

УДК 54-165 + 542.87 + 541.133 + 546/71-72 + 621.78.011

Е. А. ЧИЖОВА¹, А. И. КЛЫНДЮК¹, Л. А. БАШКИРОВ¹, Г. С. ПЕТРОВ¹,
Л. В. МАХНАЧ², Е. М. НЕКРАШЕВИЧ³

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ YBaCuFe_{1-x}Mn_xO₅

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси,

³Институт физики твердого тела и полупроводников НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 20.01.2004)

Изучение и разработка новых функциональных материалов с особыми свойствами (сегнетоэлектрики, сегнетомагнетики, высокотемпературные сверхпроводники, сенсоры, катализаторы и др.) является важной проблемой, связанной с возрастающими потребностями электронной и химической промышленности.

Большой интерес представляют сложные оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) и переходных металлов со структурой типа перовскита в связи с наличием у этих веществ комплекса интересных и практически важных свойств (электрических, магнитных, сенсорных, каталитических и т. д., включая высокотемпературную сверхпроводимость купратов, гигантский магниторезистивный эффект манганитов и кобальтитов и т. п.) [1–3]. Частичное изо- и гетеровалентное замещение катионов в кристаллической решетке этих фаз позволяет получать на базе небольшого числа индивидуальных соединений значительное количество новых функциональных материалов — твердых растворов, свойства которых могут варьироваться в широких пределах. В последнее время значительный интерес к себе вызывают кислороддефицитные перовскитоподобные оксиды на основе РЗЭ и переходных металлов, такие, как R₂BaMn₂O_{5,5±δ} [4, 5], R₂BaCo₂O_{5,5±δ} [6, 7], R₂BaCuFeO_{5±δ} [8, 9] (R — Y, РЗЭ).

Кислороддефицитный перовскит со слоистой структурой состава YBaCuFeO_{5+δ} впервые был описан в работе [8]. Химический анализ показывает весьма небольшой избыток кислорода ($\delta = 0,02 \pm 0,01$), что указывает на то, что медь и железо находятся в этом соединении преимущественно в степенях окисления +2 и +3 соответственно. Кристаллическая структура образована двойными слоями (CuFeO₅)_z, пирамид CuO₅ и FeO₅, имеющих общие вершины. Эти слои расположены перпендикулярно оси *c* и отделены друг от друга ионами иттрия. Ионы бария расположены в пустотах слоев (CuFeO₅)_z. Удвоение элементарной ячейки перовскита происходит за счет упорядоченного расположения ионов Ba и Y вдоль оси *c*; координационные числа ионов Ba—12, Y—8, Cu и Fe—5. Соединение YBaCuFeO₅ имеет тетрагональную (почти псевдокубическую) кристаллическую ячейку с параметрами $a = 0,3867$, $c = 0,7656$ нм (пространственная группа симметрии P4mm, $z = 1$) [9], хотя, по мнению авторов [10, 11], это соединение принадлежит к пространственной группе P4/mmm.

В работах [8, 9, 12] при помощи магнитных измерений и мессбауэровской спектроскопии обнаружено антиферромагнитное упорядочение магнитных моментов ионов железа (Fe³⁺, конфигурация $t_{2g}^3 e_g^2$) в YBaCuFeO₅ при температуре 460 К [8], 446 К [9], 442,4(5) К [12]. Детальное уточнение магнитной структуры YBaCuFeO₅, проведенное в работе [13], показало наличие у этой фазы нескольких магнитных фазовых переходов, два из которых отнесены авторами к переходам парамагнетик ↔ антиферромагнетик I (вблизи 475 К) и антиферромагнетик I ↔ антиферромагнетик II (вблизи 240 К). Наличие магнитного перехода у YBaCuFeO₅ ниже комнатной температуры подтверждается результатами работы [14], авторы которой при помощи нейтронной дифрактометрии обнаружили у YBaCuFeO₅ наряду с пере-

ходом парамагнетик ↔ антиферромагнетик при 442 К дополнительный переход при 190 К, отнесенный ими к переходам соразмерная ↔ несоразмерная фаза.

