QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)
TABIIY FANLAR
NATURAL SCIENCES
https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.147

QATTIQ FAZALI REAKSIYA USULIDA OLINGAN POTENSIAL KATOD MATERIALLARI $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ VA $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ NING FAZA HOSIL BO‘LISHI VA TERMIK XATTI-HARAKATI

Ibodullaev Suhrob Abdimajit o‘g‘li
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti, kichik ilmiy xodim
sukhrobibodullayev@gmail.com
+998 97 777 27 15
Pecherskaya Mariya Dmitriyevna
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti, tayanch doktoranti
mariya.pecherskaya@yahoo.com
Butanov Khakimjon Turdimatovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti, f-m.f.d. (PhD)
khakimjan@yahoo.com
Eshonkulov Elyor Baxtiyorovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti, texnika f.d. (PhD)
elyoreshonkulov94@mail.ru
Mamatkulov Shavkat Isroilovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Materialshunoslik instituti, katta ilmiy xodim, f-m.f.d (PhD)
mi-shavkat@yandex.ru

Annotatsiya. Qattiq fazali reaksiya usulida $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ va $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ katod materiallari olindi va ular rentgen difraksiyasi, Ritveld usuli hamda DSC-TGA yordamida o‘rganildi. $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ ortorombik Pnma tuzilishga ega; perovskit fazasi ulushi 1000 °C da 39,2 %, 1200 °C da 27,9 % bo‘lib, qo‘shimcha fazalar lantan oksisulfati va $La(OH)_3$ dir. $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ R-3c fazasini (21,9 %) hosil qiladi. Prekursorlarning termik tahlili massa yo‘qolishining uch bosqichini va 300–380 hamda 486-535 °C dagi ikkita ekzotermik jarayonni ko‘rsatadi, ular kuydirish rejimini belgilaydi.

Kalit so‘zlar: qattiq oksidli yoqilg‘i elementlari, katod materiallari, lantan manganiti, qattiq fazali reaksiya, Ritveld usuli, DSC-TGA, faza hosil bo‘lishi.

Аннотация. Катодные материалы $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ и $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ получены твёрдофазным методом и исследованы методами рентгеновской дифракции с уточнением по Ритвельду и ДСК-ТГ. $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ имеет орторомбическую структуру Pnma; доля перовскитной фазы составляет 39,2 % при 1000 °C и 27,9 % при 1200 °C, примесные фазы - оксисульфат лантана и $La(OH)_3$. $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ образует фазу R-3c (21,9 %). Термический анализ прекурсоров показывает три стадии потери массы и два экзотермических эффекта при 300–380 и 486–535 °C, определяющих режим обжига.

Ключевые слова: твёрдооксидные топливные элементы, катодные материалы, манганит лантана, твёрдофазный синтез, уточнение по Ритвельду, ДСК-ТГ, фазообразование.

Annotation: $La_{0.8}Ca_{0.2}MnO_3$ and $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$ cathode materials were prepared by solid-state reaction and studied by X-ray diffraction with Rietveld refinement and by DSC-TGA. $La_{0.8}Ca_{0.2}MnO_3$ has the orthorhombic Pnma structure; its perovskite fraction is 39.2 % at 1000 °C and 27.9 % at 1200 °C, with lanthanum oxysulfate and $La(OH)_3$ as secondary phases. $La_{0.8}Sr_{0.2}MnO_3$ forms the R-3c phase (21.9 %). Thermal analysis of the precursors shows three mass-loss stages and two exothermic events at 300–380 and 486–535 °C, which determine the firing regime.

Key words: solid oxide fuel cells, cathode materials, lanthanum manganite, solid-state reaction, Rietveld refinement, DSC-TGA, phase formation.

KIRISH. Legirlangan noyob yer manganitlari tijoratga yaqin qattiq oksidli yoqilg‘i elementlarida (QOYE) eng keng tarqalgan katod materiallaridir. ABO_3 perovskitlarini A- yoki B-pozitsiyada modifikatsiyalash tuzilmani barqarorlashtirish va fazaviy o‘tishlarga moyillikni kamaytirish orqali elektrokimyoviy xarakteristikalarning barqarorligini yaxshilaydi [9]. La^{3+} ni radiusi yaqin ishqoriy-yer kationlari (Ca^{2+}, Sr^{2+}) bilan qisman geterovalent almashtirish zaryad tashuvchilar (kovaklar) konsentratsiyasini o‘zgartiradi va shu orqali elektr o‘tkazuvchanlik hamda katalitik faollikni oshiradi [7, 9].

