https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-79

МРНТИ: 31.17.15; 31.15.17

Б.Қ. Қасенов[1], Ш.Б. Қасенова[1*], Ж.И. Сағынтаева[1], Е.Е. Қуанышбеков[1], М.А. Исабаева[2]
[1]Ж. Әбішев атындағы химия металлургия институты,
100009, Қазақстан, Қарағанды қ., Ермеков көшесі, 63
[2]Торайғыров университеті,
140008, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ., Ломов көшесі, 64
[*]e-mail: kasenovashuga@mail.ru

$LaSrCuVMnO_{7.5}$ ҚҰРАМДЫ ҚОСЫЛЫСТЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРФИЗИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: *Мақалада $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының термодинамикалық және электрфизикалық сипаттамаларын зерттеу нәтижелері ұсынылған.*

*$LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысы жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі ИТ-С-400 сериялық калориметрінде 298.15-673 К температуралар аралығында зерттелді. Жылу сыйымдылықтың температураға тәуелділігін сипаттайтын полином теңдеулері фазалық ауытқуларды ескере отырып анықталды. Зерттеу нәтижелері көрсеткендей қосылыс 373 және 523 К температураларда, мүмкін II-текті ауысуға жататын λ-тәрізді әсерлер байқалады. Иондық инкременттер негізінде стандартты энтропиясы анықталып, әрі қарай зерттеліп отырған қосылыстың термодинамикалық функцияларының температураға тәуелділіктері H°(T) – H°(298,15), S°(T), Ф**(T) жылу сыйымдылық теңдеулері көмегімен анықталды.*

Электрфизикалық сипаттамалардың (диэлектрлік өтімділік пен электрліккедергі) температураға тәуелділіктерін зерттеу $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының электрсыйымдылығын LCR (Тайвань) сериялық құрылғысында 1, 5 және 10 кГц жұмыс жиіліктерінде, құрғақ ауада үздіксіз, әрбір бекітілген температурада белгілі бір уақыт ұстай отырып, термостаттық режимде өлшеу арқылы жүргізілді. Жоғары температура аймағында (шамамен 413 К және одан жоғары) электрлік сипаттамалардың күрт өзгеруі тіркелді, бұл фазалық ауысудың бар екендігін көрсетуі мүмкін, сондай-ақ өткізгіштік механизмдерінің және поляризациялық процестердің өзгеруімен қатар жүреді.

Зерттеу барысында қол жеткізілген деректер жиынтығы $LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысының теродинамикалық қасиеттерін болжауға арналған модельдеудің бастапқы негізін қалыптастырып, сондай-ақ қосылыстың зертханалық тәжірибелік үлгісін құжаттауға қажет маңызды ақпараттық база ретінде қызмет етеді.

Түйін сөздер: *Термодинамикалық сипаттама, жылу сыйымдылық, электр өтімділік, кедергі, температураға тәуелділік.*

Кіріспе

Перовскит тәрізді манганиттер асқын магниттік кедергі, алып магнитстрикция құбылыстары және магнитэлектрондық фазалық ауысулардың кең ауқымына байланысты тотықтардың ең өзекті топтарының бірі болып қала береді.

Ванадаттар, купраттар және манганиттердің термодинамикалық қасиеттерін зерттеу маңызды, өйткені бұл материалдар температураның, қысымның және басқа да сыртқы әсерлердің өзгеруіне өте сезімтал келеді. Осындай өзгерістер кезінде оларда фазалық ауысулар және электрондық құрылымның өзгерістері болуы мүмкін, бұл олардық физикалық және электрондық қасиеттеріне әсер етеді [1-3].

Олардың термодинамикалық сипаттамалары (жылу сыйымдылығы, энтальпиясы) зерттеу магниттік және электрондық реттелу механизмдерін түсіндіру үшін, сондай-ақ алдын ала берілген функциональдық қасиеттері бар материалдарды әзірлеу үшін аса маңызды [4-6].

Жұмыстың мақсаты болып $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылыстың термодинамикалық және электрфизикалық сипаттамаларын зерттеу болып табылады.

Зерттеу әдістері

$LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысы қатты фазалы әдіспен La_2O_3 («айрықша таза»), CuO, V_2O_5, Mn_2O_3 тотықтары және $SrCO_3$ («талдау үшін таза») негізінде синтезделді. Бастапқы реагенттер

©Б.Қ. Қасенов, Ш.Б. Қасенова, Ж.И. Сағынтаева, Е.Е. Қуанышбеков, М.А. Исабаева, 2026

адсорбциялық ылғалды жою мақсатында алдын ала 300 °C-та күйдірілді. Стехиометриялық мөлшерлер мұқият араластырылып, агат келіде ұнтақталды. Қоспа алдын ала күйдірілген алунд тигельдерде «SNOL» муфель пешінде кезең-кезеңімен 600°C (5 сағ), 700°C (10 сағ), 800°C (15 сағ) және 1000°C (15 сағ) температураларда термиялық өңдеуден өткізілді. Әр кезеңнен кейін қоспа салқындатылып, қайта араластырылып және ұнтақталды. Соңғы кезеңде тепе-тең фазаны қалыптастыру мақсатында 400°C температурада 10 сағат бойы төмен температуралы күйдіру жүргізілді.

Алынған фазалардың рентгенфазалық талдауы ДРОН-2,0 қондырғысында жүргізілді. Түсірілім шарттары: CuKα сәулеленуі, U = 30 кВ, I = 10 мА, айналу жылдамдығы – секундына 100 импульс, уақыт тұрақтысы τ = 5 с, 2θ бұрыштарының аралығы 10-90°. Дифракциялық максимумдардың интенсивтілігі 100 балдық шкала бойынша бағаланды.

Рентгенограммаларды индицирлеу аналитикалық әдіспен жүргізілді [7] (1-кесте).

Кесте 1 – $LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысы рентгенограммасын индицирлеу

I/I_0	d/Å	$10^4/d^2_{эксп.}$	hkl	$10^4/d^2_{выч.}$	I/I_0	d/Å	$10^4/d^2_{эксп.}$	hkl	$10^4/d^2_{выч.}$
24	3,85	674.65	520	674.65	28	2,06	2356	10.1.0	2350
100	3,06	1068	631	1070	45	1,92	2713	10.4.1	2722
69	2,80	1275	633	1256	26	1,83	2986	880	2978
99	2,71	1362	731	1373	16	1,66	3629	11.5.3	3606
31	2,49	1613	742	1605	31	1,57	4057	13.2.1	4048
16	2,30	1890	900	1884	10	1,45	4756	10.10.2	4746
24	2,23	2011	761	2001	14	1,36	5406	14.6.0	5397
16	2,20	2066	764	2071	14	1,35	5487	10.10.6	5490

$LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысының беткі морфологиясы мен элементтік құрамы сканерлеуші электрондық микроскопия (SEM) және энергодисперсиялық рентгеноспектралдық талдау (EDS) әдістерімен зерттелді. Зерттеулер AZtec бағдарламалық қамтамасыз етуімен жабдықталған Oxford Instruments EDS микроанализ жүйесі бар Zep Tools ZEM20 (Қытай) сканерлеуші электрондық микроскопында жүргізілді.

$LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысының жылу сыйымдылығы 298,15-673 К аралығында ИТ-С-400 сериялық калориметрінде зерттелді [8, 9]. Өлшеулер динамикалық салыстырмалы калориметрия әдісімен жүргізілді. Үлгі 25 К қадаммен қыздырылып, температуралық кешігу негізінде жылу сыйымдылығы есептелді. Құрылғының рұқсат етілген қателік шегі ±10%-дан аспайды. Әр температурада бес параллель өлшеу жүргізіліп, нәтижелер математикалық статистика әдістерімен өңделді. Құрылғының дұрыстығы α-Al_2O_3 эталондық үлгісі арқылы тексеріліп, алынған нәтижелер әдебиеттік деректермен жақсы сәйкестік көрсетті [10] (2-кесте). Мольдік жылу сыйымдылық молярлық масса ескеріліп есептелді, сондай-ақ орташа квадраттық ауытқулар ($\bar{\delta}$) мен кездейсоқ қателік құрамдастары ($\overset{\circ}{\Delta}$) анықталды. Зерттеу нәтижелері 3-кесте мен 1-суретте келтірілген.

Кесте 2 – Құрылғы жұмысының дұрыстығын тексеру үшін пайдаланылған α-Al_2O_3-тың жылу сыйымдылығының тәжірибелік мәндерінің әдебиет деректерімен [10] салыстыруы.

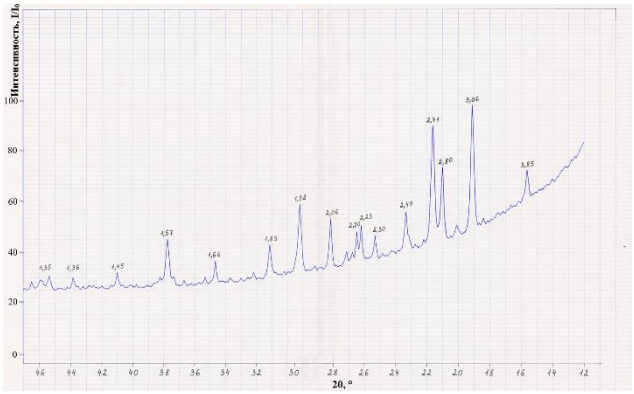
Т, К	$C_p°$(Т), Дж/(моль·К)		S, %	Т, К	$C_p°$(Т), Дж/(моль·К)		S, %
	Біздің деректер	[10] деректер			Біздің деректер	[10] деректер	
300	76,31±3	79,41	3,90	500	105,47±5	106,1	0,59
350	86,49±4	88,86	2,67	550	110,09±5	109,7	0,36
400	94,12±4	95,21	1,15	600	114,29±5	112,5	1,59
450	100,26±4	101,8	1,51	650	118,20±5	114,9	2,87

Термиялық талдау NETZSCH DSC 300 Supreme деп аталатын құрылғыда азота атмосферасында қыздыру жылдамдығы 10 К/мин болатын – 80-550°C температураларда жүргізілді.

$LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысының TG-DTA талдауы аргон атмосферасында NETZSCH STA 449 F3 синхронды термиялық анализаторында 30-1400°C температура аралығында 10 К/мин қыздыру жылдамдығымен жүргізілді. Талдау нәтижелері «Нәтижелер мен талқылау» бөлімінде 5, 6 – суреттерде келтірілген.

Кесте 3 – $LaSrCuVMnO_{7,5}$ құрамды қосылысы жылу сыйымдылығының тәжірибелік мәндері [$C_p \pm \overline{\delta}$, Дж/(К·г); $C_p^0 \pm \overset{o}{\Delta}$, Дж/(моль·К)]

Т, К	$C_P \pm \overline{\delta}$	$C_P^o \pm \overset{o}{\Delta}$	Т, К	$C_P \pm \overline{\delta}$	$C_P^o \pm \overset{o}{\Delta}$
298.15	0,5207±0,0055	269±8	498	0,6705±0,0093	346±13
323	0,5453±0,0077	281±11	523	0,7059±0,0094	364±14
348	0,6108±0,0054	315±8	548	0,5186±0,0103	268±15
373	0,6573±0,0069	339±10	573	0,4105±0,0086	212±12
398	0,5811±0,0046	300±7	598	0,3304±0,0069	170±10
423	0,4722±0,0111	244±16	623	0,2853±0,0072	147±10
448	0,5975±0,0076	308±11	648	0,4793±0,0098	247±14
473	0,6349±0,0119	328±17	673	0,6032±0,0103	311±15



Сурет 1 – $LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысы рентгенограммасы

Термодинамикалық сипаттамаларды есептеу $S^o(T)$, $H^o(T) - H^o(298,15)$ және $Ф^{xx}(T)$ төмендегі (1-3) теңдеулер негізінде орындалды:

$$H^0(T) - H^0(298,15) = \int_{298,15}^{T} C_p^0 \, dT, \quad (1)$$

$$S^0(T) = S^0(298,15) + \int_{298,15}^{T} \frac{C_p}{T} dT, \quad (2)$$

$$\Phi^{xx}(T) = S^0(T) - \frac{H^0(T) - H^0(298,15)}{T}. \quad (3)$$

Бұл теңдеулер термодинамикалық функцияларды жылу сыйымдылықтың тәжірибелік мәндері негізінде есептеуге қолданылады. Олар фазалық ауысу мен басқа термодинамикалық үрдістерді талдауға маңызды энтропия, энтальпия және еркін энергияны анықтауға мүмкіндік береді. Термодинамикалық функциялардың температураға тәуелділіктеріндегі қателіктер жылу сыйымдылығының орташа кездейсоқ қателігі мен стандартты энтропияны есептеудегі дәлдік (шамамен 3%) ескеріліп анықталды (4-кесте).

$LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысының электрфизикалық сипаттамаларының температураға тәуелділігі LCR-781 (Тайвань) құрылғысында 1, 5 және 10 кГц жиіліктерде зерттелді [11, 12]. Өлшеулер құрғақ ауада термостаттық режимде жүргізілді. Зерттеу үшін диаметрі 10 мм және қалыңдығы 5-6 мм болатын таблетка түріндегі үлгілер дайындалып, 20 кг/см² қысымда престелді және «SNOL» пешінде 600 °С-та 6 сағат күйдірілді. Диэлектрлік өтімділік үлгінің электрсыйымдылығы, қалыңдығы және электрод ауданы бойынша есептелді. D(E) гистерезис ілмектері Сойер-Тауэр сұлбасы арқылы С1-83 осциллографында бақыланды. Температура хром-алюмель термопарасымен өлшеніп, қыздыру жылдамдығы шамамен 5 К/мин болды.