В работах [15, 16] описаны термическая стабильность, термическое расширение, электропроводность и диэлектрические свойства YBaCuFeO_5 . Согласно результатам этих работ, YBaCuFeO_5 термически стабилен на воздухе вплоть до 1270 К [15], является полупроводником с энергией активации электропроводности $17,9 \pm 0,9$ кДж·моль⁻¹ [16], не претерпевает структурных фазовых переходов выше комнатной температуры (при этом значение среднего коэффициента линейного термического расширения (КЛТР) этой фазы в интервале температур 300–1000 К составляет $14,3 \cdot 10^{-6}$ К⁻¹ [16]). Авторами [15] обнаружены аномалии диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь YBaCuFeO_5 около 460 К, температуры которых хорошо согласуются с температурой перехода в состояние с антиферромагнитным упорядочением магнитных моментов ионов железа.

В настоящей работе исследовано влияние частичного замещения железа марганцем в YBaCuFeO_5 на кристаллическую структуру, термические, термомеханические, электрические и магнитные свойства образующихся твердых растворов.

Образцы фаз $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ ($0,0 \leq x \leq 1,0$) получали керамическим методом [15, 16] из Y_2O_3 (ИтО-ЛЮМ7), Fe_2O_3 (ос. ч. 2-4), CuO (ос. ч. 9-2) Mn_2O_3 (ос. ч. 11-2) и BaCO_3 (ч.), взятых в соответствующих молярных соотношениях. Синтез проводили на воздухе при температуре 1173 К в течение 40 ч. Рентгенофазовый анализ (РФА) полученных образцов проводили на дифрактометре ДРОН-3 (излучение $\text{Cu-K}\alpha$) при комнатной температуре.

Для исследования термического расширения, электропроводности и термо-ЭДС из полученных порошков прессовали таблетки диаметром 10 мм и толщиной 3–5 мм и бруски размером $5 \times 5 \times 30$ мм, которые затем спекали на воздухе в течение 2–8 ч при температуре 1273 К.

Термическую стабильность фаз YBaCuFeO_5 и $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ исследовали на дериватографе MOM Q-1500D системы PAULIK—PAULIK—ERDEY на воздухе в интервале температур 293–1273 К со скоростью нагрева 10 К·мин⁻¹ (материал тигля — оксид алюминия, материал эталона — оксид алюминия, масса порошкообразной навески 1–1,5 г).

Термическое расширение синтезированных образцов исследовали дилатометрическим методом [15] на воздухе в температурном интервале 293–1023 К в динамическом режиме со скоростью нагрева — охлаждения $4–5$ К·мин⁻¹. Электропроводность исследовали на постоянном токе на воздухе в интервале температур 293–1023 К четырехконтактным методом [15, 16]. Термо-ЭДС измеряли относительно серебра при помощи цифрового вольтметра Щ301/1. При определении перепада температур применяли дифференциальное подключение термопар. Температурный градиент и температуру горячего конца образца контролировали при помощи вольтметра В7-38. Для измерения электропроводности и термо-ЭДС на поверхности образцов формировали серебряные электроды вжиганием серебряной пасты (суспензия мелкодисперсного серебра в изоацетате) при 1070 К в течение 5 мин. Магнитную восприимчивость порошкообразных образцов феррокупратов исследовали при помощи метода Фарадея в магнитном поле 5 кЭ в интервале температур 77–700 К.