Katod kukunining fazaviy tozaligi muhim ahamiyatga ega. Ortiqcha La_2O_3 va uning gidratlanish mahsuloti $La(OH)_3$ nomaqbul: $La(OH)_3$ hosil bo‘lganda hajmi kengayib, katodning mustahkamligini kamaytiradi, La_2O_3 esa ittriy bilan barqarorlashtirilgan sirkoniy dioksidi (YSZ) bilan reaksiyaga kirishib, katod/elektrolit chegarasida yuqori qarshilikka ega lantan sirkonat qatlamini hosil qiladi [7]. Bu fazalarning paydo bo‘lishi sintez usuliga va issiqlik bilan ishlov berish rejimiga kuchli bog‘liq.

Ushbu ishning maqsadi - potensial katod materiallari $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ ning 1000 va 1200 °C dagi faza hosil bo‘lishini o‘rganish, uni $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ bilan solishtirish va DSC-TGA ma’lumotlari asosida issiqlik bilan ishlov berish rejimini asoslashdir.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODOLOGIYA

Qattiq fazali reaksiya texnik jihatdan oddiy va arzon prekursorlardan foydalanadi [8], bu jihatdan zol-gel [3], birgalikda cho‘ktirish [10] yoki purkab pirolizlash [5] usullaridan afzal, ammo bir fazali mahsulot olish uchun odatda yuqori harorat va uzoq ishlov vaqti talab

etiladi [3, 8]. Shu sababli kuydirish haroratini tanlash qizdirish vaqtida sodir bo‘ladigan termik jarayonlarni bilishni taqozo etadi.

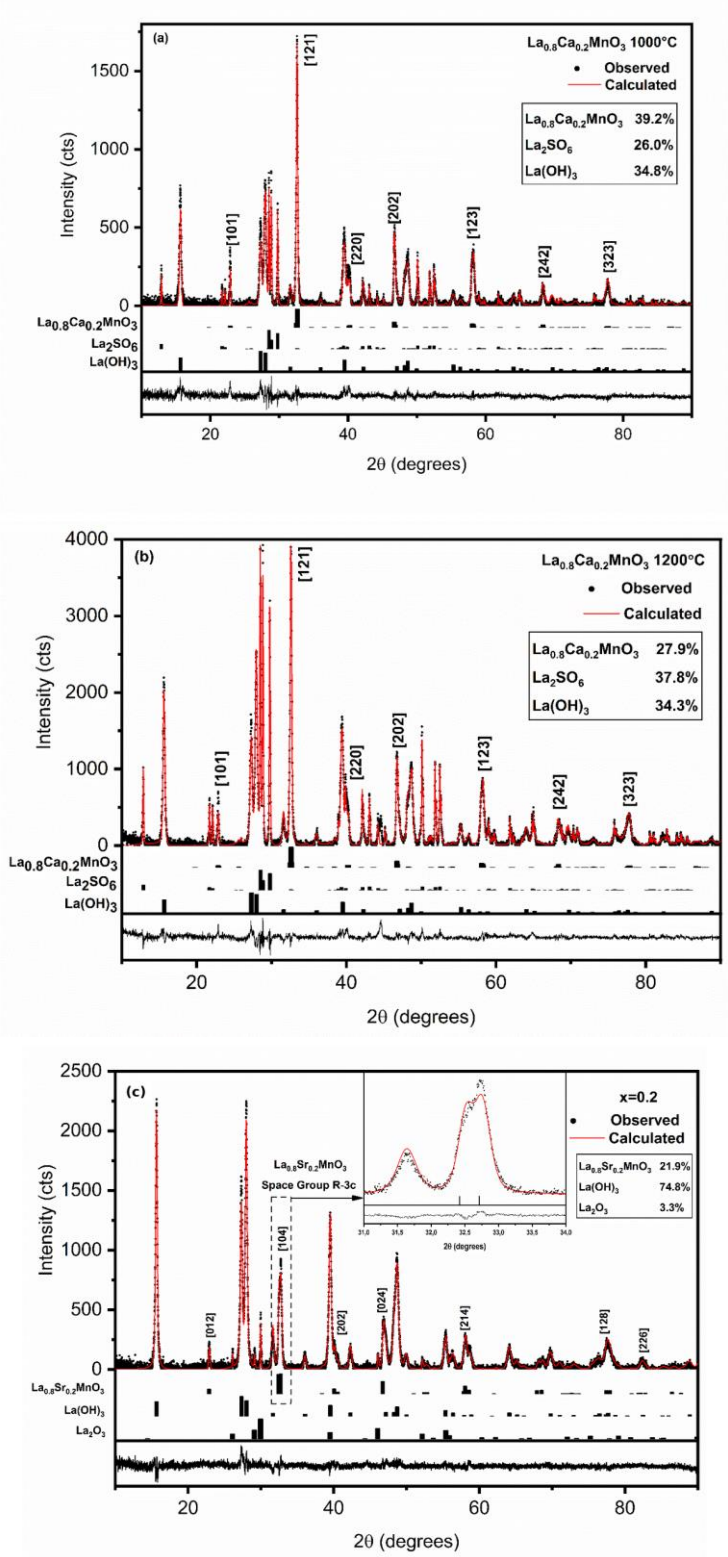
$La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ La_2O_3, MnO va CaO dan, $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ esa La_2O_3, MnO va SrO dan olindi (“LANTAN” texnologiyalar markazi, Rossiya). MnO havoda oksidlanadi deb faraz qilinsa, sintezni idealizatsiyalangan $0{,}4\ La_2O_3 + 0{,}2\ MO + MnO + 0{,}3\ O_2 \rightarrow La_{0,8}M_{0,2}MnO_3$ (M = Ca, Sr) tenglamasi bilan ifodalash mumkin, tortimlar shundan hisoblandi. Formulalar nominal tarkibni bildiradi: mahsulotlardagi kislorod miqdori va Mn^{3+}/Mn^{4+} nisbati aniqlanmagan. Stexiometrik nisbatda olingan oksidlar agat xovonchada izopropil spirti yordamida qayta-qayta maydalandi va reaksiyani tezlashtirish uchun tabletkalarga presslandi. Tabletkalar 5 °C/min qizdirish tezligida 1000–1200 °C da kuydirildi. $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ 1000 va 1200 °C da 20 soat, $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ esa 1000 °C da 10 soat ushlab turildi.