Әр температурадағы диэлектрлік өтімділік келесі формула бойынша есептелді:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}, \quad (4)$$

мұндағы $C_0 = \frac{\varepsilon_0 \cdot S}{d}$ зерттелін затсыз (ауамен толтырылған) конденсатордың сыйымдылығы.

Кесте 4 – $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының термодинамикалық сипаттамаларының температураға тәуелділіктері [$C_P°(T)$, $S°(T)$, $Ф^{xx}(T)$, Дж/(моль·К); $H°(T)-H°(298.15)$, Дж/моль]

Т, К	$C_P°(T)\pm\overset{o}{\Delta}$	$S°(T)\pm\overset{o}{\Delta}$	$H°(T)-H°(298.15)\pm\overset{o}{\Delta}$	$Ф^{xx}(T)\pm\overset{o}{\Delta}$
298.15	269±12	281 ± 8	-	281±21
300	274±12	283±21	540±20	281±21
325	294±13	306±23	7600±340	282±21
350	318±14	328±25	15240±690	285±21
375	341±15	351±26	23470±1060	288±22
400	288±13	371±28	31260±1410	293±22
425	240±11	387±29	37850±1710	298±22
450	296±13	403±30	44690±2020	303±23
475	330±15	420±32	52540±2370	309±23
500	352±16	437±33	61080±2760	315±24
525	365±16	455±34	70060±3170	321±24
550	261±12	470±35	77700±3510	328±25
575	198±9	479±36	83390±3770	334±25
600	161±7	487±37	87840±3970	340±25
625	146±6	493±37	91650±4140	346±26
650	236±11	506±38	99554±4500	353±27
675	318±14	516±39	106470±4810	359±27

LCR (Тайвань) сериялық құрылғысының төлқұжаттық деректеріне сәйкес, салыстырмалы диэлектрлік өтімділік (ε) және электрлік кедергіні (R) өлшеу қателік шегі бар болғаны ± 0,05 %-ды құрайды, бұл алынған нәтижелердің жоғары сенімділігін көрсетеді. Қосымша расталу эталондық $BaTiO_3$ заты бойынша салыстырмалы талдау арқылы жүзеге асырылды: 293 К температурада алынған ε мәні (1296) ұсынылған диапазон шегінде (1400±250) [13, 14] орналасқан, бұл өлшеу әдістемесінің дұрыстығын растайды. Зерттеу нәтижелері 6-кестеде келтірілген.

Нәтижелер мен талқылау

Рентгенограмма индицирлеу нәтижелеріне сүйене отырып, $LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысының кубтық сингонияда кристалданатыны және оның тор параметрлері келесідей екені анықталды – a=14,50±0,02 Å; V^o=3051,27±0,06 Å^3; Z=4; $V^o_{эл.ұяш.}$=762,82±1,10Å^3 ; $\rho_{рент.}$=4,49; $\rho_{пикн.}$=4,48±0,05 г/см^3

Қосымша құрылымдық верификация. $LaSrCuVMnO_{7,5}$ үшін перовскиттік құрылымның түзілу мүмкіндігін және геометриялық тұрақтылығын бағалау мақсатында толеранттылық факторы (t) есептелді. Есептеу (5) формула бойынша жүргізілді:

$$t = \frac{r_A + r_O}{\sqrt{2}(r_B + r_O)} \quad (5)$$

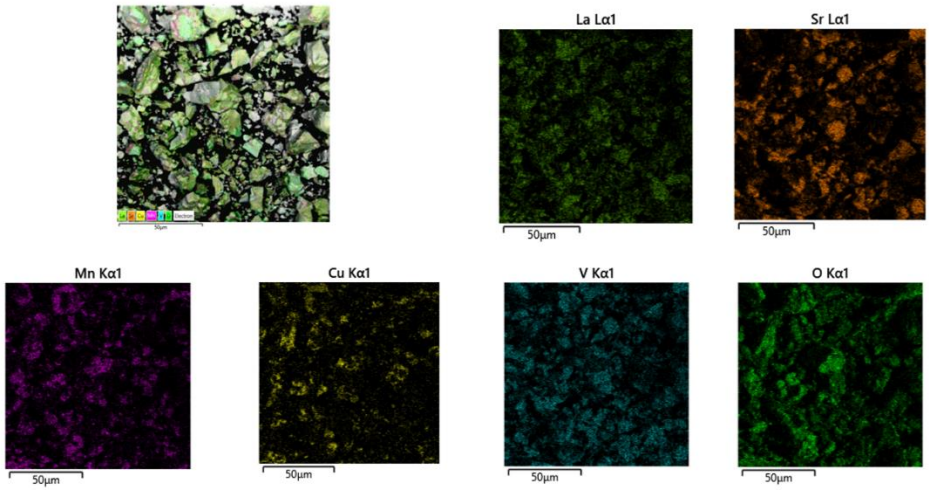
Иондық радиустарды таңдау (Å) (Шеннон бойынша [15, 16], шамамен) A: La^{3+} = 1.36 Å, Sr^{2+} = 1.44 Å. Орташа радиус: r_A = (1,36 + 1,44)/2 = 1,40 Å; B: Cu^{2+} ≈ 0,73 Å, V^{5+}≈ 0,54 Å, Mn^{3+}≈ 0,645 Å. Орташа радиус: r_B = (0,73 + 0,54 + 0,645)/3 ≈ 0,638 Å. Оттегі: rO = 1,40 Å

$$t = \frac{1.40+1.40}{\sqrt{2}(0.638+1.40)} = \frac{2.80}{1.414\times2.038} = \frac{2.80}{2.88} \approx 0.97 \quad (6)$$

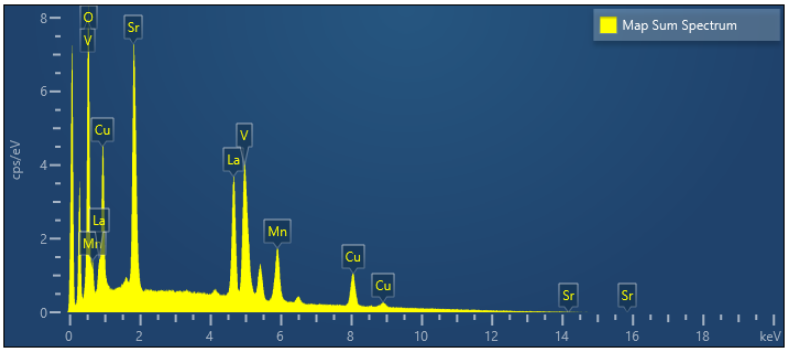
$LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысы үшін A және B позицияларындағы орташа иондық радиустарды пайдаланып есептелген толеранттылық факторы t ≈ 0.97 құрайды. Алынған мәннің бірге жуық болуы перовскиттік құрылымның түзілуін көрсетеді.

SEM–EDS карталау (2, 3 суреттерде) нәтижелері $LaSrCuVMnO_{7,5}$ үлгісінің агломерацияланған поликристалдық морфологияға ие екенін көрсетті.

