

Особенности структуры и эффекта Мессбауэра в твердых растворах системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$

Е. В. Глазунова,* С. П. Кубрин, Л. А. Шилкина, И. А. Вербенко, Л. А. Резниченко
Южный федеральный университет, Научно-исследовательский институт физики
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194

(Поступила в редакцию 20.05.2022; подписана в печать 28.07.2022)

В данной работе проводится исследование твердых растворов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ с помощью рентгенографического анализа и Мессбауэровской спектроскопии. Для получения твердых растворов использовался метод двухстадийного твердофазного синтеза и спекания по обычной керамической технологии. Получены беспримесные ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$. Выявлено отклонение параметров ячейки от правила Вегарда, что свидетельствует о расслоении структуры на микрообласти отличающиеся составом. Установлено возникновение кластеризации ионов Fe^{3+} в B -подрешетке. Показано, что введение в систему $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ приводит к частичному упорядочению катионов в B -положении.

PACS: 75.85.+t

УДК: 538.9

Ключевые слова: мультиферроики, твердофазный синтез, $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$, $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$, температура Нееля.

ВВЕДЕНИЕ

Возможность управления магнитными параметрами с помощью электрического поля в ряде кислородно-октаэдрических соединений, содержащих 3d-металлы стимулирует исследовательскую деятельность в области создания, изучения мультиферроидных материалов, которые сочетают в себе несколько типов упорядочений: электрическое, магнитное и/или сегнетоэластическое [1–3]. Комбинирование этих упорядочений является очень сложной задачей, требующей поиска новых материалов и разработки технологии их получения.

Созданию высокоэффективных материалов на основе мультиферроиков препятствуют как ряд технологических трудностей, так и низкий уровень имеющихся магнитоэлектрических свойств. Это обусловлено, с одной стороны, особенностями магнитной и кристаллической структур: для возникновения сегнетоэлектричества, в большинстве случаев, характерно наличие пустой d -орбитали и наличие неподеленной электронной пары, в то же время ферромагнетизм и антиферромагнетизм, как правило, является следствием обменного взаимодействия между неспаренными электронами частично заполненных либо d -, либо f -подуровней. С другой стороны — большой разницей между температурами антиферромагнитного (АФМ) и сегнетоэлектрического (СЭ) фазовых переходов (ФП): ФМ упорядочение, обычно, слабее и редко проявляется выше комнатной температуры, для классических же сегнетоэлектриков характерны T_C много выше комнатной температуры [4]. Таким образом, создание сред с близкими температурами разнохарактерных упорядочений становится отдельной непростой задачей. Од-

ним из путей её решения может стать использование сред с размытыми сегнетоэлектрическим и магнитным переходом — мультирелаксоры [5]. Химической основой для создания таких сред могут выступать соединения со структурой перовскита типа $AB'_{\beta_1}B''_{\beta_2}\text{O}_3$. Примерами таких соединений являются $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$ (PFN) с $T_C \sim 380\text{K}$ и Нееля $\sim 150\text{K}$ [6, 7] и $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ (PFW) имеющий $T_C \sim 180\text{K}$ и Нееля $\sim 350\text{K}$ [8, 9]. Общая координация спинов в указанных соединениях отвечает АФМ коллинеарной конфигурации G-типа. Тем не менее, создание системы твердых растворов (ТР) на их основе позволит создать неравномерное распределение катионов железа, что может привести к значительному нарушению пространственной однородности спиновой структуры, возникновению магнитного релаксорного состояния [10, 12]. А сочетание магнитной и зарядовой релаксаций приведет к возникновению новых интересных эффектов [13] и позволит расширить потенциал применений [14].

В связи с вышеизложенным в данной работе было проведено комплексное исследование закономерностей формирования структуры и свойств многокомпонентных сред на основе мультиферроиков $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$ и $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$.

1. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ в интервале концентраций $0.0 < x < 1.0$ с шагом $\Delta x = 0.2$ были изготовлены методом двухстадийного твердофазного синтеза при $T_1 = 800 - 850^\circ\text{C}$ (в зависимости от состава); $T_2 = 850 - 900^\circ\text{C}$ (в зависимости от состава); $\tau_1 = \tau_2 = 4 - 10$ часов (в зависимости от состава). И спечены по обычной керамической технологии при $T_{\text{сп.}} = 870 \div 1100^\circ\text{C}$ (в зависимости от состава), время спекания составило $\tau_{\text{сп.}} = 2$ часа. В ка-

* kate93g@mail.ru

честве исходного сырья использовались: PbO (98%), Fe₂O₃ (99%), WO₃ (99.9%), Nb₂O₅ (98%).