Однофазные образцы твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ были получены до значений $x = 0,1$. Кристаллическая структура твердых растворов соответствовала структуре незамещенной фазы YBaCuFeO_5 . Параметры кристаллической ячейки (табл. 1) изменяются незначительно и немонокотонно, проходя через максимум при $x = 0,025$. Сложный характер зависимостей $a = f(x)$, $c = f(x)$ для твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ может быть связан с тем, что ионы марганца, замещающие ионы железа, могут находиться в кристаллической решетке $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ в различных спиновых состояниях или различных степенях окисления. Согласно [17], радиусы ионов Fe^{3+} (Mn^{3+}) в высоко- (ВС) и низкоспиновом (НС) состояниях составляют 0,0645 (0,0650) и 0,0550 (0,0580) нм соответственно, а радиус иона Mn^{4+} равен 0,0540 нм (координационное число 6). Учитывая это, наличие максимума на зависимостях $a = f(x)$, $c = f(x)$ для $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ может быть обусловлено тем, что при $x < 0,025$ ион Mn^{3+} находится в $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ в высокоспиновом ($r_{\text{Mn}^{3+}(\text{BC})} > r_{\text{Fe}^{3+}(\text{BC})}$), а при $x > 0,025$ — в низкоспиновом состоянии ($r_{\text{Mn}^{3+}(\text{HC})} < r_{\text{Fe}^{3+}(\text{BC})}$). С другой стороны, возможно, при $x > 0,025$ марганец (частично или полностью) находится в $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ в виде Mn^{4+} (при этом увеличение степени окисления марганца компенсируется вхождением в решетку $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_{5+\delta}$ сверхстехиометрических (δ) ионов кислорода, располагающихся в слоях ионов иттрия).

Таблица 1. Параметры a , c (нм) и объем ($V \cdot 10^3$, нм³) элементарной ячейки, степень тетрагонального искажения η , рентгенографическая ($\rho_{\text{рентг}}$, г·см⁻³), экспериментальная ($\rho_{\text{эксп}}$, г·см⁻³) и относительная (ρ , %) плотности, коэффициент линейного термического расширения ($\alpha \cdot 10^6$, К⁻¹) твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$

x	a , нм	c , нм	$10^3 \cdot V$, нм ³	η^*	$\rho_{\text{рентг}}$, г·см ⁻³	$\rho_{\text{эксп}}$, г·см ⁻³	ρ , %	$\alpha \cdot 10^6$, К ⁻¹
0,000	0,3865	0,7656	114,6	0,9904	6,14	5,96	88	14,3 ± 0,7
0,010	0,3868	0,7662	114,6	0,9904	6,17	4,48	73	—
0,025	0,3872	0,7666	114,9	0,9899	6,15	5,67	92	—
0,050	0,3868	0,7656	114,7	0,9897	6,16	5,06	82	13,7 ± 0,7
0,100	0,3843	0,7649	113,0	0,9952	6,26	4,73	76	13,7 ± 0,7

$$*\eta = c/(2 \cdot a).$$

Соединение YBaCuFeO_5 и твердый раствор на его основе $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ в интервале температур 293—1273 К на воздухе были термически стабильны — термических эффектов на кривых ДТА для этих соединений обнаружено не было, потеря массы для $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ не превышала 0,2%.

Электропроводность твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ во всем исследованном интервале температур носила полупроводниковый характер (рис. 1). Небольшой гистерезис электропроводности при нагреве—охлаждении связан, вероятно, с относительно невысокой скоростью установления равновесия в образцах в условиях динамического нагрева или охлаждения со скоростью 4—5 К·мин⁻¹. Проводимость при комнатной температуре твердого раствора $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ уменьшается на два порядка по сравнению с незамещенной фазой YBaCuFeO_5 . Дальнейшее увеличение содержания марганца в твердых растворах $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ слабо сказывается на величине их электропроводности. Так, величины электропроводности фаз $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ и $\text{YBaCuFe}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_5$ во всем исследованном интервале температур были примерно одинаковыми. Величины энергии активации электропроводности (E_a), рассчитанные для линейных участков зависимостей $\ln(\sigma T) = f(1/T)$, а также значения температур изломов на этих зависимостях (T_a) представлены в табл. 2. Появление излома на зависимостях $\ln(\sigma T) = f(1/T)$ для твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ обусловлено,

