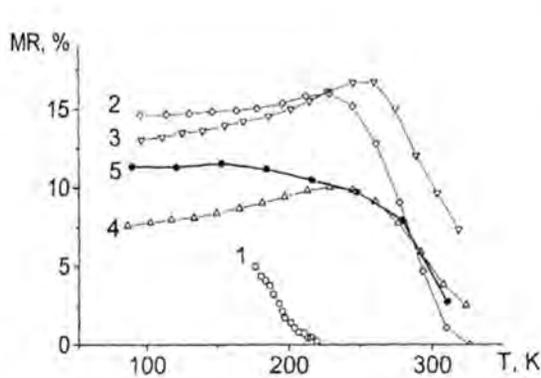


Рис. 5. Температурная зависимость магнитосопротивления пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати: $T_{\text{обж}}=1370$ (1); 1420 (2); 1440 (3); 1470 К (4) и пленки, полученной методом магнетронного напыления (5).
Рис. 6. Зависимость магнитосопротивления при комнатной температуре (MR) и температуры максимума (T_{max}) магнитосопротивления от температуры обжига пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати.

пературы обжига пленок происходит смещение пика MR , при этом максимум (T_{max}) наблюдается при 1440 К, который выше T_{max} пленки, полученной методом магнетронного напыления (рис. 6). Это связано с различием соотношения "граница—объем зерна" для разных методов получения пленок.

На рис. 7 показаны зависимости магнитосопротивления от величины магнитного поля при $T=300$ К и 77 К для пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления. Как видно из рис. 7, магниторезистивные свойства пленок, полученных методом трафаретной печати (1440 К) и методом магнетронного напыления близки. В табл. 2 приведены основные электрофизические характеристики пленок, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления. Как видно из приведенных данных, получение

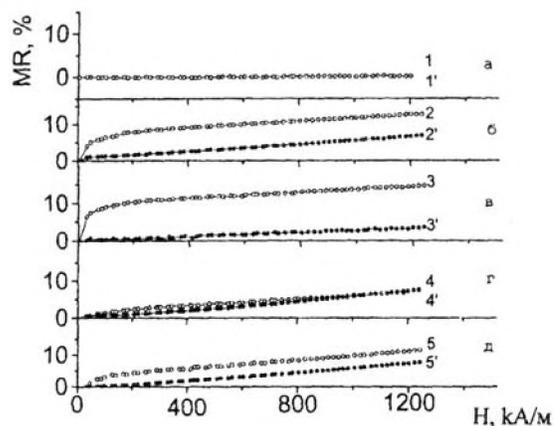


Рис. 7. Зависимость магнитосопротивления (MR) пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методом трафаретной печати (а—г) и магнетронного напыления (о) от величины приложенного магнитного поля: $T_{\text{обж}}=1370$ (а); 1420 (б); 1440 (в); 1470 К (г). Измерения проведены при 77 (1—5); 300 К (1'—5').

Таблица 2

Электрофизические параметры пленок $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, полученных методами трафаретной печати и магнетронного напыления

$T_{\text{обж}}, \text{K}$	$H=0$		$H=1200 \text{ кА/м}$		$H=0$		$H=1200 \text{ кА/м}$	
	T_{max}, K	R_{max}, Ω	T_{max}, K	R_{max}, Ω	T_{max}, K	$MR_{\text{max}}, \%$	T_{max}, K	$MR_{\text{max}}, \%$
Метод трафаретной печати								
1420	508	974	500	818	498.7	14.7	—	12.54
1440	521	878	518	735	522.8	13.0	—	14.22
1470	517	10700	520	645	501.1	7.0	—	7.05
Метод магнетронного напыления								
	500	0.61	500	0.55	500	10.25	—	7.32

пленок методом трафаретной печати целесообразно проводить при температурах около 1440 К, при этом пленка обладает оптимальными электрофизическими свойствами.

Таким образом, в работе показана возможность получения пленок манганитов состава $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ методами трафаретной печати, которые по ряду электрофизических свойств не уступают пленкам, полученным методом магнетронного напыления. Определены температуры обжига, при которых пленки, полученные методом трафаретной печати, обладают оптимальными электрофизическими свойствами.