Элементтік карталарда La, Sr, Cu, Mn, V және O элементтерінің зерттелген аймақта салыстырмалы түрде біркелкі таралуы байқалады, бұл көпкомпонентті оксидті жүйенің қалыптасуын растайды. Жалпы алғанда, алынған нәтижелер синтез нәтижесінде күрделі оксидті жүйенің түзілгенін және катиондардың көлем бойынша салыстырмалы түрде біркелкі таралғанын көрсетеді.



Сурет 2 – $LaSrCuVMnO_{7,5}$ үлгісі бетінде La, Sr, Cu, Mn, V және O элементтерінің таралу EDS-карталары



Сурет 3 – $LaSrCuVMnO_{7,5}$ үлгісінің энергодисперсиялық рентгендік спектрі (EDS)

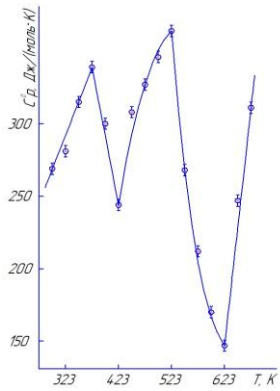
EDS Map Sum Spectrum нәтижелері зерттелген аймақта La, Sr, Cu, Mn, V және O элементтерінің бар екенін растады. Элементтердің салыстырмалы мөлшерлері көпкомпонентті $LaSrCuVMnO_{7,5}$ оксидті жүйесінің қалыптасуына сәйкес келеді.

Талдау нәтижелері бойынша үлгі құрамында оттегінің мөлшері ең жоғары болып, 33,95 масс.% және 72,35 ат.% құрады. Сонымен қатар La, Sr, Cu, Mn және V элементтерінің болуы анықталды: сәйкесінше La – 22,92 масс.% (5,63 ат.%), Sr – 19,64 масс.% (7,64 ат.%), V – 9,50 масс.% (6,36 ат.%), Cu – 7,76 масс.% (4,16 ат.%) және Mn – 6,22 масс.% (3,86 ат.%). Алынған нәтижелер синтезделген үлгі құрамында барлық негізгі элементтердің бар екенін және көпкомпонентті оксидті жүйенің қалыптасқанын растайды.

Кесте 2-де келтірілген деректер бойынша 300-673 К диапазонында α-Al_2O_3-тың жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі бойынша біздің зерттеулеріміздің нәтижелері ИТ-С-400 калориметрінің жұмыс дәлдігі шегінде [10]-нің нәтижелерімен қанағаттанарлықтай сәйкес келеді. Әдістеменің дәлдігі (S) тәжірибелік және әдеби мәндердің салыстырмалы айырмасы арқылы есептеліп, кестеде қосымша баған түрінде берілді. Алынған дәлдік көрсеткіші S 0,36-3,90% аралығында өзгеріп, калориметрдің паспорттық қателік шегіне сәйкес келеді, бұл өлшеулердің сенімділігін растайды.

Температураға тәуелділік қисығында (4 сурет) жылу сыйымдылықтың λ-тәрізді әсері 373 және 523 К температураларда анықталды, бұл II-текті фазалық ауысуға жатады.

Осындай фазалық ауысу, ықтимал түрде, жартылай өткізгіштік күйден металлдық өткізгіштікке өтуімен қатар жүреді. Сонымен қатар, ол сыйымдылықтың өзгеруімен, диэлектрлік өтімділіктің түрленуімен (мысалы, сегнетоэлектрлік ауысулар – Кюри және Неель нүктелері) және басқа да ілеспе физикалық құбылыстармен байланысты болуы мүмкін.



Сурет 4 – $LaSrCuVMnO_{7,5}$ құрамды қосылысы жылу сыйымдылығының температураға тәуелділігі

Фазалық ауысу температурасы ескеріле отырып, $C^o_p \sim f(T)$ [Дж/(мольК)] тәуелділіктерін сипаттайтын теңдеулер (7-11) есептеп шығарылды:

$$C_p^0 = -(11\pm0{,}5)+(939{,}3\pm42{,}4)\cdot10^{-3}T,\ (298{,}15\text{-}373\ К), \quad (7)$$

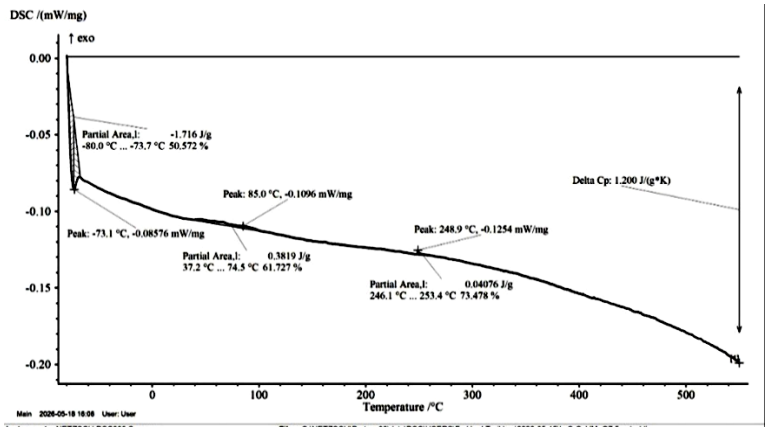
$$C_p^0 = (1051\pm48) - (1910\pm86{,}3)\cdot10^{-3}T,\ (373\text{-}423\ К), \quad (8)$$

$$C_p^0 = -(1867\pm84) - (1790{,}7\pm809)\cdot10^{-3}T - (1550{,}39\pm70{,}07)\cdot10^{5}T^{-2},\ (423\text{-}523\ К), \quad (9)$$

$$C_p^0 = -(5531\pm250) + (5988\pm270{,}58)\cdot10^{-3}T + (7557{,}97\pm341{,}50)\cdot10^{5}T^{-2},\ (523\text{-}623\ К), \quad (10)$$

$$C_p^0 = -(1896\pm86) + (3280{,}2\pm148{,}2)\cdot10^{-3}T,\ (623\text{-}673\ К). \quad (11)$$

5 -суретте азот атмосферасында 10 К/мин қыздыру жылдамдығымен −80-нен 550 °C-қа дейінгі температура аралығында алынған $LaSrCuVMnO_{7,5}$ үлгісінің DSC-қисығы (дифференциалдық сканерлеуші калориметрия) көрсетілген. Экзотермиялық эффектілердің бағыты жоғары қарай бағытталған (↑ exo).