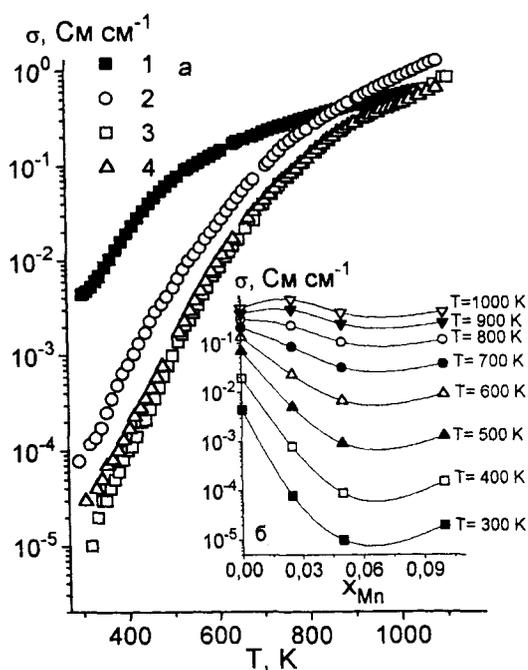


Рис. 1. Температурные (а) и концентрационные (б) зависимости удельной электропроводности (σ , См·см⁻¹) $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ (1 — $x=0,0$, 2 — 0,025, 3 — 0,050, 4 — 0,1)

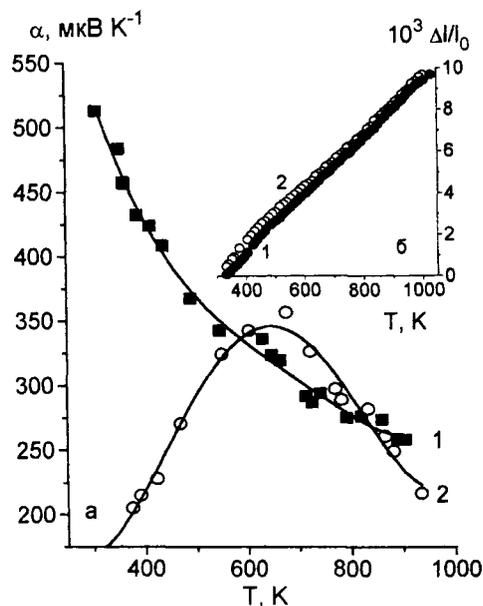


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента термо-ЭДС (α , мкВ·К⁻¹) (а) YBaCuFeO_5 (1) и твердого раствора $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ (2) и термического расширения (б) твердого раствора $\text{YBaCuFe}_{0,95}\text{Mn}_{0,05}\text{O}_5$ (1 — нагрев, 2 — охлаждение)

Т а б л и ц а 2. Значения энергии активации, рассчитанные по результатам измерения электропроводности и термо-ЭДС (E_{σ} , E_{α} , E_m), постоянных C и Θ , температуры Нееля (T_N), температур аномалий диэлектрических свойств (T_e) твердых растворов $YBaCuFe_{1-x}Mn_xO_5$

X		0,000	0,025	0,050	0,100
E_{σ} , эВ	$300 - T_{\sigma}$	$0,24 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,01$	$0,33 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,01$
	$T_{\sigma} - 1100$		$0,51 \pm 0,01$	$0,59 \pm 0,01$	$0,56 \pm 0,01$
T_{σ} , К		—	490	460	460
$E_{\alpha} = E_n$, эВ		$0,12 \pm 0,01$	—	$0,31 \pm 0,03$	—
E_m , эВ		$0,12 \pm 0,01$	—	$0,28 \pm 0,04$	—
$C \cdot 10^3$, э. м. е. · К/г		8,90	—	—	8,95
Θ , К		-460	—	—	-500
T_N , К		480	—	—	420
T_e , К		455	—	530	540

вероятно, переходом от проводимости по примесным состояниям к собственной проводимости. С другой стороны, близость температур излома на зависимостях $\ln \sigma T = f(1/T)$ для твердых растворов $YBaCuFe_{1-x}Mn_xO_5$ ($\approx 460-490$ К) к температуре фазового перехода антиферромагнетик \leftrightarrow парамагнетик незамещенной фазы $YBaCuFeO_5$ (442—475 К [8, 9, 12—14]) позволяет связать аномалию электропроводности марганецзамещенных твердых растворов с изменением спинового состояния катионов, расположенных в подрешетке железа.