Рентгенофазовый анализ проводили с использованием дифрактометра ДРОН-3 на отфильтрованном CoK α -излучения с фокусировкой по Брэггу-Брентано; стандартные методики расчёта структурных параметров (линейных — a, b, c , угловых — α, β , объёма — V ячейки перовскита). Точность определения параметров перовскитной ячейки составляла: линейных $\Delta a = \Delta b = \Delta c = \pm 0.003 \text{ \AA}$; угловых $\Delta \alpha = \Delta \beta = \pm 0.05^\circ$; объёма $\Delta V = \pm 0.05 \text{ \AA}^3$.

Мессбауэровское исследование керамических образцов ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ проводили при температурах от 12 К до 320 К на Мессбауэровском экспресс-спектрометре MS1104Em. В качестве источника гамма-квантов использовали ⁵⁷Со в матрице Rh. Модельную расшифровку спектров проводили с использованием программы SpectRelax [15].

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Рентгенографические исследования твердых растворов бинарной системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$

На дифрактограммах ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ после синтеза обнаружены следы фазы пирохлора, но только в ТР с $x = 0.0$ и 0.1 . После спекания получены беспримесные ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ (рис. 1).

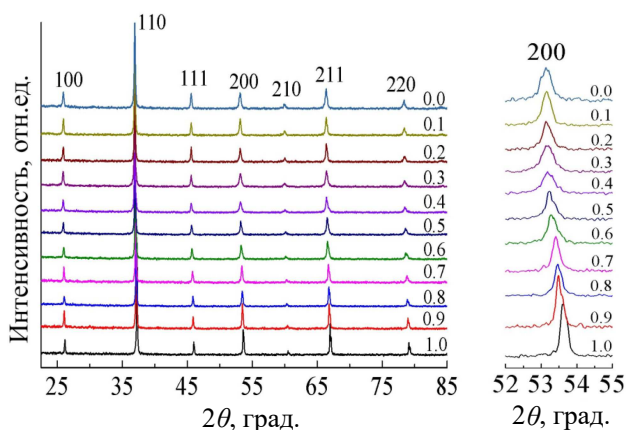


Рис. 1. Дифрактограммы и дифракционное отражение 200 в увеличенном масштабе по оси 2θ твердых растворов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ после спекания

На рис. 2 показаны зависимости экспериментального параметра ячейки, и параметра, рассчитанного для ТР замещения по правилу Вегарда [16] от концентрации компонента x .

Зависимость $a_{\text{эксп}}(x)$ не соответствует $a_{\text{Вегард}}(x)$, при том, что образование ТР замещения в системе $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ удовлетворяет основным требованиям изоморфизма [17]. Причем зависимость $a_{\text{эксп}}(x)$ в интервале $0.3 < x < 0.7$ имеет наибольшее отклонение от линейной зависимости (правило Вегарда). В неметаллических ТР положительное отклонение $a_{\text{эксп}}(x)$ от линейной зависимости соответствует наличию областей несмешиваемости внутри области гомогенности данной системы [18].

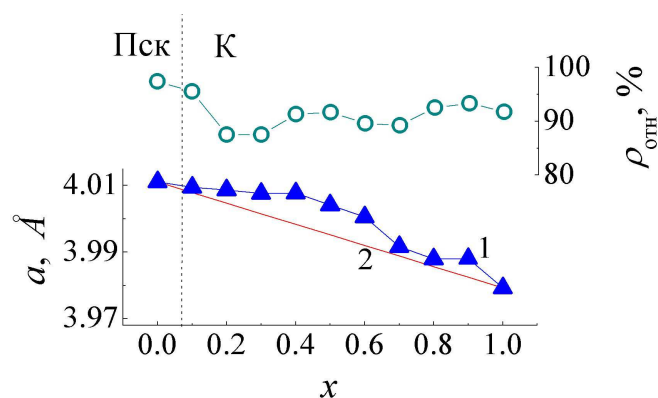


Рис. 2. Зависимости параметра ячейки a : экспериментального (1), рассчитанного по правилу Вегарда (2), относительной плотности, $\rho_{\text{отн}}$, керамики от x в твердых растворах системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$

То есть, это свидетельствует о расслоении структуры на микро области отличающиеся составом, что происходит вследствие того, что в системе $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ не образуется ТР замещения со статистическим размещением В-катионов.