Faza tarkibi PANalytical Empyrean difraktometrida (CuKα, $\lambda = 1{,}54060$ Å) $5° < 2\theta < 90°$ oralig‘ida 0,013° qadam va har bir qadamda 48,2 s sanash vaqti bilan aniqlandi (1200 °C dagi $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ va $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$); 1000 °C da kuydirilgan $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ namunasi 0,007° qadam bilan skanerlandi. Barcha difraktogrammalar xona haroratida, havoda yozib olindi. Ritveld bo‘yicha aniqlashtirish [6] X’Pert HighScore Plus paketi [1] yordamida bajarildi; boshlang‘ich tuzilma modellari sifatida uning bazasidagi ICSD asosidagi etalon naqshlar olindi ($La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ uchun 01-089-8091, La_2SO_6 uchun 01-085-1535, $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ uchun 01-073-6750). Moslik sifati profil R-faktorlari (R_p, R_{wp}, R_{exp}) va GOF = $(R_{wp}/R_{exp})^2$ bilan baholandi. Ca namunalarida afzal yo‘nalish (preferred orientation) aniqlashtirilmadi, bu ignasimon $La(OH)_3$ fazasi ulushiga ta’sir qilishi mumkin.

$La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ va $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ uchun kuydirilmagan prekursor aralashmalarining bir vaqtda DSC-TGA tahlili LINSEIS STA PT-1600 asbobida havoda 130-950 °C oralig‘ida 1,01 °C/min qizdirish tezligida bajarildi. Namunalarning boshlang‘ich massalari taxminan 7,5-7,9 mg bo‘lib, ular keltirilgan massa yo‘qotishlari va ularning foizlaridan baholandi.

NATIJALAR

$La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ difraktogrammalari Pnma fazoviy guruhli ortorombik perovskit tuzilmasi bilan (1-rasm, a, b), $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ niki esa R-3c tuzilmasi bilan (geksagonal o‘rnatishda, 1-rasm, c) tavsiflanadi. Aniqlashtirilgan faza ulushlari 1-jadvalda keltirilgan. $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ da ortorombik perovskit ulushi 1000 °C dan keyin 39,2 %, 1200 °C dan keyin 27,9 % ni tashkil etadi; qo‘shimcha fazalar lantan oksisulfati (La_2SO_6; 26,0 va 37,8 %) va $La(OH)_3$ (34,8 va 34,3 %). $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ da R-3c fazasi 21,9 %, $La(OH)_3$ 74,8 % va La_2O_3 3,3 % ni tashkil etadi, bu oldingi ma’lumotlarga o‘xshash [7].



