



ХҒТАР 29.19.22

<https://doi.org/10.32523/2616-6836-2024-149-4-162-177>

Ғылыми мақала

Жоғары энтропиялы $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}(Eu \text{ немесе } Ce)_xAl_5O_{12}$ қосылыстарының синтезі мен оптикалық қасиеті

С.А.Пазылбек*¹, А.Карейва², О. Шалхар², Б.Е. Жакипбаев³, Д.К. Ескермесов⁴,
Б.З. Әбдіқадыр⁵, М.Т. Катбаева¹, К.Ж. Мүтәлі¹

¹Ж.А. Тәшенев атындағы Университет, Шымкент, Қазақстан

²Вильнюс университеті, Вильнюс, Литва

³Академик Ә. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан

⁴Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті, Өскемен, Қазақстан

⁵Ө. Жәнібеков атындағы Оңтүстік Қазақстан педагогикалық университеті, Шымкент, Қазақстан

(E-mail: ¹sapargali.pa@gmail.com)

Аңдатпа. Золь-гель әдісімен синтезделген жаңа жоғары энтропиялы ($Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}(Eu \text{ немесе } Ce)_xAl_5O_{12}$; $x=0.06, 0.09, 0.12$) гранат кристалдық құрылымы бар қосылыстардың ұнтақты рентгендік дифракциялық талдау (XRD) нәтижелері бір фазалы кубтық құрылым екенін көрсетті. Гранаттық құрылымның монокристалдық қосылыстарының XRD талдау нәтижелеріне сәйкес Ca^{2+} , Li^+ және Eu^{3+} , Ce^{3+} иондары мөлшерінің артуымен гранаттық фазасы негізгі кристалдық фаза ретінде анықталады. Синтезделген үлгілердің рентгендік дифракциялық талдауларының нәтижелерін инфрақызыл (FT-IR)-спектроскопиялық деректері толықтай растайды. FT-IR спектрлерінің $1000-400 \text{ см}^{-1}$ аймағында гранаттарға тән қарқынды шыңдар барлық үлгілер үшін бірдей көрінді. Гранаттардың $1000-400 \text{ см}^{-1}$ аймағында бөлінген бірнеше қарқынды шыңдар тетраэдрлік бірліктердің созылу режимін сипаттайды. Жоғары энтропиялы гранаттардың сканерлік электрондық микроскоп (СЭМ) көмегімен алынған беттік морфологиясы барлық үлгілер үшін өте ұқсас болып және көлемді дәндер сфералық бөлшектерден тұрып, олардың орташа өлшемі шамамен $50-120 \text{ нм}$ болды. Есептелген ұяшық параметрлері алмастыру деңгейінде ешқандай үдеріссіз $12.316-12.322 \text{ нм}$ аралығында болды, яғни жоғары энтропиялы гранат материалдарының түзілгендігін нақтылай түседі. Әр түрлі қоспалары бар гранат құрылым қосылыстарының нақты химиялық құрамы ICP-OES әдісі бойынша анықталды. Қозу және жарық шығару спектрлері бойынша золь-гель әдісі жоғары энтропиялы гранат кристалдық құрылымы бар қосылыстарды дайындауға тиімді және олар жаңа фосфорларды жасау үшін матрица ретінде қолдануға болады.

Түйін сөздер: Золь-гель, гранат, XRD, жоғары энтропия, рентген, дифракция.

Жіберілді 16.10.2024. Өзгертілді 24.10.2024. Қабылданды 19.11.2024. Онлайн қол жетімді 25.12.2024

¹* хат-хабар авторы

Кіріспе

Қатты күйдегі лазерлер мен талшықты-оптикалық телекоммуникациялық жүйелерде белсенді орта ретінде қызмет ететін маңызды материалдың бірі ретінде құрамында өтпелі металл немесе лантаноид элементі (Ln) бар иттрий алюминий гранаты ($Y_3Al_5O_{12}$, YAG) болып табылады. Сиреккездесетін жер иондарымен белсендірілген YAG оксидтері катодты-сәулелік түтікшелерде (проекциялық теледидарда), өріс эмиссиясында, вакуумдық флуоресцентті және электролюминесцентті дисплейлерде фосфор ретінде және Рентген мен позитронды-эмиссиялық томографияда сцинтиллятор ретінде кеңінен қолданылады [1,2].

