

УДК 542.8

ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫЙ ОГРАНИЧЕННЫЙ ТВЕРДЫЙ РАСТВОР В СИСТЕМЕ $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$

© 2024 г. М. Н. Смирнова^{1,*}, М. А. Копьева¹, Г. Д. Нипан¹, Г. Е. Никифорова¹,
А. Д. Япрынцева¹, А. А. Архипенко¹

Представлено академиком Ю.Г. Горбуновой 28.08.2023 г.

Поступило 30.08.2023 г.

После доработки 09.01.2024 г.

Принято к публикации 16.01.2024 г.

В квазичетверной системе $\text{BaO}-\text{CuO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{MoO}_3$ получена новая фаза $\text{Ba}_2(\text{Y,Cu,Mo})_2\text{O}_6$ со структурой кубического перовскита $Fm-3m$ и установлена возможность совместного существования двух ограниченных твердых растворов с кубическими структурами $Fm-3m$ и $F-43m$. Образцы синтезировали методом сжигания геля с последующим прокаливанием при 1000°C и охлаждением в инерционно-термическом режиме. Исследования проводили методами рентгенофазового анализа, рентгенофлуоресцентной спектроскопии, инфракрасной спектроскопии и спектроскопии диффузного отражения.

Ключевые слова: многокомпонентные оксидные системы, фазовые состояния

DOI: 10.31857/S2686953524020032 **EDN:** ZSAJRL

Химический формализм для обозначения сложных оксидов металлов с общей формулой ABO_3 зачастую является причиной описания этих соединений в рамках перовскитной структуры CaTiO_3 , хотя кристаллические фазы ABO_3 могут иметь не только кубическую элементарную ячейку, но и тетрагональную, орторомбическую или ромбоэдрическую. Более того, благодаря деформации кубической ячейки ABO_3 перовскиты способны выступать в качестве сегнетоэлектриков, мультиферроиков, сверхпроводников и электродов топливных элементов [1]. В идеализированном случае число больших катионов A_i , для которых $\sum x_i Z_i = 2$ (x_i и Z_i – доля и заряд катиона i соответственно), тождественно числу маленьких катионов B_j с $\sum x_j Z_j = 4$ (x_j и Z_j – доля и заряд катиона j соответственно), но если в позиции А обычно присутствуют не более двух разноименных катионов (щелочной, щелочно-земельный, лантаноид, Pb^{2+} или Bi^{3+}) [2], то в позиции В может находиться до шести катионов (например, Mg^{2+} , Sc^{3+} , Ti^{4+} , Sn^{4+} , Nb^{5+} , W^{6+} [3]). Отдельные катионы (например, Y^{3+}) способны занимать обе позиции, и тогда составу перов-

скита в концентрационном треугольнике квазичетверной системы $\text{AO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{BO}_3$ соответствует область гомогенности, а в случае квазичетверной системы $\text{AO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{B}'\text{O}-\text{B}''\text{O}_3$ в тетраэдре составов возникает однофазный объем, который удобно представить с помощью многогранного полиэдра.

При поиске высокотемпературных сверхпроводящих фаз в системе $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{WO}_3$ Bokhimi и соавт. обнаружили кубическую перовскитоподобную фазу $\text{Ba}_2\text{YCu}_2\text{WO}_{9-y}$ [4], однако на дифрактограмме присутствовали дополнительные пики, которые не могли быть отнесены к структуре с пространственной группой $Fm-3m$. Позднее Kitahama и соавт. определили, что структура $\text{Ba}_2\text{YCu}_2\text{WO}_{9-y}$ относится к пространственной группе $F-43m$ [5]. В дальнейшем выяснилось, что при изменении исходного соотношения иттрия и меди образуется кубический твердый раствор с общей формулой $\text{Ba}_2\text{Y}_{1-x}\text{Cu}_x\text{WO}_6$, однофазный в двух концентрационных интервалах, для которых с увеличением содержания Cu уменьшается параметр кубической решетки a : при $0 \leq x \leq 0.25$ (с граничным составом $\text{Ba}_8\text{Y}_3\text{CuW}_4\text{O}_{24}$) существует твердый раствор со структурой $Pm3m$ [6], а при $0.4 \leq x \leq 0.6$ (базовая структура $\text{Ba}_4\text{YCuW}_2\text{O}_{12}$) образуется кубический перовскит со структурой $Fm-3m$ [6, 7]. В резуль-