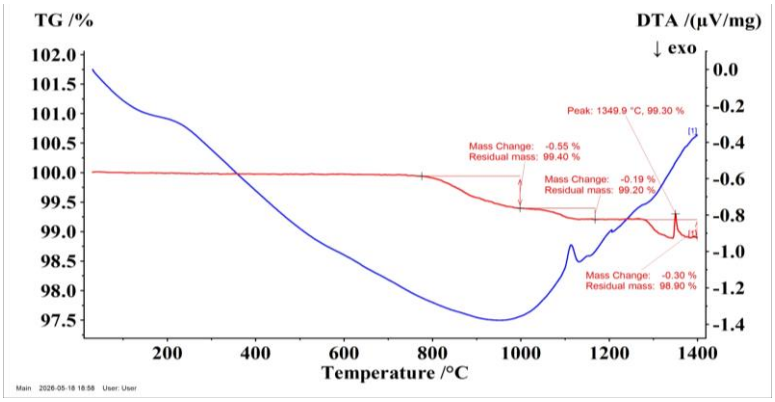
Сурет 5 – N_2 атмосферасында тіркелген $LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысының DSC-қисығы

248,9 °C (≈522 K) аймағында байқалған DSC-эффект $Cp^o(T)$ тәуелділігінде анықталған 523 K маңындағы λ-тәрізді аномалиямен жақсы сәйкес келеді. Сонымен қатар 85,0 °C (≈358 K) температурасындағы әлсіз термиялық эффект 373 K аймағындағы жылу сыйымдылығы ерекшелігімен корреляцияланады. DSC және жылу сыйымдылығы деректерінің өзара сәйкестігі көрсетілген температуралық интервалдарда үлгі құрылымында термиялық белсендірілген фазалық немесе құрылымдық қайта құрылулардың жүретінін көрсетеді. Бақыланған λ-тәрізді ерекшеліктер бұл ауытқулардың II-текті фазалық ауысуларға тән белгілермен байланысты болуы мүмкін екенін жанама түрде растайды.

DSC-қисық бойынша анықталған ΔCp = 1,200 Дж/(г·К) мәні ИТ-С-400 калориметрінде алынған тәжірибелік Cp мәндерінен (0,285–0,706 Дж/(г·К)) жоғары болды. Мысалы, 373 K және 523 K температураларында Cp сәйкесінше 0,6573 және 0,7059 Дж/(г·К) құрады. Бұл айырмашылық DSC әдісінде ΔCp мәнінің абсолютті жылу сыйымдылық емес, жылу ағынының салыстырмалы өзгерісі ретінде анықталуымен, сондай-ақ өлшеу шарттарының ерекшеліктерімен байланысты болуы мүмкін.

Соған қарамастан DSC нәтижелері ИТ-С-400 калориметрінде байқалған 373 және 523 К аймақтарындағы жылу сыйымдылық аномалияларын қосымша түрде растайды.

TG-DTA талдауы $LaSrCuVMnO_{7,5}$ (6-сурет) қосылысының 1000°С-қа дейін жоғары термиялық тұрақтылыққа ие екенін көрсетті. TG-қисығында 30-1000°С аралығында айқын фазалық ыдырау немесе күрт массалық жоғалту байқалмайды. Бұл синтез нәтижесінде түзілген оксидті жүйенің тұрақты екенін және құрылымның берілген температуралық диапазонда сақталатынын көрсетеді.



Сурет 6 – Ar атмосферасында тіркелген $LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысының TG-DTA қисықтары

800-1000°С аралығында байқалатын әлсіз массалық жоғалту (≈0,55 %) қалдық карбонат фазаларының ыдырауы кезінде CO_2 бөлінуімен және оттектік дефектілердің қайта құрылуымен байланысты болуы мүмкін. Жалпы массалық өзгерістің аз болуы $LaSrCuVMnO_{7,5}$ қосылысының жоғары термиялық тұрақтылығын көрсетеді.

Иондық энтропиялық инкремент жүйелерін [17] пайдалана отырып $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының стандартты энтропиясы S°(298,15) есептелді. Содан кейін, жылу сыйымдылықтары бойынша тәжірибелік деректер және стандартты энтропияның есептелген мәндері негізінде $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының $C_P°(T)$, термодинамикалық функцияларының S°(T), H°(T)-H°(298,15), $Ф^{xx}(T)$ температураға тәуелділіктері есептелді (5-кесте).

Кесте 5 – $BaTiO_3$ және $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының 293-483 К үшін электрсыйымдылық (С), электрлік кедергі (R) және диэлектрлік өтімділіктің (ε) температураға тәуелділіктері (1 кГц жиілікте)

Т, К	С, nF	R, Ом	ε	lgε	lgR	С, nF	R, Ом	ε	lgε	lgR
	$BaTiO_3$					$LaSrCuVMnO_{7.5}$				
293	0,27278	13400	1296	3,11	4,13	12,107	66080	104562	5,02	4,82
303	0,27426	13270	1303	3,11	4,12	16,36	45850	141293	5,15	4,66
313	0,27715	12910	1316	3,12	4,11	20,681	34230	178612	5,25	4,53
323	0,28125	12560	1336	3,13	4,10	27,683	24700	239085	5,38	4,39
333	0,2872	11890	1367	3,14	4,08	36,385	18340	314239	5,50	4,26
343	0,29313	11210	1392	3,14	4,05	46,275	14250	399655	5,60	4,15
353	0,29916	10290	1421	3,15	4,01	56,324	11640	486443	5,69	4,07
363	0,30751	9383	1461	3,16	3,97	60,357	11110	521274	5,72	4,05
373	0,31202	8834	1482	3,17	3,95	34,79	23630	300464	5,48	4,37
383	0,31702	9061	1506	3,18	3,96	28,202	40700	243567	5,39	4,61
393	0,32255	8814	1532	3,19	3,95	30,637	49170	264597	5,42	4,69
403	0,32967	7881	1566	3,19	3,90	41,087	52290	354848	5,55	4,72
413	0,3423	7098	1626	3,21	3,85	185,94	37080	1605873	6,21	4,57
423	0,35119	6902	1668	3,22	3,84	217,19	32680	1875764	6,27	4,51
433	0,36668	6153	1742	3,24	3,79	773,66	21980	6681723	6,82	4,34
443	0,38018	6317	1806	3,26	3,80	1841,8	14850	15906726	7,20	4,17
453	0,39802	6010	1891	3,28	3,78	4462,9	9798	38543884	7,59	3,99
463	0,4169	5584	1980	3,30	3,75	10379	6382	89638346	7,95	3,80
473	0,43147	5149	2050	3,31	3,71	20158	4488	174094786	8,24	3,65
483	0,45456	4656	2159	3,33	3,67	34325	4042	296448235	8,47	3,61

5-кестеде келтірілген деректер зерттеліп отырған $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының электрфизикалық сипаттамаларының температураға айқын тәуелділігін көрсетеді. Температураның артуымен диэлектрлік өтімділік өседі, бұл өз кезегінде үлгінің электр сыйымдылығының ұлғаюына алып келеді. Сонымен қатар, электрлік кедергінің жалпы төмендеуі байқалады, бұл заряд тасымалдаушыларының қозғалғыштығының артуымен байланысты болуы мүмкін. Жоғары температура аймағында (шамамен 413 К және одан жоғары) электрлік сипаттамалардың күрт өзгеруі тіркелді, бұл фазалық ауысудың бар екендігін көрсетуі мүмкін, сондай-ақ өткізгіштік механизмдерінің және поляризациялық процестердің өзгеруімен қатар жүреді.