2.2. Мессбауэровские спектры твердых растворов бинарной системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$

Мессбауэровские спектры образцов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ для образцов с $x = 0..0.6$ были измерены при комнатной температуре, а для керамик с $x = 0.7..1.0$ — при температуре 400 К. В парамагнитной фазе мессбауэровские спектры образцов представляют собой линии парамагнитного расщепления. Для каждого спектра были восстановлены функции распределений квадрупольного расщепления $P(\Delta)$.

Локальным максимумам функций $P(\Delta)$ соответствуют дублеты. Изомерные сдвиги дублетов соответствуют ионам Fe³⁺ в кислородном октаэдрическом окружении [19].

Мессбауэровский спектр $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$ состоит из двух парамагнитных дублетов с разными параметрами, что говорит о неоднородности распределения катионов в В-подрешетке. То есть, в $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$ возникают области с высокой и низкой концентрацией ионов

Fe^{3+} . Дублет D1 с большим значением квадрупольного расщепления соответствует ионам Fe^{3+} в областях с низкой концентрацией ионов железа, дублет D2 возникает от ионов Fe^{3+} с высокой их концентрацией.

Мессбауэровские спектры образцов с $x = 0.1 \dots 1.0$ представляют собой суперпозиции трех, четырех либо пяти парамагнитных дублетов, которые отличаются значениями квадрупольных расщеплений. В сложных перовскитных оксидах величина квадрупольного расщепления преимущественно обусловлена симметрией локального окружения ионов Fe^{3+} . Чем ниже симметрия локального окружения, тем больше величина квадрупольного расщепления.

Например, в ТР с $x=0.8$ дублеты D1 и D3 с $\Delta(D1) = 0.68$ мм/с и $\Delta(D3) = 1.10$ мм/с обладают большими значениями квадрупольных расщеплений, и, вероятно, соответствуют ионам Fe^{3+} в ближайшем окружении которых имеется один или два иона W^{6+} . Дублеты D2 и D4 с $\Delta(D2) = 0.33$ мм/с, $\Delta(D4) = 0.10$ мм/с обладают наименьшим значением квадрупольного расщепления и, вероятно, имеют наиболее симметричную конфигурацию локального окружения Fe^{3+} .

Параметры мессбауэровских спектров образцов твердых растворов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ ($x = 0.8, 1.0$) измеренных при комнатной температуре представлены в табл. 2. Для каждого из спектров были восстановлены функции распределения сверхтонких магнитных полей $P(H)$. Локальным максимумам функций $P(H)$ соответствуют зеемановские секстеты.

Величина сверхтонкого магнитного поля (СТП) секстета определяется числом связей Fe–O–Fe. Чем больше указанных связей, тем выше значение СТП. Таким образом, зеемановские секстеты мессбауэровских спектров образцов с $x = 0.7 \dots 1.0$ соответствуют ионам Fe^{3+} с различным числом не магнитных ионов в их ближайшем окружении.

Количество локальных состояний ионов Fe^{3+} в данном случае отличается от расчетных значений. В частности, для тройных перовскитных оксидов расчеты, проведенные с помощью биномиального распределения, показывают, что ионы Fe^{3+} обладают шестью локальными конфигурациями [20]. Отклонение числа состояний ионов Fe^{3+} от расчетного объясняется образованием областей локального упорядочения катионов В-подрешетки.

Оценка значений температур магнитных фазовых переходов (T_N) в исследуемых образцах твердых растворов проводилось с помощью методики температурного сканирования [21, 22] (рис. 3).

Полученные температурные зависимости позволили определить значения T_N , которые были обобщены в концентрационную зависимость $T_N(x)$ и представлены на рис. 4. Значения T_N линейно возрастает от 165 К для $x=0$ до 345 К для $x=1.0$. Согласно литературным данным, значение T_N для $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$ составляет примерно 150 К, а для $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ по разным данным принимает значений в диапазоне от 343 К до

383 К [1, 23, 24].