1-rasm. a) $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ (1000 °C), b) $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ (1200 °C) va c) $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ (1000 °C) namunalarining Ritveld bo‘yicha aniqlashtirilgan difraktogrammalari. Tajriba ma’lumotlari nuqtalar, hisoblangan naqsh qizil uzluksiz chiziq bilan ko‘rsatilgan; vertikal chiziqlar asosiy va qo‘shimcha fazalar (a, b da La_2SO_6 va $La(OH)_3$; c da $La(OH)_3$ va La_2O_3) reflekslari o‘rnini bildiradi; pastki chiziq tajriba va hisoblangan naqshlar orasidagi farq

Jadval 1

Ritveld bo‘yicha aniqlashtirilgan faza tarkibi, %

Namuna	Kuydirish	Asosiy faza (fazoviy guruh)	Asosiy faza	Lantan oksisulfati	La(OH)3	La2O3
La0,8Ca0,2MnO3	1000 °C, 20 soat	Pnma	39,2	26,0	34,8	–
La0,8Ca0,2MnO3	1200 °C, 20 soat	Pnma	27,9	37,8	34,3	–
La0,8Sr0,2MnO3	1000 °C, 10 soat	R-3c	21,9	–	74,8	3,3

2-jadvalda panjara parametrlari va yacheyka hajmlari keltirilgan. $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ uchun parametrlar etalon tuzilma (ICSD 98-008-8405 [4]) bilan yaxshi mos keladi; kuydirish harorati 1000 dan 1200 °C gacha oshganda hajm 234,03 dan 233,83 $Å^3$ gacha kamayadi, ya’ni etalon qiymat 233,78 $Å^3$ ga yaqinlashadi, bu asosan b parametrning (7,7550 → 7,7509 Å) o‘zgarishi hisobiga. $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ ning hajmi (350,22 $Å^3$) etalonga [2] nisbatan taxminan 0,5 % kichik. Ca va Sr yacheykalari turli simmetriyali (Pnma va R-3c) va turli Z ga ega, shuning uchun ularning hajmlarini bevosita solishtirib bo‘lmaydi.

Jadval 2

Panjara parametrlari va yacheyka hajmi

Namuna	Manba	a, Å	b, Å	c, Å	V, Å3
La0,8Ca0,2MnO3, 1000 °C	Tajriba	5,4739	7,7550	5,5129	234,03
	[4]	5,4800	7,7480	5,5060	233,78
La0,8Ca0,2MnO3, 1200 °C	Tajriba	5,4724	7,7509	5,5129	233,83
	[4]	5,4800	7,7480	5,5060	233,78
La0,8Sr0,2MnO3, 1000 °C	Tajriba	5,5059	5,5059	13,3398	350,22
	[2]	5,5180	5,5180	13,3440	351,87

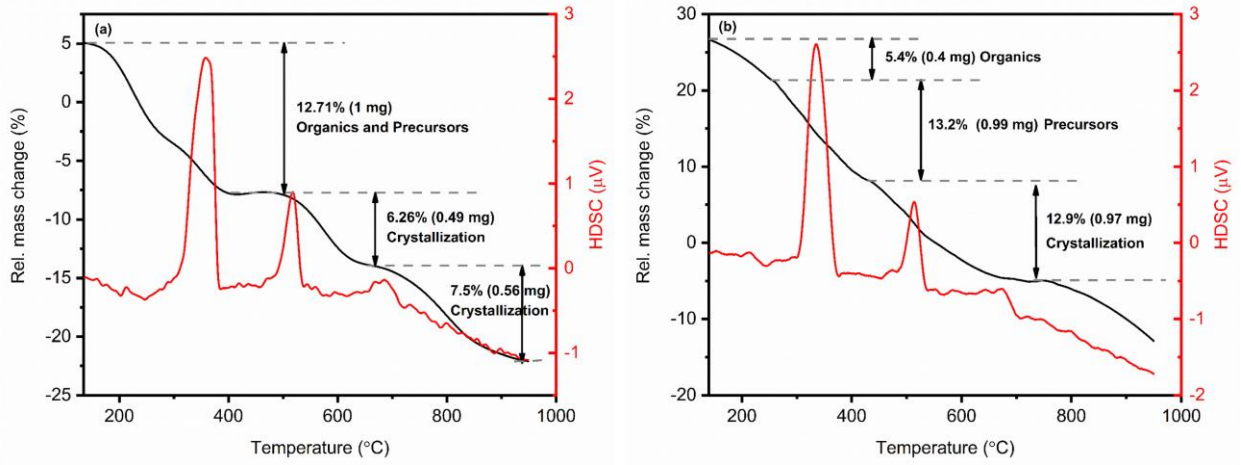
Ritveld bo‘yicha aniqlashtirishning moslik ko‘rsatkichlari 3-jadvalda keltirilgan. GOF qiymatlari 1,52 – 2,39 oralig‘ida bo’lib, tajriba va hisoblangan profillar orasidagi moslikni tavsiflaydi.