373 К маңында диэлектрлік параметрлердің айқын өзгерісі байқалады: ε мәні 521274-тен 300464-ке дейін төмендеп, ал электрлік кедергі 11110 Ом-нан 23630 Ом-ға дейін артады. Бұл поляризациялық процестер мен заряд тасымалдау механизмдерінің өзгеретінін көрсетеді. Сонымен қатар 413-483 К аралығында диэлектрлік өтімділік күрт өсіп (1.61×10^{6}-ден 2.96×10^{8}-ге дейін), кедергі төмендейді, бұл жоғары температуралық құрылымдық немесе поляризациялық қайта құрылулармен байланысты болуы мүмкін және 523 К маңындағы λ-тәрізді аномалиямен сәйкес келеді.

Алынған нәтижелер λ-тәрізді жылулық эффектілердің фазалық ауысумен байланысын жанама түрде растайды. $LaSrCuVMnO_{7.5}$ жүйесін $LaCaCuZnMnO_6$-пен [13] салыстыру катиондық құрамның өзгеруі (Ca→Sr және Zn→V) аномалиялар температурасының ығысуына және диэлектрлік сипаттамалардың өзгеруіне әкелетінін көрсетті. Бұл перовскиттік тордың құрылымдық бұрмаланулары мен катиондық қоршау термодинамикалық және электрфизикалық қасиеттерге тікелей әсер ететінін көрсетеді, бұл перовскиттік оксидтердегі құрылым–қасиет өзара байланысы туралы әдеби деректермен сәйкес келеді [18].

Сонымен қатар $LaSrCuVMnO_{7.5}$ қосылысының диэлектрлік өтімділігі эталондық $BaTiO_3$-пен салыстырғанда бірнеше ондағаннан 10^5 есеге дейін жоғары мәндер көрсетеді, бұл оны жоғары диэлектрлік және перспективалы полифункционалды материал ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.

Қорытынды

Алғаш рет 298,15-673 К температура аралығында $LaSrCuVMnO_{7.5}$ құрамды қосылысының термодинамикалық және электрфизикалық сипаттамаларына зерттеулер жүргізілді.

Жылу сыйымдылығы бойынша алынған тәжірибелік деректер негізінде оның температураға тәуелділік теңдеулері анықталды, сондай-ақ негізгі термодинамикалық функциялары – энтальпия H°(T) – H°(298,15), энтропия S°(T) және келтірілген термодинамикалық потенциал Ф**(T) мәндері есептелінді. Қосылыс 373 және 523 К температураларда, мүмкін II-текті ауысуға жататын λ-тәрізді әсерлер байқалады. Иондық инкременттер негізінде стандартты энтропиясы анықталды. Электрфизикалық сипаттамаларының температураға тәуелділіктері зерттелді. Алынған деректер жиынтығы термодинамикалық қасиеттерді болжауға арналған модельдеу үшін бастапқы база құрып, аталған қосылысты әрі қарай құжаттау үшін негіз бола алады және зерттеліп отырған қосылысты электроника саласында полифункционалды материал ретінде қолдану перспективаларын ашады.

Әдебиеттер тізімі

1. Calorimetric investigation of ternary oxides in the CuO-V_2O_5 system / P.M. Aiswarya et al // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2025. – Vol.150, № 7. – P. 16307-16323. https://doi.org/10.1007/s10973-025-14727-2.
2. Thermodynamic analysis of magnetocaloric properties of ferromagnet undergoing structural phase transition near Curie temperature / Victor A. L'vov et al // Scientific Reports. – 2025. – 15. – P. 31002 8. https://doi.org/10.1038/s41598-025-15896-8.
3. Thermodynamic properties of MnV_2O_6 and $Mn_2V_2O_7$ at high temperatures / Zhuoyang Li et al // Journal of Alloys and Compounds. – 2024. – Vol. 1005. – P. 175937. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.175937.
4. Millis A.J. Lattice effects in manganites / A.J. Millis //Nature. – 1998 – Vol. 392. – P. 147-150.
5. Specific heat studies on the charge and magnetic ordering in manganites / H.D. Yang et al **//** Phys. B: Condensed Matter. – 2003. – Vol. 329-333, Part 2. – P. 801-802. https://doi.org/10.1016/S0921-4526(02)02562-0.

6. Zhang Y. Thermodynamics of perovskite oxides / Y. Zhang, W. Chen // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 98. – P. 1-67. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.05.003.
7. Вест А. Химия твердого тела. – М.: Мир, 1988. – Ч. 1. – 588 с.
8. Техническое описание и инструкции по эксплуатации ИТ-С-400. – Актюбинск. Актюбинский завод «Эталон», 1986. – 48 с.
9. Теплофизические измерения и приборы / Е.С. Платунов и др. – Л.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
10. Бодряков В.Ю. Корреляционные характеристики температурного коэффициента объемного расширения и теплоемкости корунда/ В.Ю. Бодряков // Стекло и керамика. – 2015. – № 2. – С. 30.
11. Окадзаки К. Технология керамических диэлектриков / К. Окадзаки. – М.: Энергия, 1976. – 327 с.
12. Руководство по эксплуатации. Измеритель RLC (LCR-781). – М.: ЗАО «ПриСТ», 2012. – С. 3.
13. Thermodynamic and Electrophysics of New $LaCaCuZnMnO_6$ Copper – Zinc Manganite of Lanthanum and Calcium / B.K. Kasenov et al // High Temperature. – 2022. – Vol. 60, № 4. – P. 474-478. https://doi.org/10.1134/S0018151X22020225.
14. Фесенко Е.Г. Семейство перовскита и сегнетоэлектричество / Е.Г. Фесенко. – М.: Атомиздат, 1972. – 248 с.
15. Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides / R.D. Shannon // Acta Crystallographica Section A. – 1976. – Vol. 32(5). – P. 751-767. https://doi.org/10.1107/s0567739476001551.
16. Database of Ionic Radii http://abulafia.mt.ic.ac.uk›shannon/
17. Кумок В.Н. Проблема согласования методов оценки термодинамических характеристик / В.Н. Кумок // В сб.: Прямые и обратные задачи химической термодинамики. – Новосибирск: Наука, 1987. – С. 108.
18. Exploring the interplay of lattice distortion, magnetic ordering, and dielectric behavior in $Dy_2NiFeO_{6-\delta}$ synthesized via solution chemistry / S. Punj et al // Scientific Reports, 2026. – Vol.16**.** – P. 9709. https://doi.org/10.1038/s41598-026-38284-2.