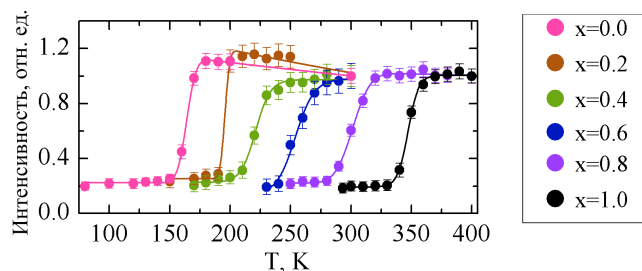


Рис. 3. Зависимости интенсивности парамагнитных линий мессбауэровских спектров образцов твердых растворов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$, приведенных к их значениям при температурах 300 К и 400 К

Отличие значений T_N от значений, приведенных в литературе, связано с распределением катионов В-подрешетки. В перовскитных соединениях значение T_N определяется концентрацией цепочек магнитных сверхобменных связей [20]. Концентрацию этих цепочек можно изменять либо увеличивая содержание магнитных катионов, либо изменяя степень катионного упорядочения.

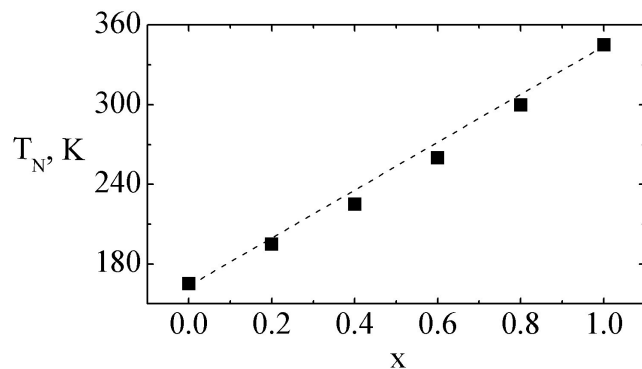


Рис. 4. Концентрационная зависимость температуры Нееля для образцов твердых растворов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$

Повышение T_N в образце $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$, вероятно, обусловлено более высокой степенью катионного беспорядка. При этом значение T_N в образце $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ находится на нижней границе значений T_N . Вероятно, в В-подрешетке образца $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ происходит процесс локального упорядочения катионов, о чем так же свидетельствует наличие дублета с малым значением квадрупольного расщепления ($\Delta(D4) = 0.20$ мм/с). Таким образом, при $x=0$ В-катионы разупорядочены, с ростом x наблюдается близкое к линейному возрастанию T_N . Небольшие отклонения $T_N(x)$ от линейной зависимости в диапазоне $0.0 < x < 1.0$ вероятно также обусловлены процессами локального упорядочения катионов в В-подрешетке.

Таблица 1. Параметры мессбауэровских спектров образцов твердых растворов $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$, измеренных в парамагнитной фазе

| x | T, K | Компонента | $\delta \pm 0.02$, мм/с | $\Delta \pm 0.02$, мм/с | $\Gamma \pm 0.02$, мм/с | $A \pm 1$, % |
|-----|------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------|
| 0 | 300 | D1 | 0.41 | 0.59 | 0.35 | 17 |
| | | D2 | 0.41 | 0.35 | 0.35 | 83 |
| 0.2 | 300 | D1 | 0.41 | 0.61 | 0.34 | 34 |
| | | D2 | 0.41 | 0.32 | 0.34 | 56 |
| | | D3 | 0.41 | 1.08 | 0.34 | 10 |
| 0.4 | 300 | D1 | 0.40 | 0.72 | 0.32 | 31 |
| | | D2 | 0.40 | 0.38 | 0.32 | 51 |
| | | D3 | 0.40 | 1.14 | 0.32 | 9 |
| | | D4 | 0.40 | 0.10 | 0.32 | 9 |
| 0.6 | 300 | D1 | 0.41 | 0.64 | 0.36 | 42 |
| | | D2 | 0.41 | 0.34 | 0.36 | 44 |
| | | D3 | 0.41 | 1.06 | 0.36 | 14 |
| 0.8 | 400 | D1 | 0.34 | 0.68 | 0.38 | 48 |
| | | D2 | 0.33 | 0.33 | 0.38 | 27 |
| | | D3 | 0.32 | 1.10 | 0.38 | 18 |
| | | D4 | 0.32 | 0.10 | 0.38 | 7 |
| 1.0 | 400 | D1 | 0.34 | 1.09 | 0.38 | 17 |
| | | D2 | 0.34 | 0.68 | 0.38 | 51 |
| | | D3 | 0.34 | 1.47 | 0.38 | 6 |
| | | D4 | 0.34 | 0.20 | 0.38 | 26 |

где δ — изомерный сдвиг, Δ — квадрупольное расщепление, Γ — ширина линии, A — площадь компонент.