¹ Институт общей и неорганической химии
им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, 119991
Москва, Россия

*E-mail: smirnova_macha1989@mail.ru

тате изучения гомогенного ряда $\text{Ba}_2\text{Y}_z\text{Cu}_x\text{W}_{1-x}\text{O}_6$ ($0.2 \leq x \leq 0.5$, $2/3 \leq z \leq 1$) для наиболее изученного перовскита $\text{Ba}_2\text{YCu}_{0.25}\text{W}_{0.75}\text{O}_6$ ($\text{Ba}_8\text{Y}_4\text{CuW}_3\text{O}_{24}$) была выявлена возможность образования вакансий в В-позициях перовскита [8], а также способность перемещения иттрия из В-позиций в А-позиции [9], что свидетельствует о существовании объема гомогенности перовскита в концентрационном пространстве системы $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{WO}_3$ [10].

Система $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$, в отличие от $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{WO}_3$, практически не исследована. Сообщается, что при поиске высокотемпературной сверхпроводящей керамики методом твердофазного синтеза (прекурсоры Y_2O_3 , BaCO_3 , CuO и MoO_3) был получен образец состава $\text{Ba}_{2.5}\text{YCu}_{0.5}\text{MoO}_{7.5}$ с гранецентрированной кубической решеткой $Fm-3m$ перовскита и параметром элементарной ячейки $a = 0.83656$ нм. В результате приведения исходного состава к идеализированному смешанному перовскиту $\text{A}_2\text{BV}'\text{O}_3$ авторы получили молекулярную формулу $\text{Ba}_2(\text{Y}_{0.6}\text{Cu}_{0.4})(\text{Y}_{0.2}\text{Mo}_{0.8})\text{O}_6$ [11].

В настоящей работе изучена возможность получения многокомпонентного кубического перовскита в системе $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$ при синтезе методом сжигания геля. Составы, представленные на рис. 1 фигуративными точками в концентрационном тетраэдре квазичетверной системы $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$, исследованы методом рентгеновской дифракции. Проанализированы оптические свойства отдельных образцов в УФ/видимом и ИК-диапазонах.

Образцы системы $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$ синтезировали методом сжигания геля, в качестве исходных реагентов использовали CuO (99.98%) и MoO_3 (99%), предварительно прокаленные при 400°C , BaCO_3 (99.95%) и $\text{Y}_2(\text{CO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (99.8%), поливиниловый спирт (**ПВС**) (16/1, CAS 9002-89-5), выполнявший функцию восстановителя (“органического топлива”), а также азотную кислоту квалификации “ос. ч.” (70 мас. % HNO_3).

Оксиды металлов, карбонаты иттрия и бария, взятые в необходимых стехиометрических количествах, растворяли в разбавленной азотной кислоте ($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O} = 1 : 1$ (об.)), полученный раствор упаривали, переносили в керамическую чашку и добавляли порошкообразный ПВС. При дальнейшем обезвоживании раствора образовывался гель. После кратковременного возгорания гель превращался в серо-черный порошок, который перетирали, переносили в керамический тигель, отжигали при 1000°C в течение трех часов во избежание сублимации оксидов молибдена [12], приводящей к неконтролируемому изменению состава образцов при более продолжительных отжигах. Охлаждение проводили в инерционно-термическом режиме, не вынимая из печи.

Тестовые варианты термической обработки образцов проводились при температурах 900–1400°C для выбора оптимальных условий синтеза.

Содержание Ва, Y, Cu и Mo в синтезированных образцах контролировали методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии на спектрометре СПЕКТРОСКАН МАКС-GVM (Россия). Результаты исследования образцов с соотношением Ва : Y : Cu : Mo = 4 : 2 : 1 : 1 и 5 : 2 : 2 : 1, представленные в табл. 1 (данные получены с использованием метода фундаментальных параметров без учета элементов легче натрия), свидетельствуют о соответствии соотношения Ва, Y, Cu и Mo в конечном продукте исходному заданному составу. Относительная погрешность определения составила не более 5%.