References

1. Calorimetric investigation of ternary oxides in the CuO-V2O5 system / P.M. Aiswarya et al // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2025. – Vol.150, № 7. – P. 16307-16323. https://doi.org/10.1007/s10973-025-14727-2. (In English).
2. Thermodynamic analysis of magnetocaloric properties of ferromagnet undergoing structural phase transition near Curie temperature / Victor A. L'vov et al // Scientific Reports. – 2025. – 15. – R. 31002 8. https://doi.org/10.1038/s41598-025-15896-8. (In English).
3. Thermodynamic properties of MnV2O6 and Mn2V2O7 at high temperatures / Zhuoyang Li et al // Journal of Alloys and Compounds. – 2024. – Vol. 1005. – P. 175937. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2024.175937. (In English).
4. Millis A.J. Lattice effects in manganites / A.J. Millis //Nature. – 1998 – Vol. 392. – P. 147-150. (In English).
5. Specific heat studies on the charge and magnetic ordering in manganites / H.D. Yang et al // Phys. V: Sondensed Matter. – 2003. – Vol. 329-333, Part 2. – P. 801-802. https://doi.org/10.1016/S0921-4526(02)02562-0. (In English).
6. Zhang Y. Thermodynamics of perovskite oxides / Y. Zhang, W. Chen // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 98. – P. 1-67. https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2018.05.003. (In English).
7. Vest A. Khimiya tverdogo tela. – M.: Mir, 1988. – Ch. 1. – 588 s. (In Russian).
8. Tekhnicheskoe opisanie i instruktsii po ehkspluatatsii IT-S-400. – Aktyubinsk. Aktyubinskii zavod «Ehtalon», 1986. – 48 s. (In Russian).
9. Teplofizicheskie izmereniya i pribory / E.S. Platunov i dr. – L.: Mashinostroenie, 1986. – 256 s. (In Russian).
10. Bodryakov V.Yu. Korrelyatsionnye kharakteristiki temperaturnogo koehffitsienta ob"emnogo rasshireniya i teploemkosti korunda/ V.Yu. Bodryakov // Steklo i keramika. – 2015. – № 2. – S. 30. (In Russian).

11. Okadzaki K. Tekhnologiya keramicheskikh diehlektrikov / K. Okadzaki. – M.: Ehnergiya, 1976. – 327 s. (In Russian).
12. Rukovodstvo po ehkspluatatsii. Izmeritel' RLC (LCR-781). – M.: ZAO «PriST», 2012. – S. 3. (In Russian).
13. Thermodynamic and Electrophysics of New LaCaCuZnMnO6 Copper – Zinc Manganite of Lanthanum and Calcium / B.K. Kasenov et al // High Temperature. – 2022. – Vol. 60, № 4. – P. 474-478. https://doi.org/10.1134/S0018151X22020225. (In English).
14. Fesenko E.G. Semeistvo perovskita i segnetoehlektrichestvo / E.G. Fesenko. – M.: Atomizdat, 1972. – 248 s. (In Russian).
15. Shannon R.D. Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides / R.D. Shannon // Acta Crystallographica Section A. – 1976. – Vol. 32(5). – R. 751-767. https://doi.org/10.1107/s0567739476001551. (In English).
16. Database of Ionic Radii http://abulafia.mt.ic.ac.uk›shannon/ (In English).
17. Kumok V.N. Problema soglasovaniya metodov otsenki termodinamicheskikh kharakteristik / V.N. Kumok // V sb.: Pryamye i obratnye zadachi khimicheskoi termodinamiki. – Novosibirsk: Nauka, 1987. – S. 108. (In Russian).
18. Exploring the interplay of lattice distortion, magnetic ordering, and dielectric behavior in Dy2NiFeO6−δ synthesized via solution chemistry / S. Punj et al // Scientific Reports, 2026. – Vol.16. – P. 9709. https://doi.org/10.1038/s41598-026-38284-2. (In English).

Қаржыландыру туралы ақпарат

Бұл зерттеу Қазақстан Республикасы Өнеркәсіп және құрылыс министрлігінің Өнеркәсіп комитеті қаржыландыратын 2024-2026 жылдары BR23991563 «Минералдық және техногендік шикізатты өндірудің және кешенді өңдеудің инновациялық ресурс үнемдейтін технологияларын құру» бағдарламасы шеңберінде жүргізілді.

Б.К. Касенов[1], Ш.Б. Касенова[*], Ж.И. Сагинтаева[1], Е.Е. Куанышбеков[1], М.А. Исабаева[2]
[1]Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева,
100009, Казахстан, г. Караганда, ул. Ермекова, 63
[2]Торайгыров университет, 140008, г. Павлодар, Казахстан
[*]e-mail: kasenovashuga@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНЕНИЯ СОСТАВА $LaSrCuVMnO_{7,5}$

*В статье представлены результаты исследования термодинамических и электрофизических характеристик соединения состава $LaSrCuVMnO_{7.5}$. Температурная зависимость теплоемкости соединения состава $LaSrCuVMnO_{7.5}$ исследована на серийном калориметре ИТ-С-400 в пределах температур 298.15–673 К. Полиномиальные уравнения, характеризующие температурную зависимость теплоемкости, определялись с учетом фазовых переходов. Результаты исследования показали, что при температурах 373 и 523 К наблюдаются λ-образные эффекты, которые, возможно, подлежат переходу II рода. На основе ионных инкрементов была определена стандартная энтропия и определены температурные зависимости термодинамических функций H°(T) – H°(298,15), S°(T), Ф**(T) исследуемого соединения с помощью уравнений теплоемкости.*

Исследование температурных зависимостей электрофизических характеристик (диэлектрической проницаемости и электросопротивления) проводилось путем измерения электроемкости соединения состава $LaSrCuVMnO_{7.5}$ на устройстве LCR-781 (Тайвань) на рабочих частотах 1, 5 и 10 кГц, непрерывно в сухом воздухе, в термостатическом режиме с выдержкой в течение определенного времени при каждой фиксированной температуре.

В зоне высоких температур (около 413 К и выше) зафиксировано резкое изменение электрических характеристик, что может свидетельствовать о наличии фазового перехода, а также сопровождается изменением механизмов проводимости и поляризационных процессов.

Набор данных, достигнутый в ходе исследования, служит первичной основной моделирования для прогнозирования теродинамических свойств соединения $LaSrCuVMnO_{7.5}$, а также важной информационной базой, необходимой для паспортизации лабораторного опытного образца соединения.

Ключевые слова: *Термодинамические характеристики, теплоемкость, электропроницаемость, сопротивление, температурная зависимость.*

B.K. Kasenov[1], Sh.B. Kasenova[*], Zh.I. Sagintaeva[1]., E.E. Kuanyshbekov[1], M.A. Isabaeva[2]
[1]Chemical -Metallurgical Institute named after J. Abishev,
100009, Kazakhstan, Karaganda, Yermekova street, 63
[2]Toraigyrov University, 140008, Pavlodar, Kazakhstan
[*]e-mail: kasenovashuga@mail.ru

INVESTIGATION OF THE THERMODYNAMIC AND ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE COMPOUND $LaSrCuVMnO_{7.5}$.