Цериймен белсендірілген YAG-ақ жарық диодтарындағы (жарық шығаратын диодтар) «сары» фосфор ретінде айтарлықтай назар аударуда [3]. Сондықтан қазіргі кезеңде YAG:Ce коммерциялық ақ жарық шығаратын диодты шамдардағы таңдаулы фосфор болып саналады. Негізінде фосфор классикалық оксидті балқыту процесі арқылы алынады [4]. YAG:Ce төменгі температурада алу арзан әдіс болып саналғандықтан аса қатты қызығушылық туғызды [5-8]. Лантаноидтармен белсендірілген YAG-тың люминесценциялық қасиеттері белсендіргіштің құрамы мен концентрациясына да өте сезімтал екенін көрсетті [9-12]. Сонымен қатар гранаттардың физикалық қасиеттері белсендіргіштің табиғаты мен концентрациясына ғана емес, олардың фазалық тазалығына да байланысты екені белгілі [13,14]. Мәселен, әртүрлі әдістермен синтезделген YAG:Ce үлгілері үшін әртүрлі морфология байқалды [6]. Атап айтқанда, Ce^{3+} -көбірек қосылғанда YAG кристаллдарының қарқынды люминесценциясы байқалады. Сонымен қатар, кішігірім мөлшері бар үлгілердің жарық шығару спектрлері Ce^{3+} зонасының қызыл ығысуын көрсетті. Керісінше, [15,16] авторлары әр түрлі әдістермен синтезделген лантаноидтармен белсендірілген YAG үлгілерінің морфологиясы ұқсас екенін көрсетті.

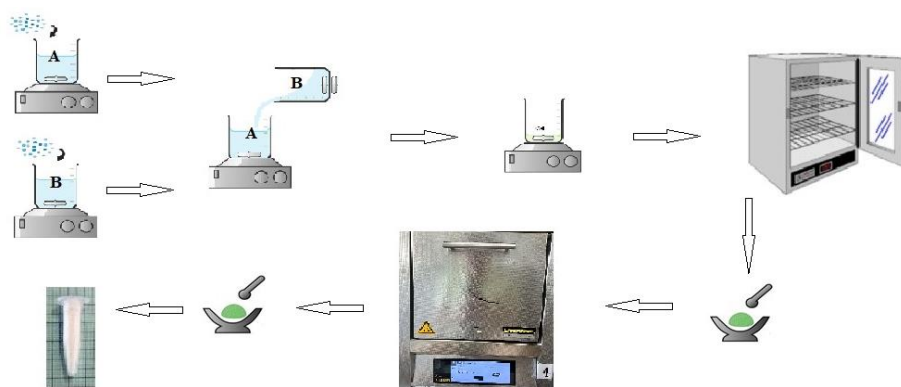
Алайда, люминесценцияның өзгеруі YAG:Tb қоспағанда әртүрлі алынған үлгілердегі қарқындылық анықталды. Морфологиялық тұрғыдан алғанда, тек YAG кристалды және аморфты күйлері шығару спектрлерінде айырмашылықтарды көрсетті, ал үлгілерде Ln^{3+} жарық шығаруының спектрлік ығысуы байқалмады. [6] сілтемеден айырмашылығы күшті фотолюминесценция (PL) кішігірім мөлшерде Eu^{3+} - белсендірілген YAG кристалдарында байқалды [17,18].

YAG мен YGG ($Y_3Ga_5O_{12}$, YGG) текше гранат құрылымында кристалданады, оның жалпы формуласы $A_3B_2C_3O_{12}$: A, B және C катиондары сәйкесінше оттегімен 8 -, 6-және 4 есе үйлестірілген [19]. B және C учаскелерін алып жатқан Ga^{3+} иондары Al^{3+} иондарынан үлкен болғандықтан (Al^{3+} : 0,535 және 0,39 Å, Ga^{3+} : 0,620 және 0,47 Å, сәйкесінше 6 және 4 есе үйлестіру үшін [20]), RE3Ga5O12 гранаталары RE3Al5O12-дегі RE = Gd-Лумен салыстырғанда RE = Nd-Lu кең аймағында тұрақты болады [19].