Рентгенофазовый анализ (**РФА**) выполняли на дифрактометре Bruker Advance D8 (США) (излучение CuK_α) в интервале углов $2\theta = 10^\circ\text{--}70^\circ$ с шагом сканирования 0.0133° . Количественный фазовый анализ проводили методом полнопрофильного анализа с использованием программного обеспечения TOPAS 4.2.

На рис. 2 приведены дифрактограммы образцов системы $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$ с исходными соотношениями катионов металлов

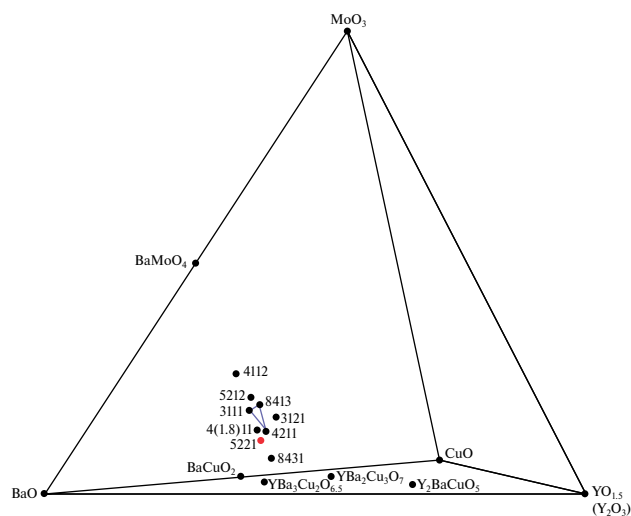


Рис. 1. Концентрационный тетраэдр квазичетверной системы $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$ с исследованными составами.

Таблица 1. Содержание элементов в образцах $Ba_4Y_2CuMoO_{11}$ и $Ba_5Y_2Cu_2MoO_{13}$

Элемент	Массовое соотношение, %			
	$Ba_4Y_2CuMoO_{11}$		$Ba_5Y_2Cu_2MoO_{13}$	
	Теоретическое	Эксперимент	Теоретическое	Эксперимент
Ba	61.9	61.4	63.1	64.7
Y	20.1	20.4	16.4	15.5
Cu	7.2	7.3	11.7	11.3
Mo	10.8	10.9	8.8	8.5