Jadval 3

Ritveld bo‘yicha aniqlashtirishning moslik ko‘rsatkichlari

Namuna	Rp	Rwp	Rexp	GOF
La0,8Ca0,2MnO3, 1000 °C	5,61	7,69	6,07	1,61
La0,8Ca0,2MnO3, 1200 °C	3,86	5,21	3,37	2,39
La0,8Sr0,2MnO3, 1000 °C	4,70	6,12	4,96	1,52

DSC-TGA egri chiziqlari 2-rasmda keltirilgan. Izohlangan massa yo‘qotishlari $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ uchun 2,05 mg (taxminan 26,5 %), taxminan 940 °C da tugaydi, $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ uchun esa 2,36 mg (taxminan 31,5 %), 730 °C gacha. Ikkala namunada ham massa yo‘qolishining uch bosqichi kuzatiladi (4-jadval). Sr namunasida massa taxminan 750 dan 950 °C gacha yana taxminan 8 % ga kamayishda davom etadi (egri chiziqdan o‘qilgan; jadvalga kiritilmagan).



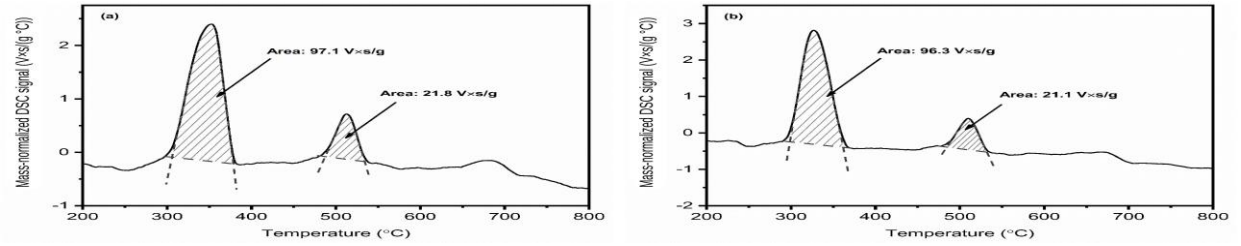
2-rasm. a) $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ va b) $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ ning DSC-TGA egri chiziqlari (qizdirish tezligi 1,01 °C/min, 950 °C gacha)

Jadval 4

TGA bo‘yicha massa yo‘qolish bosqichlari

Namuna	Harorat oralig‘i, °C	Massa yo‘qolishi, mg	Massa yo‘qolishi, %
La0,8Ca0,2MnO3	140–400	1,00	12,7
	400–670	0,49	6,3
	670–940	0,56	7,5
La0,8Sr0,2MnO3	140–250	0,40	5,4
	250–430	0,99	13,2
	430–730	0,97	12,9

Ekzotermik jarayonlarning harorat oralig‘i va tegishli cho‘qqi yuzalari DSC egri chiziqlaridan hisoblandi (3-rasm, 5-jadval). Ikkala namunada ham taxminan 300–380 va 486–535 °C da ikkita jarayon kuzatiladi, ularning harorati va cho‘qqi yuzalari deyarli bir xil (97,1 ga nisbatan 96,3 va 21,8 ga nisbatan 21,1 V·s/g, asbob birliklarida).