Коэффициент термо-ЭДС твердых растворов $YBaCuFe_{1-x}Mn_xO_5$ во всем исследованном интервале температур был положительным (рис. 2). Это указывает на то, что основными носителями заряда в этих соединениях, как и в незамещенной фазе $YBaCuFeO_5$, являются «дырки», т. е. эти твердые растворы являются проводниками p-типа. Величина коэффициента термо-ЭДС $YBaCuFeO_5$ уменьшается с ростом температуры, в то время как для марганецзамещенных твердых растворов увеличивается при малых и уменьшается при повышенных температурах, проходя через максимум в районе 600—700 К. Появление максимума на зависимости $\alpha = f(1/T)$ для $YBaCuFe_{0,95}Mn_{0,05}O_5$ может быть обусловлено изменениями зарядового ($Mn^{4+} \rightarrow Mn^{3+}$) или спинового ($Mn^{3+}(HS) \rightarrow (Mn^{3+}(BS))$) состояния ионов марганца, хотя для однозначного установления природы обнаруженной аномалии необходимо проведение дополнительных исследований.

Значения энергии активации термо-ЭДС (E_{α}), рассчитанные из зависимостей $\alpha = f(1/T)$, представлены в табл. 2.

Известно, что транспортные свойства многих сложных оксидов со структурой перовскита, или подобной ей, хорошо описываются в рамках модели поляронов малого радиуса (ПМР) [18]. Принимая во внимание тот факт, что проводимость таких оксидов зависит как от концентрации носителей заряда (ПМР), так и от их подвижности, тогда как термо-ЭДС только от концентрации носителей заряда, можно, сопоставляя результаты измерения электропроводности и термо-ЭДС твердых растворов $YBaCuFe_{1-x}Mn_xO_5$, оценить величины энергий активации носителей заряда (E_n) и энергии активации их подвижности (E_m). Тогда, учитывая что $E_{\sigma} = E_n + E_m$, а $E_n = E_{\alpha}$, получаем $E_m = E_{\sigma} - E_{\alpha}$. Значения энергии активации подвижности носителей заряда фаз $YBaCuFe_{1-x}Mn_xO_5$ также приведены в табл. 2. Сравнивая значения E_n и E_m для $YBaCuFeO_5$ и $YBaCuFe_{0,95}Mn_{0,05}O_5$, можно заключить, что частичное замещение железа марганцем в $YBaCuFeO_5$ приводит как к увеличению ширины запрещенной зоны (рост E_n), так и к затруднению миграции носителей заряда-«дырок» (рост E_m).

На температурных зависимостях относительного удлинения для твердых растворов $YBaCuFe_{1-x}Mn_xO_5$ во всем исследованном интервале температур не обнаружено никаких аномалий, что указывает на отсутствие структурных переходов в этих фазах на воздухе в интервале температур 293—1093 К. Небольшой гистерезис, наблюдавшийся на кривых нагрев—охлаждение некоторых твердых растворов (рис. 2), связан, вероятно, с теми же причинами, что и гистерезис электропроводности. На кривой нагрев — охлаждение для $YBaCuFeO_5$ гистерезиса не наблюдалось. Значения КЛТР этих соединений приведены в табл. 1.