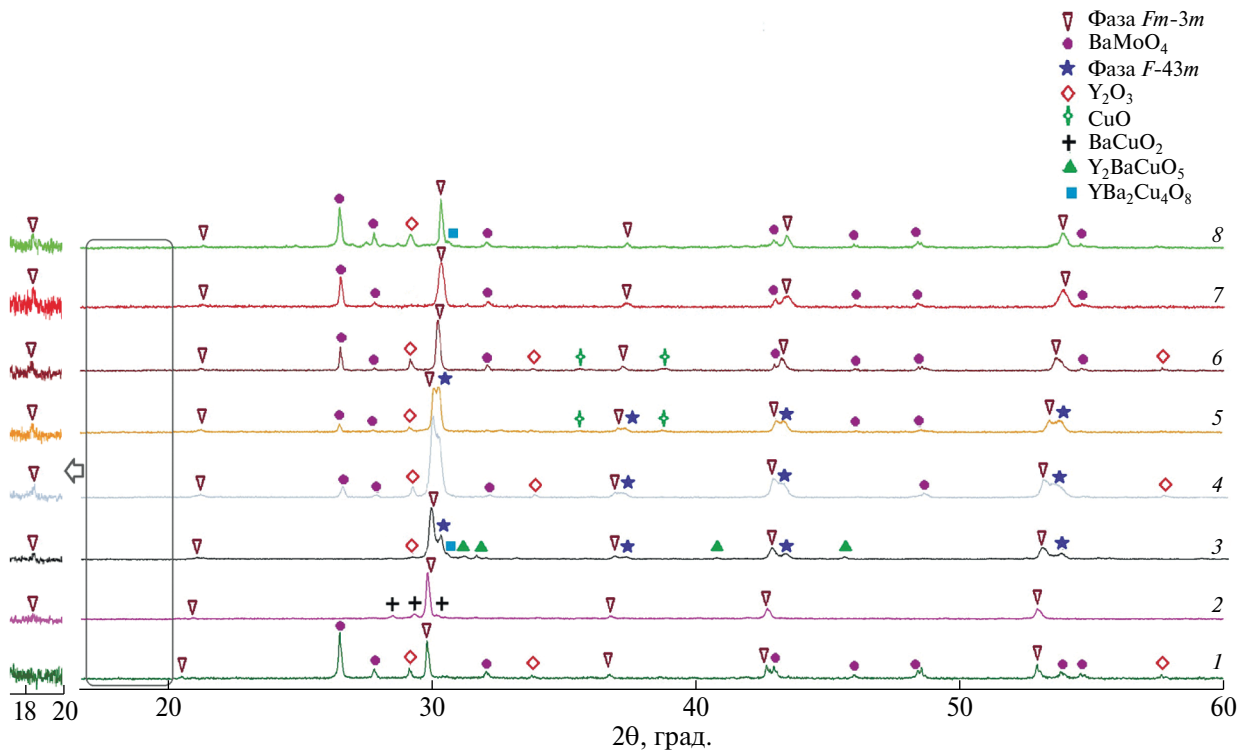


Рис. 2. Рентгенограммы образцов системы $BaO-Y_2O_3-CuO-MoO_3$: $Ba_5Y_2CuMo_2O_{15}$ (5212) (1), $Ba_5Y_2Cu_2MoO_{13}$ (5221) (2), $Ba_4Y_2CuMoO_{11}$ (4211) (3), $Ba_8Y_4CuMo_3O_{24}$ (8413) (4), $Ba_3YCuMoO_{8.5}$ (3111) (5), $Ba_3YCu_2MoO_{9.5}$ (3121) (6), $Ba_4YCuMo_2O_{12.5}$ (4112) (7), $Ba_4Y_{1.8}CuMoO_{10.7}$ (4(1.8)11) (8).

Ba : Y : Cu : Mo – 4112, 5212, 3111, 3121, 5221, 4211, 4(1.8)11, 8413.

Образец **4112** ($Ba_4YCuMo_2O_{12.5}$), в отличие от $Ba_4YCuW_2O_{12}$ [7], оказался не однофазным (рис. 2, рентгенограмма 7) и, наряду с перовскитом с кубической структурой, в нем присутствовали $BaMoO_4$ и в небольшом количестве Y_2BaCuO_5 . Значительно снизить содержание $BaMoO_4$ удалось для состава **3111** ($Ba_3YCuMoO_{8.5}$), однако в этом случае в образце образуются примеси Y_2O_3 и CuO наряду с кубической фазой (рис. 2, рентгенограмма 5), изоструктурной $Ba_2YCu_2WO_9$ [5]. Сосуществование двух фаз с кубической структурой также выявлено при совместном

уменьшении концентрации Ba и Cu в образце $Ba_2YCu_{0.5}Mo_{0.5}O_{5.5}$ (**4211**, $Ba_4Y_2CuMoO_{11}$), который содержал примеси Y_2O_3 , $YBa_2Cu_4O_8$ и Y_2BaCuO_5 (рис. 2, рентгенограмма 3). Образец номинального состава $Ba_{2.5}YCu_{0.5}Mo_{7.5}$ (**5212**, $Ba_5Y_2CuMo_2O_{15}$), в отличие от результатов работы [11], не был однофазным, и в нем обнаружены примесные $BaMoO_4$ и Y_2O_3 (рис. 2, рентгенограмма 1). При эквимольном уменьшении содержания Ba и Mo получен образец $Ba_{2.5}YCuMo_{0.5}O_{6.5}$ (**5221**, $Ba_5Y_2Cu_2MoO_{13}$) с максимальным содержанием перовскитоподобной фазы и примесью $BaCuO_2$ (рис. 2, рентгенограмма 2).