РЕЗЮМЕ. Проведено порівняльний аналіз електрофізичних властивостей плівок складу $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$, одержаних методами трафаретного друку і магнетронного напылювання. Визначено температурні режими, при яких плівки, отримані методом трафаретного друку, мають оптимальні електрофізичні властивості. Було показано, що по деяким технічним параметрам отримані плівки не поступаються плівкам, нанесеним за допомогою магнетронного напылювання.

SUMMARY. A comparative analysis of electrophysical properties of $\text{La}_{0.775}\text{Sr}_{0.225}\text{MnO}_3$ films, which were prepared by screen printing and magnetron sputtering, has been carried out. The temperature conditions, which ensure optimal electrophysical properties of the films obtained by screen printing, have been defined. Some techni-

cal characteristics of synthesized films have been shown to compete with those obtained by magnetron sputtering.

1. Нагаев Э.Л. // Успехи физ. наук. -1996. -166, № 8. -С. 833—858.
2. Nagai T., Yamazaki A., Uehara M. et al. // J. Magn. Sci. Lett. -2000. -№ 19. -Р. 31.
3. Белоус А. Г., Вьюнов О. И., Пащикова Е.В. и др. // Неорган. материалы. -2003. -39, № 2. -С. 212—227.
4. Wang X.L., Dou S.X., Liu H.K. et al. // Appl. Phys. Lett. -73, № 3. -Р. 396—398.
5. Huang Y-H., Xu Z-G., Yan C-H. // Solid State Communications. -2000. -114. -Р. 43—47.
6. Товстолиткін О.І., Погорілий А.М., Лежненко І.В. та ін. // Металлофізика і новішія технології. -2003. -25, № 2. -С. 147—157.
7. Haghiri-Gosnet A-M., Renard J-P. // J. Phys. D: Appl. Phys. -2003. -36, № 8. -Р. R127—R150.
8. Ghosh B., Brar L.K., Jain H. // Ibid. -2004. -37. -Р. 1548—1553.
9. Курган С.В., Петров Г.С., Башкиров Л.А. и др. // Тез. IV Международ. конф. "Химия твердого тела и современные микро- и нанотехнологии". -Кисловодск-Ставрополь: СевКавГТУ, 2004.
10. Gross R. A., Buchner B., Freitag B.H. et al. // J. Magn. Mat. -2000. -211, № 1-3. -Р. 150—159.
11. Hwang H., Cneong S., Ong N., Batlogg B. // Phys. Rev. Lett. -1996. -77, № 10. -Р. 2041—2044.
12. Rodriguez-Carvajal J. An introduction to the program FullProf 2000, Cedex, France. -2001. -Р. 54, 55.
13. Погорілий А.Н., Лежненко І.В., Товстолиткін А.И. и др. // Сб. тез. IV Международ. украинско-русского семинара "Нанофизика и нанозлектроника". -2003. -С. 23, 24.

Институт общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины, Киев

Поступила 14.02.2005

УДК 541.183.12+546.273+546.831.4-36

Ю.С. Дзязько, В.Н. Беляков, Н.В. Стефанияк, С.Л. Василюк

ЗАРЯДСЕЛЕКТИВНЫЕ СВОЙСТВА НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МЕМБРАН *

Синтезированы композиционные неорганические мембраны на основе оксидной керамики (инертный носитель) и гидратированного диоксида циркония (ионообменная составляющая). На основании результатов измерения мембранного потенциала показано, что полученные мембраны проявляют ионселективные свойства как в кислой (по отношению к анионам), так и в щелочной (к катионам) среде в интервале концентраций 0.01—0.1 М для 1-1 зарядного электролита. Установлено, что числа переноса противоионов возрастают при увеличении содержания ионообменной составляющей и достигают 0.92.

Технологические циклы многих промышленных предприятий приводят к образованию токсичных отходов, в том числе и растворимых неорганических соединений. Для очистки слабokon-

* Работа выполнена в рамках программы УНТЦ (грант № 1183).

© Ю.С. Дзязько, В.Н. Беляков, Н.В. Стефанияк, С.Л. Василюк, 2006