*The article presents the results of a comprehensive study of the thermodynamic and electrophysical properties of the $LaSrCuVMnO_{7.5}$. compound. The temperature dependence of the heat capacity was investigated in the range 298.15–673 K using a serial IT-C-400 calorimeter. Polynomial equations describing the Cp(T) dependence were derived with consideration of the observed thermal anomalies. The experimental results revealed λ-shaped anomalies near 373 and 523 K, which may be associated with possible second-order phase transitions or thermally activated structural rearrangements. Based on the ionic increment method, the standard entropy was estimated, and the temperature dependences of the thermodynamic functions H°(T) − H°(298.15), S°(T), and Φ**(T) were calculated.*

The electrophysical properties of $LaSrCuVMnO_{7.5}$., including dielectric permittivity and electrical resistance, were studied using an LCR-781 meter (Taiwan) at frequencies of 1, 5, and 10 kHz under dry air conditions in a thermostatically controlled режиме. A pronounced change in the electrical characteristics was observed in the high-temperature region above ~413 K, indicating possible changes in charge transport and polarization mechanisms, which may be related to structural or phase transformations in the material.

The obtained results provide important thermodynamic and electrophysical data for understanding the behavior of the $LaSrCuVMnO_{7.5}$. compound and may serve as a basis for further modeling of its functional properties and certification of the synthesized material.

***Key words**: Thermodynamic characteristics, heat capacity, electrical permeability, resistance, temperature dependence.*

Авторлар жөнінде мәлімет

Болат Қоңырұлы Қасенов– химия ғылымдарының докторы, профессор, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының меңгерушісі болған, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: kasenov1946@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9394-0592.

Шұға Болатқызы Қасенова*– химия ғылымдарының докторы, профессор, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының меңгерушісі, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: kasenovashuga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9755-7478.

Жеңісгүл Иманғалиқызы Сағынтаева – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: kai_sagintaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8655-356x.

Ерболат Ермекұлы Қуанышбеков – техника ғылымдарының магистрі Ж. Әбішев атындағы Химия-металлургия институты термохимиялық процестер зертханасының ғылыми қызметкері, Қарағанды қ., Қазақстан; e-mail: mr.ero1986@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9172-9566.

Манар Амангелдіқызы Исабаева – химия ғылымдарының кандидаты, КЕАҚ «Торайғыров университеті» химия және химиялық технология кафедрасыны профессоры, Павлодар, Қазақстан; e-mail: isabaeva.manar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8119-3865.

Сведения об авторах

Булат Кунурович Касенов – доктор химических наук, профессор, был заведующим лабораторией термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: kasenov1946@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9394-0592.

Шуга Булатовна Касенова*– доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: kasenovashuga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9755-7478.

Женисгуль Имангалиевна Сагинтаева – кандидат химических наук, ассоциированный профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: kai_sagintaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8655-356x.

Ерболат Ермекович Куанышбеков – магистр технических наук, ведущий инженер лаборатории термохимических процессов Химико-металлургического института им. Ж.Абишева, Караганда, Казахстан; e-mail: mr.ero1986@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9172-9566.

Манар Амангельдиевна Исабаева – кандидат химических наук, профессор кафедры химии и химических технологии НАО «Торайгыров университет», Павлодар, Казахстан; e-mail: isabaeva.manar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8119-3865.

Information about authors

Bulat Kunurovich Kasenov – Doctor of chemical sciences, professor, was the head of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: kasenov1946@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9394-0592.

Shuga Bulatovna Kasenova* – Doctor of chemical sciences, professor, head of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: kasenovashuga@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9755-7478.

Zhenisgul Imangalievna Sagintaeva – candidate of chemical sciences, associate professor, leading researcher of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: kai_sagintaeva@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8655-356x.

Erbolat Ermekovich Kuanyshbekov – Master of engineering, senior researcher of the laboratory of thermochemical processes of Abishev Chemical-Metallurgical Institute, Karaganda, Kazakhstan; e-mail: mr.ero1986@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9172-9566.

Manar Amangeldievna Isabayeva – Candidate of Chemical Sciences, Professor of the Department of Chemistry and Chemical Technology of Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan; e-mail: isabaeva.manar@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8119-3865.

Редакцияға енуі 03.04.2026
Өңдеуден кейін түсуі 21.05.2026
Жариялауға қабылданды 16.06.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-80

ҒТАХР: 31.15.31

CC BY 4.0
Check for updates

А.Қ. Әбдрәсіл[1], А.Ж. Керимкулова[1]*, Х.С. Рафикова[1], М.А. Кожайсакова[2], Д.Б. Адиканова[1]
[1]Satbayev University,
050000, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Сәтбаев көшесі 22
[2]Алматы технологиялық университеті,
050012, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Төле би көшесі 100
*e-mail: aigul.kerimkulova@satbayev.university

ТАЗА ТЕХНОЛОГИЯЛАР, ЖАСЫЛ ХИМИЯ ЖӘНЕ ТҰРАҚТЫ ДАМУ ҮШІН ТЕРЕҢ ЭВТЕКТИКАЛЫҚ ЕРІТКІШТЕРДІ ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа: *Терең эвтектикалық еріткіштер (ТЭЕ) – экологиялық қауіпсіздігі, төмен уыттылығы және физика-химиялық қасиеттерін бағытты реттеу мүмкіндігі арқасында жасыл химия мен тұрақты дамуда кеңінен қолданылатын жаңа буын жүйелер. Жұмыстың мақсаты – глицерин негізіндегі ТЭЕ жүйелерін синтездеп, олардың физика-химиялық, спектрлік және термиялық сипаттамаларына компоненттер табиғаты мен молярлық қатынастың әсерін кешенді зерттеу.*

Зерттеу барысында глицерин-лимон қышқылы (1:1-1:4) және глицерин-малон қышқылы (1:2-1:4) негізінде барлығы 7 эвтектикалық жүйе синтезделді. 1:2 молярлық қатынасы тұтқырлық пен термиялық тұрақтылықтың қолайлы теңгерімін көрсетті. Тығыздық ρ = 1,30-1,36 г/см³, тұтқырлық (25 °C) η = 550-1100 мПа·с аралығында өзгереді.

ИҚ-спектрлер гидроксил жолағының Δν = −30…−70 см⁻¹ төмен жиілікке ығысуы арқылы күшті сутектік байланыстардың түзілгенін көрсетті.

TGA/DTG/DSC зерттеулері ең жоғары термиялық тұрақтылықты глицерин–лимон қышқылы 1:2 жүйесі көрсеткенін анықтады (T_{onset} = 230 °C). Таиста таза қышқылдармен салыстырғанда балқу температурасының төмендеуі ΔT_m = −114…−125 °C құрап, эвтектикалық жүйелердің түзілуін растады.

Түйін сөздер: *терең эвтектикалық еріткіштер, ультракүлгін спектроскопия, инфрақызыл спектроскопия, молярлық қатынас, эвтектика.*

©А.Қ. Әбдрәсіл, А.Ж. Керимкулова, Х.С. Рафикова, М.А. Кожайсакова, Д.Б. Адиканова, 2026