Дальнейшее варьирование концентраций катионов металлов, в частности добавление Cu, при-

водило к увеличению содержания примесей Y_2O_3 и CuO в образце состава **3121** ($Ba_3YCu_2MoO_{9.5}$) (рис. 2, рентгенограмма б). Незначительное снижение содержания иттрия приводило к образованию смеси: перовскит, $BaMoO_4$ и Y_2O_3 для образца **4(1.8)11** ($Ba_4Y_{1.8}CuMoO_{10.7}$) (рис. 2, рентгенограмма д). В случае изменения соотношения $Cu : Mo$ (подобно тому, как это было сделано для $Ba_2YCu_{0.25}W_{0.75}O_6$ ($Ba_8Y_4CuW_3O_{24}$) [8]) в образце $Ba_2YCu_{0.25}Mo_{0.75}O_6$ (**8413**, $Ba_8Y_4CuMo_3O_{24}$) обнаружены две фазы с кубической структурой, а также зафиксированы примеси $BaMoO_4$ и Y_2O_3 (рис. 2, рентгенограмма 4).

В табл. 2 представлены результаты рентгенофазового анализа синтезированных образцов. Состав **5221** ($Ba_5Y_2Cu_2MoO_{13}$), содержащий максимальное количество перовскитоподобной фазы *Fm-3m*, отмечен на рис. 1 красной точкой. Для этого образца профильный фактор $R_p = 7.55\%$ и взвешенный профильный фактор $R_{wp} = 9.48\%$.

Данные РФА показывают, что перовскитоподобная кубическая фаза *Fm-3m* в системе $BaO-Y_2O_3-CuO-MoO_3$ обладает областью

гомогенности, о чем свидетельствует изменение параметра кубической решетки. Параметр элементарной ячейки, рассчитанный по данным рентгеновской дифракции методом полнопрофильного анализа, варьируется в интервале 8.3315–8.4720 Å в зависимости от состава (табл. 3).

В образцах номинального состава 8413, 4211 и 3111 перовскитоподобная фаза *Fm-3m* существует совместно с кубической фазой *F-43m*, изоструктурной $Ba_2YCu_2WO_9$ [5]. На рис. 1 тонкими линиями соединены составы, для которых обнаружены обе фазы, при этом общее содержание фаз *Fm-3m* и *F-43m* в образцах составляет 80–90%.

ИК-спектры регистрировали на спектрометре Perkin Elmer Spectrum 65 FT-IR (США) в области 4000–400 cm^{-1} с разрешением 2 cm^{-1} . На рис. 3 представлены ИК-спектры для $Ba_5Y_2Cu_2MoO_{13}$.

ИК-спектр геля, отобранного перед возгоранием (рис. 3, спектр 1), содержит широкую полосу поглощения с максимумом при 3314 cm^{-1} , отвечающую валентным колебаниям ОН-групп, и

Таблица 2. Фазовый состав образцов системы $BaO-Y_2O_3-CuO-MoO_3$

Состав	<i>Fm-3m</i>	Y_2O_3	$BaMoO_4$	$Ba_2YCu_2WO_9$	CuO	Y_2BaCuO_5	$YBa_2Cu_4O_8$	$BaCuO_2$
		<i>Ia-3</i>	<i>I4₁/a</i>	<i>F-43m</i>	<i>C2/c</i>	<i>Pbnm</i>	<i>Ammm</i>	<i>Im-3m</i>
4112	69.4	—	28	—	—	2.6	—	—
3111	39	4.7	5.4	47.4	3.5	—	—	—
4211	52	1.2	—	24.8	—	16	6	—
5212	36.2	14.1	49.7	—	—	—	—	—
5221	74	—	—	—	—	—	—	26
3121	58.2	13.5	17.4	—	10.9	—	—	—
4(1.8)11	43	18.3	38.7	—	—	—	—	—
8413	42	6.1	6.2	45.7	—	—	—	—

Таблица 3. Параметры кубических ячеек твердых растворов структурных типов *Fm-3m* и *F-43m*

Состав	<i>Fm-3m</i>			<i>F-43m</i>		
	Содержание, %	<i>a</i> , Å	<i>V</i> , Å ³	Содержание, %	<i>a</i> , Å	<i>V</i> , Å ³
4112	69.4	8.3372	579.52	—	—	—
3111	39	8.4001	592.71	47.4	8.3505	582.29
4211	52	8.4488	603.10	24.8	8.3571	583.68
5212	36.2	8.4720	608.07	—	—	—
5221	74	8.4703	607.70	—	—	—
3121	58.2	8.3686	586.08	—	—	—
4(1.8)11	43	8.3315	578.32	—	—	—
8413	42	8.4432	601.90	45.7	8.3801	588.51