3-rasm. a) $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ va b) $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ ning massaga normallashtirilgan DSC egri chiziqlari (kalibrlanmagan asbob birliklarida), integrallangan cho‘qqi yuzalari bilan

Jadval 5

DSC tahlili natijalari

Namuna	T boshlang‘ich, °C	T yakuniy, °C	Cho‘qqi yuzasi, V·s/g
La0,8Ca0,2MnO3	306,0	380,0	97,1
	487,0	535,0	21,8
La0,8Sr0,2MnO3	298,2	361,8	96,3
	486,0	532,1	21,1

MUHOKAMA

$La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ ni kuydirish haroratini 1000 dan 1200 °C gacha oshirish bu sharoitlarda fazaviy tozalikni yaxshilamadi: perovskit ulushi kamaydi, oltingugurt saqlovchi faza ko‘paydi, $La(OH)_3$ ulushi esa deyarli o‘zgarmadi. Ca namunalari 20 soat, Sr namunasi 10 soat ushlab turilgan, shuning uchun ularning faza tarkiblari orasidagi farqni faqat dopantga bog‘lab bo‘lmaydi. Oltingugurt, ehtimol, pechda issiqlik bilan ishlov berish vaqtida yoki toza bo‘lmagan reagent bilan kirgan; bu tekshirilmagan va pech hamda prekursorlar tozaligini tekshirishni talab qiladi. $La(OH)_3$ ning mavjudligi sintez vaqtida erituvchi qo‘shilishi va havoda La_2O_3 ning gidratlanishi bilan bog‘liq. Bir fazali mahsulot olish yuqori haroratda va uzoq vaqt davomida ko‘p bosqichli sintezni talab qilishi aniq [3, 8]. Kuchli sochuvchi La asosli fazalarni saqlovchi ko‘p fazali kukunlarning faza ulushlari sistematik xatolarga ega, shu sababli ular yarim miqdoriy (semi-quantitative) deb qaraladi.

2-rasmda Ca namunasining birinchi bosqichi (taxminan 130-400 °C, 12,71 %, 1,00 mg) organik moddalar va prekursorlarning yo‘qolishi, ikkinchi (taxminan 400-670 °C, 6,26 %, 0,49 mg) va uchinchi (taxminan 670–940 °C, 7,5 %, 0,56 mg) bosqichlari esa kristallanish sifatida belgilangan. Sr namunasi uchun birinchi bosqich (140-250 °C, 5,4 %) organik moddalarga, ikkinchisi (250-430 °C, 13,2 %) prekursorlarga, uchinchisi (430-730 °C, 12,9 %) kristallanishga mos keladi. Ikkala namunada ham asosiy ekzotermik DSC cho‘qqisi (Ca uchun taxminan 358 °C, Sr uchun 335 °C) eng keskin massa yo‘qolishiga to‘g‘ri keladi, bu organik tarkibiy qismlarning yonishi va prekursorlarning parchalanishiga xos, taxminan 515 °C da esa kuchsizroq cho‘qqi paydo bo‘ladi. Namuna massasi kichik bo‘lgani uchun egri chiziqdagi katta o‘zgarishlar ko‘rinmaydi, lekin taxminan 600-720 va 800-850 °C da egri chiziq og‘ishining o‘zgarishi aniqlandi.

Dopantning harorat va cho‘qqi yuzalariga ta’sirining kuchsizligi bu jarayonlarni Ca yoki Sr kationi emas, balki aralashmaning umumiy La va Mn saqlovchi komponentlari belgilashini ko‘rsatadi. Kuydirish rejimlari DSC-TGA natijalaridagi ekzotermik jarayonlar haroratlari asosida tanlandi. Ca namunasining massasi taxminan 940 °C da doimiy bo‘ladi, Sr namunasi esa 950 °C da ham massa yo‘qotishda davom etadi; shu sababli massa yo‘qolishini tugatish uchun kuydirish harorati 950 °C dan yuqori, 1000-1200 °C qilib belgilandi. Elektr o‘tkazuvchanlik va elektrokimyoviy o‘lchovlar bajarilmadi; shu sababli materiallar potensial katod materiallari deb qaraladi va xulosalar faqat faza hosil bo‘lishi hamda termik xatti-harakatga tegishli.

XULOSA

1. Qattiq fazali reaksiya bilan olingan $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ ortorombik tuzilmada (Pnma) kristallanadi. Perovskit fazasi ulushi 1000 °C da 39,2 %, 1200 °C da 27,9 % (20 soat); qo‘shimcha fazalar lantan oksisulfati (26,0 va 37,8 %) va $La(OH)_3$ (34,8 va 34,3 %). Haroratni oshirish fazaviy tozalikni yaxshilamadi.