Әдіснама

$Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ және $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ ($x=0.06,0.09,0.12$) гранат үлгілері золь-гель әдісімен синтезделді. Бастапқы гельдер аналитикалық сортты реагенттердің

стехиометриялық мөлшерін қолдану арқылы дайындалды, атап айтқанда: иттрий нитратының гидраты $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, кальций нитратының гидраты $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$, литий нитраты $LiNO_3$ және церий нитратының гидраты $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, еуропий оксиді Eu_2O_3 , сонымен қатаргаллий оксиді Ga_2O_3 немесе алюминий нитратының наногидраты $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$. Лимон қышқылы $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ комплексті құрушы ретінде таңдалды, ал азот қышқылы NO_3 еріткіш ретінде пайдаланылды. Бірінші галлий оксиді 3 мл концентрацияланған азот қышқылы HNO_3 бар 100 мл дисстиляцияланған суда ерітілді. Әрі қарай, кальций, литий және церий мен еуропий нитраттары оксиді бар ерітіндіге біртіндеп ерітілді. Лайланған ерітіндіні 5 сағат бойы $200^\circ C$ температурада көрінетін шыны қақпақпен жабылған стаканға араластырып қыздырылды. Бұл ерітіндіге үздіксіз араластыра отырып, лимон қышқылы (молярлық қатынасы 1:1) қосылды. Ерітінділерді баяу булану арқылы (~ 10 сағ) $140^\circ C$ температурада стаканды ашып араластырғаннан кейін мөлдір $Y-Ca-Ce/Eu-Li-Al-O$ ерітінділері мөлдір гельдерге айналды. Пеште кептірілген ($150^\circ C$) гель ұнтақтары агаттан жасалған ұнтақтағышта ұнтақталып, сазбалшықтан (топырақта болатын алюминий тотығы) жасалған тигельдеріне салынып, ауада $1000^\circ C$ температурада 5 сағат қыздырылды (қыздыру жылдамдығы $5^\circ C/\text{мин}$). Әр түрлі химиялық құрамы бар гранаттардың золь-гель синтезі бойынша жасалған сызбасы 1-суретте келтірілген.



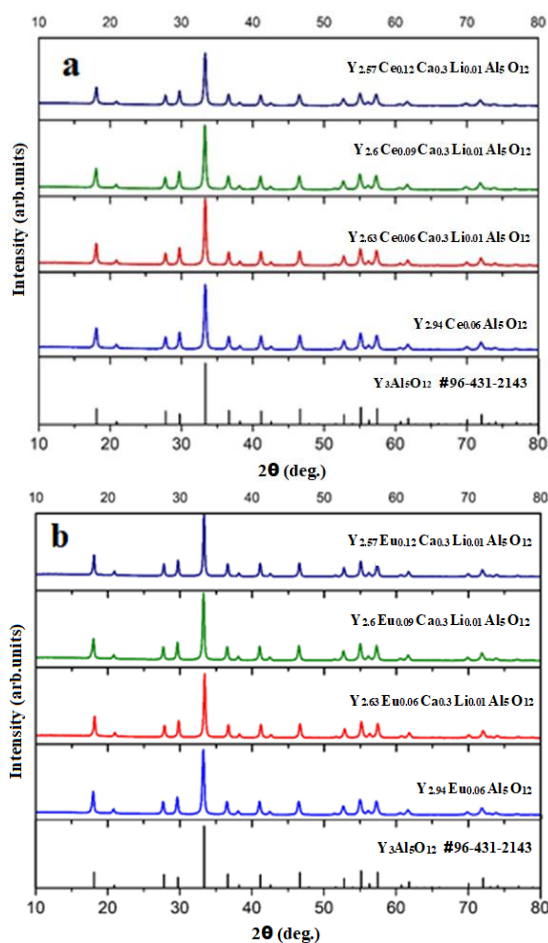
Сурет 1. Әр түрлі химиялық құрамы бар гранаттардың золь-гель синтезінің сызбасы