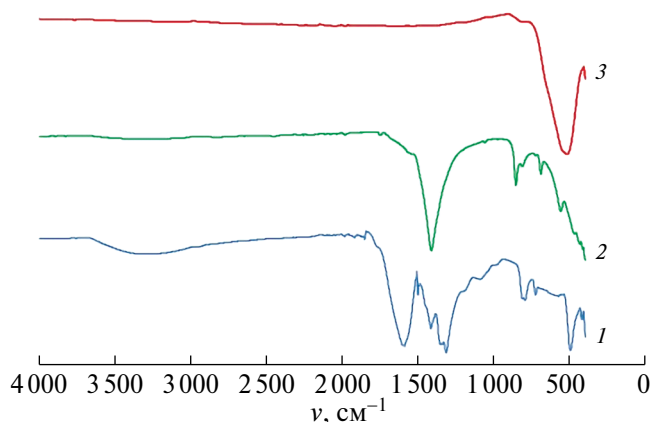


Рис. 3. ИК-спектры образца **5221** ($\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$): гель (спектр 1); аморфный порошок до отжига (спектр 2), после отжига (спектр 3).

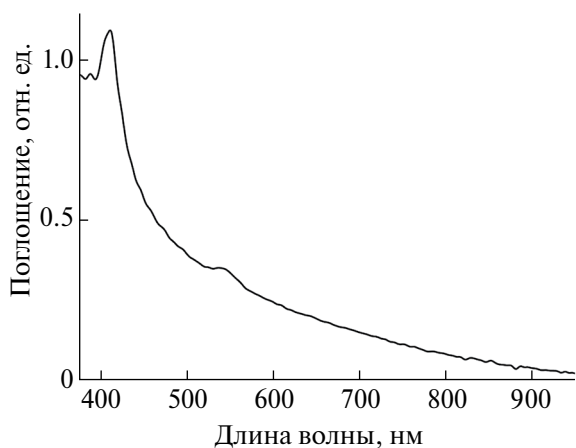


Рис. 4. Спектр поглощения образца **5221** ($\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$) в УФ/видимом диапазоне.

интенсивную полосу поглощения при 1590 см^{-1} , соответствующую валентным колебаниям $\text{C}=\text{C}$ связи [13]. Полоса при 1417 см^{-1} соответствует асимметричным валентным колебаниям $\text{C}-\text{O}$ -связи [14], а при 1200 и 1084 см^{-1} — колебаниям группы $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ [15]. Наличие в спектре асимметричных и симметричных валентных колебаний связи $\text{N}=\text{O}$ при 1503 и 1315 см^{-1} [16], наряду с валентными колебаниями связи $\text{N}-\text{O}$ при 1360 см^{-1} [17], свидетельствует о присутствии в геле анионов NO_3^- . В низкочастотной области спектра присутствует ряд полос, обусловленных связями $\text{Mo}-\text{O}$: 997 см^{-1} ($\text{Mo}=\text{O}$) [18], 796 и 421 см^{-1} (MoO_4^{2-}) [19], 726 см^{-1} ($\text{Mo}-\text{O}$) [18], 576 и 497 см^{-1} ($\text{Mo}-\text{O}-\text{Mo}$) [18].

В ИК-спектре порошка $\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$, полученного после сжигания геля (рис. 3, спектр 2), наряду с полосами 800 , 727 и 560 см^{-1} , относящимся к колебаниям связей $\text{Mo}=\text{O}$, $\text{Mo}-\text{O}$ и

$\text{Mo}-\text{O}-\text{Mo}$ соответственно, присутствуют полосы поглощения, характерные для карбонатных групп: асимметричные валентные колебания связи $\text{C}-\text{O}$ при 1414 см^{-1} и деформационные колебания группы CO_3^{2-} при 856 и 691 см^{-1} [14].

Отжиг при 1100°C приводит к появлению на ИК-спектре образца **5221** ($\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$) интенсивной полосы поглощения с экстремумом при 517 см^{-1} и плечом в области $780-830\text{ см}^{-1}$ (рис. 3, спектр 3), которые можно соотнести с валентными колебаниями связи $\text{Mo}-\text{O}$ в октаэдре MoO_6 и тетраэдре MoO_4 [20].