2. $La_{0,8}Ca_{0,2}MnO_3$ yacheyka hajmi 1000 dan 1200 °C ga o‘tganda 234,03 dan 233,83 $Å^3$ gacha kamayadi va etalon qiymatga (233,78 $Å^3$) yaqinlashadi. $La_{0,8}Sr_{0,2}MnO_3$ (1000 °C, 10 soat) R-3c fazasini (21,9 %) 74,8 % $La(OH)_3$ va 3,3 % La_2O_3 bilan hosil qiladi.

3. DSC-TGA massa yo‘qolishining uch bosqichini (Ca uchun taxminan 940 °C gacha 2,05 mg; Sr uchun 730 °C gacha 2,36 mg) va taxminan 300-380 va 486-535 °C dagi ikkita ekzotermik jarayonni aniqlaydi, ularning harorati va cho‘qqi yuzalari ikkala dopant uchun deyarli bir xil.

4. Shu asosda 1000-1200 °C kuydirish harorati tanlandi, bu massa yo‘qolishi tugaydigan haroratdan yuqori; bir fazali material olish ko‘p bosqichli rejimni hamda pech va prekursorlar tozaligi nazoratini talab qiladi.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI (REFERENCES)

1. Degen, T., Sadki, M., Bron, E., König, U., & Nénert, G. (2014). The HighScore suite. Powder Diffraction, 29(S2), S13–S18.

2. Eriksson, S.-G., Ivanov, S., Eriksen, J., Valkeapää, M., Johansson, J. G., Rundlöf, H., McGreevy, R., Berastegui, P., Björnsson, P., Rubhausen, M., Bäckström, J., Käll, M., & Börjesson, L. (2001). A neutron powder diffraction and inelastic light scattering study of (La,Sr)$MnO_{3+\delta}$. Materials Science Forum, 378–381, 505–510. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.378-381.505

3. Gaudon, M., Laberty-Robert, C., Ansart, F., Stevens, P., & Rousset, A. (2002). Preparation and characterization of $La_{1-x}Sr_xMnO_{3+\delta}$ ($0 \leq x \leq 0.6$) powder by sol–gel processing. Solid State Sciences, 4, 125–133. https://doi.org/10.1016/S1293-2558(01)01208-0

4. Hibble, S. J., Cooper, S. P., Hannon, A. C., Fawcett, I. D., & Greenblatt, M. (1999). Local distortions in the colossal magnetoresistive manganates $La_{0.70}Ca_{0.30}MnO_3$, $La_{0.80}Ca_{0.20}MnO_3$ and $La_{0.70}Sr_{0.30}MnO_3$ revealed by total neutron diffraction. Journal of Physics: Condensed Matter, 11, 9221–9238. https://doi.org/10.1088/0953-8984/11/47/308

5. Mukhopadhyay, J., Maiti, H. S., & Basu, R. N. (2013). Synthesis of nanocrystalline lanthanum manganite with tailored particulate size and morphology using a novel spray pyrolysis technique for application as the functional solid oxide fuel cell cathode. Journal of Power Sources, 232, 55–65. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2012.12.113

6. Rietveld, H. M. (1969). A profile refinement method for nuclear and magnetic structures. Journal of Applied Crystallography, 2, 65–71. https://doi.org/10.1107/S0021889869006558

7. Sammes, N. M., & Roy, B. R. (2009). Fuel cells – solid oxide fuel cells | cathodes. In Encyclopedia of electrochemical power sources (pp. 25–33). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-044452745-5.00252-5

8. Shu, Q., Zhang, J., Yan, B., & Liu, J. (2009). Phase formation mechanism and kinetics in solid-state synthesis of undoped and calcium-doped lanthanum manganite. Materials Research Bulletin, 44, 649–653. https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2008.06.022

9. Sun, C., Hui, R., & Roller, J. (2010). Cathode materials for solid oxide fuel cells: a review. Journal of Solid State Electrochemistry, 14, 1125–1144. https://doi.org/10.1007/s10008-009-0932-0

10. Uskoković, V., & Drofenik, M. (2006). Synthesis of lanthanum–strontium manganites by oxalate-precursor co-precipitation methods in solution and in reverse micellar microemulsion. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 303, 214–220. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2005.06.034