Как видно из данных, приведенных на рис. 3, замещение железа марганцем практически не сказывается на величине магнитной восприимчивости (χ) феррокупратов. На температурной зависимости χ для твердого раствора $YBaCuFe_{0,9}Mn_{0,1}O_5$, как и для незамещенной фазы $YBaCuFeO_5$, обнаружен магнитный фазовый переход парамагнетик \leftrightarrow антиферромагнетик

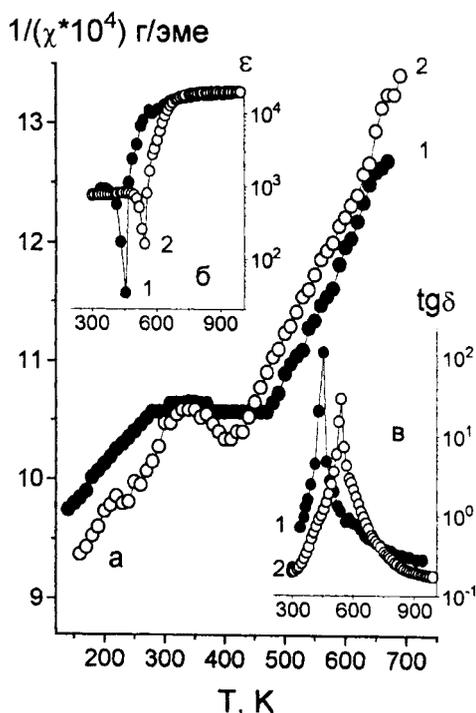


Рис. 3. Температурные зависимости обратной магнитной восприимчивости (а), диэлектрической проницаемости (б) и тангенса угла диэлектрических потерь (в) фазы YBaCuFeO_5 (1) и твердого раствора $\text{YBaCuFe}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_5$ (2)

причем параметры кристаллической ячейки немонотонно изменяются при увеличении степени замещения железа марганцем, что может быть обусловлено различным спиновым (или зарядовым) состоянием ионов марганца в $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$. Фазы $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ термически стабильны и не претерпевают никаких структурных фазовых переходов на воздухе в интервале температур 293–1093 К. Показано, что феррокупраты $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ являются полупроводниками р-типа, электропроводность которых в целом уменьшается при увеличении степени замещения железа марганцем. Для твердого раствора $\text{YBaCuFe}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_5$, как и для незамещенной фазы YBaCuFeO_5 , обнаружен магнитный фазовый переход парамагнетик \leftrightarrow антиферромагнетик. Найдены аномальные области на температурной зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$. Полученные в работе результаты имеют важное значение при выборе и разработке новых функциональных материалов с особыми свойствами, например, катализаторов и химических сенсоров, на базе феррокупрата YBaCuFeO_5 [20].

Работа выполнена при поддержке Министерства образования Республики Беларусь и Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (гранты Х99М-022, Х03М-049).

Литература

1. Остроушко А. А., Шуберт Э., Журавлева Л. И. и др. // Журн. прикл. химии. 2000. Т. 73. Вып. 8. С. 1311–1320.
2. Нагаев Э. Л. // Успехи физ. наук. 1996. Т. 166, № 8. С. 833–858.
3. Третьяков Ю. Д., Брылев О. А. // Рос. хим. журн. (Журн. Рос. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева). 2000. Т. XLIV, № 4/1. С. 10–16.
4. Beales T. P., Moellig M., Jutson J., Friend C. M. // Phys. Stat. Sol. (a). 1997. Vol. 161. P. 271–282.
5. Гроянчук И. О., Труханов С. В., Шимчак Г. // Кристаллография. 2002. Т. 47, № 4. С. 716–723.
6. Akahoshi D., Ueda Y. // J. Solid State Chem. 2001. Vol. 156. P. 355–363.
7. Frontera C., Garcia-Munoz J. L., Llobet A. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 2002. Vol. 242–245. P. 751–753.