Таблица 2. Параметры мессбауэровских спектров образцов твердых растворов системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$, измеренных при комнатной температуре

| x | Компонента | $\delta \pm 0.02$, мм/с | $\Delta/\varepsilon \pm 0.02$, мм/с | $H \pm 1$, кЭ | $\Gamma \pm 0.02$, мм/с | $A \pm 1$, % |
|-----|------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------|--------------------------|---------------|
| 0.8 | S1 | 0.427 | -0.05 | 330 | 1.45 | 2 |
| | S2 | 0.427 | -0.08 | 260 | 1.45 | 23 |
| | S3 | 0.427 | 0.00 | 191 | 1.45 | 32 |
| | S4 | 0.427 | 0.04 | 116 | 1.45 | 24 |
| | D1 | 0.427 | 1.22 | | 0.50 | 7 |
| | D2 | 0.427 | 0.56 | | 0.50 | 12 |
| 1 | S1 | 0.431 | 0.00 | 338 | 0.92 | 27 |
| | S2 | 0.431 | -0.01 | 298 | 0.92 | 40 |
| | S3 | 0.431 | -0.01 | 252 | 0.92 | 22 |
| | S4 | 0.431 | 0.01 | 200 | 0.92 | 11 |

где δ — изомерный сдвиг, ε — квадрупольное смещение, Δ — квадрупольное расщепление парамагнитных компонент, H — сверхтонкое магнитное поле на ядрах ^{57}Fe , Γ — ширина линий, A — площадь компонент

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены беспримесные ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$. На основе рентгеноструктурных и Мессбаэровских исследований показано, что реальная кристаллическая структура ТР системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ предполагает наличие областей частичного упорядочения катионов в B -положении. Показано, что с ростом концентрации $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ наблюдается близкое к линейному, но не линейное возрастание T_N от 165 К для $x=0$ до 345 К для $x=1.0$, что также может

быть обусловлено процессами локального упорядочения катионов в B -подрешетке. Полученные данные целесообразно использовать для создания твердых растворов на основе исследуемых мультиферроиков, а также для дальнейшего исследования системы $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ в области магнитных и электрических свойств этих твердых растворов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Государственное задание в сфере научной деятельности научный проект N 0852-2020-0032)/(БАЗ0110/20-3-07ИФ), ЦКП НИИ физики ЮФУ.