Спектры диффузного отражения в диапазоне $200-1000\text{ нм}$ регистрировали с помощью модульной оптической системы Ocean Optics (дтериево-галогеновый источник DH-2000-BAL, интегрирующая сфера ISP-80-8-R диаметром 80 мм , детектор QE650000) (США). В качестве образца сравнения использовали стандарт WS-1 (Ocean Optics) из политетрафторэтилена.

Результаты исследования оптических свойств образца **5221** ($\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$) в УФ/видимом диапазоне спектра (рис. 4) обработаны с помощью функции Кубелки—Мунка, которую можно считать прямо пропорциональной поглощению, пренебрегая наличием сильного рассеяния или пропускания света образцами.

На спектре поглощения образца номинального состава **5221** ($\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$) (рис. 4) можно выделить две узких полосы с максимумами при 420 и 550 нм . Эти полосы могут соответствовать переносу заряда $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Cu}^{2+}$ [21] для позиций Cu^{2+} в различном кислородном окружении. Это хорошо согласуется с неоднородностью образца $\text{Ba}_5\text{Y}_2\text{Cu}_2\text{MoO}_{13}$, в котором присутствуют перовскит $\text{Ba}_2(\text{Y,Cu,Mo})_2\text{O}_6$ ($Fm-3m$) и купрат бария BaCuO_2 . Интенсивной полосе с максимумом при 420 нм можно отнести поглощение позициями Cu^{2+} в октаэдрическом кислородном окружении перовскита, а малоинтенсивной полосе с максимумом 550 нм — поглощение позициями Cu^{2+} в плоско-квадратном кислородном окружении BaCuO_2 [22]. Таким образом, данные диффузного отражения подтверждают формирование фазы перовскита, содержащей октаэдрические позиции меди.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методом сжигания геля впервые в системе $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$ экспериментально получен ограниченный твердый раствор со структурой перовскита $Fm-3m$. При варьировании соотношения $\text{Ba} : \text{Y} : \text{Cu} : \text{Mo}$ установлена область совместного существования фазы перовскита