вблизи 420 К (T_N), а также плато на зависимости $1/\chi = f(T)$ в интервале 290–470 К (для YBaCuFeO_5) и 340–420 К (для $\text{YBaCuFe}_{0.9}\text{Mn}_{0.1}\text{O}_5$), подобное наблюдавшемуся для LaCoO_3 [19] и связанное, вероятно, с изменениями электронной (спиновой) структуры исследованных феррокупратов. С другой стороны, близость полученных нами результатов и данных [13] позволяет трактовать низкотемпературную (около 290 К) аномалию как второй магнитный переход, обусловленный изменением характера спинового упорядочения в подрешетке ионов железа. В парамагнитной области зависимость магнитной восприимчивости от температуры для твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ подчиняется закону Кюри – Вейсса $\chi = C/(T + \Theta)$, константы которого (C и Θ) для исследованных фаз приведены в табл. 2.

На температурной зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ в районе 450–550 К обнаружены аномальные области (рис. 3). Значения температур экстремумов (T_e) на соответствующих зависимостях приведены в табл. 2.

Таким образом, в ходе данной работы проведено систематическое исследование влияния частичного замещения ионов железа ионами марганца на структуру и физико-химические свойства твердых растворов $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$. Установлено, что твердые растворы образуются до $x = 0,1$, их кристаллическая структура соответствует структуре незамещенной фазы YBaCuFeO_5 ,

8. Er-Rakho L., Michel C., La Corre Ph., Raveau B. // *J. Solid State Chem.* 1988. Vol. 73, N 2. P. 531—535.
9. Meyer C., Hartmann-Boutron F., Gros Y., Strobel P. // *Solid State Commun.* 1990. Vol. 76, N 2. P. 163—168.
10. Ruiz-Aragon M. J., Moran E., Amador U., Landa A. // VIIth Eur. Conf. on Solid State Chem., Madrid, 15—18 September 1999. Madrid, Book of Abstracts. Vol. 1. P.190.
11. Ruiz-Aragon M. J., Amador U., Moran E., Andersen N. H. // *Physica C.* 1994. Vol. 235—240. P. 1609—1610.
12. Momburu A. W., Christides C., Lappas A. et al. // *Inorg. Chem.* 1994. Vol. 33. P. 1255—1258.
13. Ruiz-Aragon M. J., Moran E., Amador U. et al. // *Phys. Rev. B.* 1998-II. Vol. 58, N 10. P. 6291—6297.
14. Momburu A. W., Prassides K., Christides C. et al. // *J. Phys.: Condens. Matter.* 1998. Vol. 10. P. 1247—1258.
15. Клындюк А. И., Петров Г. С., Башкиров Л. А. // *Неорган. матер.* 1999. Т. 35, № 9. С. 1122—1124.
16. Клындюк А. И., Петров Г. С., Башкиров Л. А., Чижова Е. А. // *Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Разработка импортозамещающих технологий и материалов в химической промышленности», 20—22 октября 1999 г., г. Минск. Мн., 1999. С. 323—325.*
17. Shannon R. D., Prewitt C. T. // *Acta Cryst.* 1969. Vol. B25. Pt. 5. P. 946—960.
18. Махнач Л. В. Синтез, структура и электрические свойства некоторых никелатов. Дис. ... канд. хим. наук. Мн., 2000.
19. Rassaiah P. M., Goodenough J. V. // *Phys. Rev.* 1967. Vol. 155, N 3. P. 932—943.
20. Чижова Е. А., Клындюк А. И., Петров Г. С. и др. // *Материалы междунар. науч.-техн. конф. «Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов», 26—28 ноября 2003 г., г. Минск. Мн., 2003. С. 317—319.*

*CHIZHOVA E. A., KLYNDYUK A. I., BASHKIROV L. A., PETROV G. S.,
MAKHNACH L. V., NEKRASHEVICH E. M.*

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ SOLID SOLUTIONS

Summary

Influence of partial substitution of iron by manganese onto crystal structure parameters, thermal stability, thermal expansion, electrical conductivity, thermo-EMF, dielectric properties and magnetic susceptibility of $\text{YBaCuFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_5$ solid solutions has been studied.