- [1] Пятаков А.П., Звездин А.К. // УФН. 2012. **182**. С. 593.
- [2] Fiebig M., Lottermoser T., Meier D., Trassin M. // Nat. Rev. Mater. 2016. N 1. 16046.
- [3] Spaldin, N.A., Ramesh, R. // Nature Materials. 2019. **18**, N 3. 203-212.
- [4] Венецьев Ю.Н., Гагулин В.В. // Изв. АН СССР. 1982. **4**. С. 78.
- [5] Li. H., Zhuang J., Bokov A.A., Zhang N., Zhang J., Zhao J., Ren W., Ye Z.-G. // Journal of the European Ceramic Society. 2021. **41**. P. 310.
- [6] Исупов В.И., Аграновская А.И., Хучуа Н.П. // Изв. АН СССР. Сер. Физ. 1960. С. 1271.
- [7] Raevskii I.P., Kirillov S.T., Malitskaya M.A. Filippenko V.P., Zaitsev S.M., Kolomin L.G. // Inorganic materials. 1988. **24**. 217-220.
- [8] Smolenskii G.A., Ioffe A.F. // Colloque International de Magnetisme de Grenoble. 1958. 71-75.
- [9] Smolenskii G.A., Agranovskaya A.I., Isupov V.A. // Sov. Phys. Tech. Phys. 1959. **1**. P. 907.
- [10] Ivanov S.A., Tellgren R., Rundlof H., Thomas N.W., Ananta S. // Journal of Physics Condensed Matter. 2000. **12**. P. 2393.
- [11] Smolenskii G.A., Bokov V.A. // J. Appl. Phys. 1964. **35**. P. 915.
- [12] Uchino K., Nomura S. // Journal of the Physical Society of Japan. 1976. **41**, N 2. P. 542.
- [13] Chen L., Bokov A.A., Zhu W.M., Wu H., Zhuang J., Zhang N., Tailor H.N., Ren W., Ye Z.-G. // Sci. Rep. 2016. **6**. P. 22327.
- [14] Ortega N., Kumar A., Scott J.F., Katiyar R.S. // J. Phys.: Condens. Matter. 2015. **27**. P. 504002.
- [15] Matsnev M. E., Rusakov V. S. // AIP Conf. Proc. 2012. **1489**. P. 178.
- [16] Dergunova N.V., Sakhnenko V.P., Fesenko E.G. // Crystallography. 1978. **23**, N 1. P. 94.
- [17] Урусов В. С. Теоретическая кристаллохимия. М.: Изд-во МГУ, 1987.
- [18] Вест А. Химия твердого тела теория и приложения, часть 1. М.: МИР, 1988.
- [19] Menil F. // J. Phys. Chem. Solids. 1985. **46**, N 7. P. 763.
- [20] Гуденаф Д. Магнетизм и химическая связь / Перев. с англ. Под ред. Левина Б.Е. и Горелика С.С. Изд-во. «Металлургия», 1966.
- [21] Raevski I.P., Kubrin S.P., Raevskaya S.I., Titov V.V., Sarychev D.A., Malitskaya M.A., Zakharchenko I.N., Prosandeev S.A. // Phys. Rev. B. 2009. **80**. 024108.
- [22] Raevski I.P., Kubrin S.P., Raevskaya S.I., Titov V.V., Prosandeev S.A., Sarychev D.A., Malitskaya M.A., Stashenko V.V., Zakharchenko I.N. // Ferroelectrics. 2010. **398**. P. 16.
- [23] Ivanov S.A., Eriksson S.-G., Tellgren R., Rundlof H. // Materials Research Bulletin. 2004. **39**. P. 2317.
- [24] Смоленский Г.А., Чулис И.Е. // Успехи физических наук. 1982. **137**, № 3. С. 415.

Features of the structure and the Mössbauer effect in solid solutions of the $(1-x)\text{Pb}(\text{Fe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2})\text{O}_3-x\text{Pb}(\text{Fe}_{2/3}\text{W}_{1/3})\text{O}_3$ system

E.V. Glazunova^a, S.P. Kubrin, L.A. Shilkina, I.A. Verbenko, L.A. Reznichenko

Research Institute of Physics, Southern Federal University

Rostov-on-Don, 344090, Russia

E-mail: ^akate93g@mail.ru

In this work, we study solid solutions of the system $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ using X-ray diffraction and Mössbauer spectroscopy. To obtain solid solutions, we used the method of two-stage solid-phase synthesis and sintering according to conventional ceramic technology. Pure solid solutions of the $(1-x)\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3-x\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ system have been obtained. A deviation of the cell parameters from the Vegard rule was revealed, which indicates the stratification of the structure

into microregions differing in composition. The clustering of Fe^{3+} ions in the B -sublattice has been found. The introduction of $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$ into the system leads to partial ordering of cations in the B position was shown.

PACS: 75.85.+t.

Keywords: multiferroics, solid phase synthesis, $\text{PbFe}_{1/2}\text{Nb}_{1/2}\text{O}_3$, $\text{PbFe}_{2/3}\text{W}_{1/3}\text{O}_3$, Neel temperature.

Received 20 May 2022.

Сведения об авторах

1. Глазунова Екатерина Викторовна — канд. физ.-мат. наук, науч. сотрудник; e-mail: kate93g@mail.ru
2. Кубрин Станислав Петрович — канд. физ.-мат. наук, тел.: (863) 218-40-00 доб. 11535, вед. науч. сотрудник; e-mail: stasskp@gamil.com.
3. Шилкина Лидия Александровна — науч. сотрудник; e-mail: lid-shilkina@yandex.ru.
4. Вербенко Илья Александрович — доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник; e-mail: ilich001@yandex.ru.
5. Резниченко Лариса Андреевна — доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник; профессор, тел.: (863) 243-40-66, e-mail: lareznichenko@sfedu.ru.