Fm-3m с кубической фазой *F-43m*, изоструктурной $\text{Ba}_2\text{YCu}_2\text{WO}_9$. Анализ спектров диффузного отражения указывает на наличие кислородных полиэдров для Cu^{2+} с координационным числом 6, что характерно для кристаллической решетки перовскита.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование проводилось с использованием оборудования ЦКП ФМИ ИОНХ РАН.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ИОНХ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gupta S. Introduction of ferroelectric and related materials. In: *Ferroelectric materials for energy harvesting and storage*. Elsevier, 2021. pp. 1–41. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102802-5.00001-7>
2. Кузьминов Ю.С., Осико В.В., Прохоров А.М. // *Квантовая электроника*. 1980. Т. 7. № 8. С. 1621–1653.
3. Леманов В.В., Смирнова Е.П., Зайцева Н.П. // *Физика тв. тела*. 2009. Т. 51. № 8. С. 1590–1595.
4. Bokhimi X., Garcia-Ruiz A. // *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* 1989. V. 169. P. 233–236. <https://doi.org/10.1557/PROC-169-233>
5. Kitahama K., Hori Y., Kawai K., Kawai S. // *Jap. J. Appl. Phys.* 1991. V. 30. № 5A. P. L809–L812. <https://doi.org/10.1143/JJAP.30.L809>
6. Garcia-Ruiz A., Bokhimi X., Portilla M. // *J. Mater. Res.* 1992. V. 7. № 1. P. 24–28. <https://doi.org/10.1557/JMR.1992.0024>
7. Bryntse I. // *Acta Chem. Scand.* 1990. V. 44. P. 855–856. <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.44-0855>
8. Bokhimi X., Morales A., Garcia-Ruiz A. // *Powder Diffraction*. 1996. V. 11. № 1. P. 42–44. <https://doi.org/10.1017/S0885715600008903>
9. Bremer M., Langbein H. // *Eur. J. Solid State Inorg. Chem.* 1996. V. 33. № 11. P. 1173–1183. [https://doi.org/10.1016/S1293-2558\(00\)80085-0](https://doi.org/10.1016/S1293-2558(00)80085-0)
10. Кольцова Т.Н. // *Неорганические материалы*. 2004. Т. 40. № 6. С. 751–755.
11. Gu L.-N., Li R.-K., Chen Z.-Y., Zhang J.-W. // *Chinese J. Low. Temp. Phys.* 2000. V. 22. № 1. P. 77–80. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1000-3258.2000.01.015>
12. Казенас Е.К., Цветков Ю.В. // *Испарение оксидов*. М: Наука, 1997. 543 с.
13. Thomas P.S., Guerbois J.-P., Russell G.F., Briscoe B.J. // *J. Therm. Anal. Calorim.* 2001. V. 64. № 2. P. 501–508. <https://doi.org/10.1023/A:1011578514047>
14. Sreedhar B., Satya Vani Ch., Keerthi Devi D., Basaveswara Rao M.V., Rambabu C. // *Amer. J. Mater. Sci.* 2012. V. 2. № 1. P. 5–13. <https://doi.org/10.5923/j.materials.20120201.02>
15. Mansur H.S., Sadahira C.M., Souza A.N., Mansur A.A.P. // *Mater. Sci. Eng. C*. 2008. V. 28. № 4. P. 539–548. <http://doi.org/10.1016/j.msec.2007.10.088>
16. Smirnova M.N., Nikiforova G.E., Goeva L.V., Simonenko N.P. // *Ceram. Intern.* 2019. V. 45. № 4. P. 4509–4513. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.11.133>
17. Lei F., Yan B. // *J. Solid State Chem.* 2008. V. 181. № 4. P. 855–862. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2008.01.033>
18. Gowtham B., Ponnuswamy V., Pradeesh G., Chandrasekaran J., Aradhana D. // *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 2018. V. 29. № 8. P. 6835–6843. <https://doi.org/10.1007/s10854-018-8670-7>
19. Yang P., Li C., Wang W., Quan Z., Gai S., Lin J. // *J. Solid State Chem.* 2009. V. 182. № 9. P. 2510–2520. <https://doi.org/10.1016/j.jssc.2009.07.009>
20. Фомичев В.В., Полозникова М.Э., Кондратов О.И. // *Успехи химии*. 1992. Т. 61. № 9. С. 1601–1622. <https://doi.org/10.1070/RC1992v061n09ABEH001004>
21. Buvaneswari G., Aswathy V., Rajakumari R. // *Dyes Pigments*. 2015. V. 123. P. 413–419. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.08.024>
22. Paulus E.F., Miehle G., Fuess H., Yehia I., Löchner U. // *J. Solid State Chem.* 1991. V. 90. № 1. P. 17–26. [https://doi.org/10.1016/0022-4596\(91\)90166-F](https://doi.org/10.1016/0022-4596(91)90166-F)

PEROVSKITE-LIKE LIMITED SOLID SOLUTION IN THE $\text{BaO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{CuO}-\text{MoO}_3$ SYSTEM

M. N. Smirnova^{a, #}, M. A. Kopeva^a, G. D. Nipan^a, G. E. Nikiforova^a,
A. D. Yapryntsev^a, A. A. Archipenko^a

Presented by Academician of the RAS Yu.G. Gorbunova 28.08.2023.

^a Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences,
119991 Moscow, Russian Federation

[#] E-mail: smirnova_macha1989@mail.ru

A new phase $\text{Ba}_2(\text{Y,Cu,Mo})_2\text{O}_6$ with the cubic perovskite structure *Fm3m* has been obtained in the $\text{BaO}-\text{CuO}-\text{Y}_2\text{O}_3-\text{MoO}_3$ quaternary system, and the possibility of coexistence of two limited solid solutions with cubic structures *Fm-3m* and *F-43m* has been established. The samples were synthesized by gel combustion followed by calcination at 1000°C and cooling in the inertial thermal regime. The studies were carried out by X-ray phase analysis, X-ray fluorescence spectrometry, infrared spectroscopy, and diffuse reflectance spectroscopy.

Keywords: multicomponent oxide systems, phase states