Рентгендік дифракцияны (XRD) зерттеу $Cu\ K\alpha$ ($\lambda = 1,5408 \text{ \AA}$) сәулеленуін қолдана отырып, Rigaku D/max-2000 Рентгендік диффрактометрінде жүргізілді. Инфрақызыл спектрлері ATR аксессуары бар Perkin Elmer Spectrum TWO FTIR спектрофотометрі көмегімен алынды. Синтездеп алынған үлгілердің морфологиясы Hitachi SU-70 сканерлеуші электрондық микроскоп (FE-SEM) арқылы алынып, талдау жасалды. VUV (Edinburgh Instruments FS920) спектрометрі фосфордың люминесценциясын алу үшін қолданылды. Спектрометрдің қозу көзі ретінде Acton Research Corporation (ARC) компаниясының VUV монохроматоры VM504 және дейтерий шамы жабдықталған. VUV су мен оттегінің жұтылуына жол бермеу үшін сынама камерасы кептірілген азотпен шайылды. Қозу (қозу саңылауы 1 мм, жарық шығару саңылауы 2 нм) және жарық шығару (қозу саңылауы 2 мм, жарық шығару саңылауы 1 нм) спектрлері сәйкесінше

150-375 нм және 200-800 нм аралығында тіркелді. Жарық шығару спектрлері ҰФЗ (Ұлттық Физикалық Зертхана, Ұлыбритания) сертификаты бар вольфрам қыздыру шамынан алынған түзету файлы арқылы түзетілді. Үлгілердің салыстырмалы VUV қозу қарқындылығы үлгілердің өлшенген қозу спектрлерін натрий салицилатының ($o\text{-C}_6\text{H}_4\text{ONCOONa}$) қозу спектрімен бөлу арқылы түзетілді.

Нәтижелер және талқылау

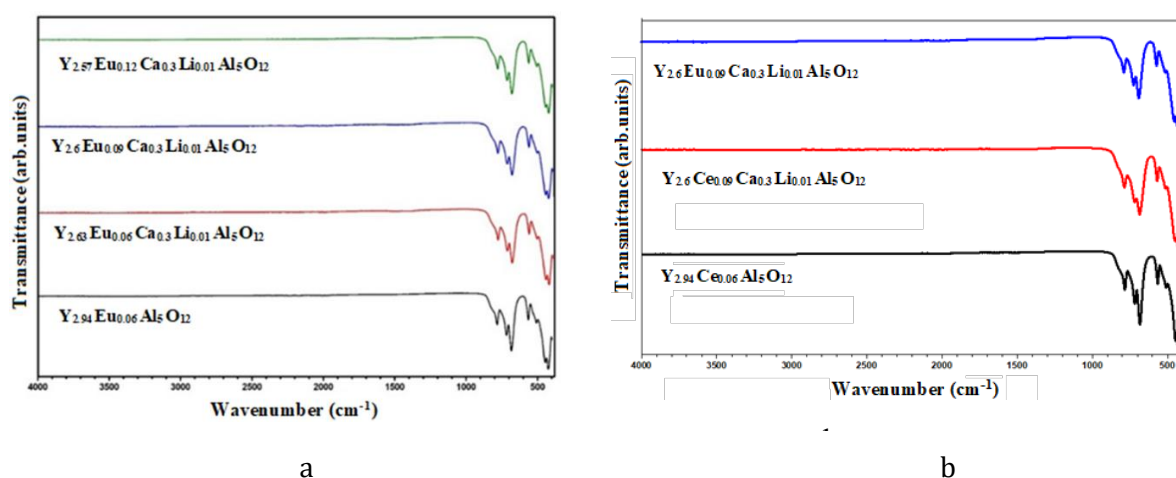
$Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ (а) және $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ (б) ($x=0.06, 0.09, 0.12$) үлгі ұнтақтарынан алынған рентгендік XRD дифрактограммасы 2-суретте келтірілген. Алынған үлгілер салыстыру үшін берілген анықтамалық үлгілермен үйлесімді жақсы сәйкес келеді. Барлық синтезделген материалдар бір фазалы болып табылады, бұл YAG жүйелерінде толық қатты ерітінділер алынатынын көрсетеді. Біз ойлағандай октаэдрлік және тетраэдрлік тор бөліктерінде орналасқан Al әртүрлі иондық радиустарына байланысты шың күйінде кейбір өзгерістер бар. Al рентгендік шашырау қуатының әртүрлі болуына байланысты XRD үлгілеріндегі ең жоғары қарқындылықтар да аздап өзгереді [21].



Сурет 2. Ауада 5 сағат бойы 1000 ° C температурада синтезделген

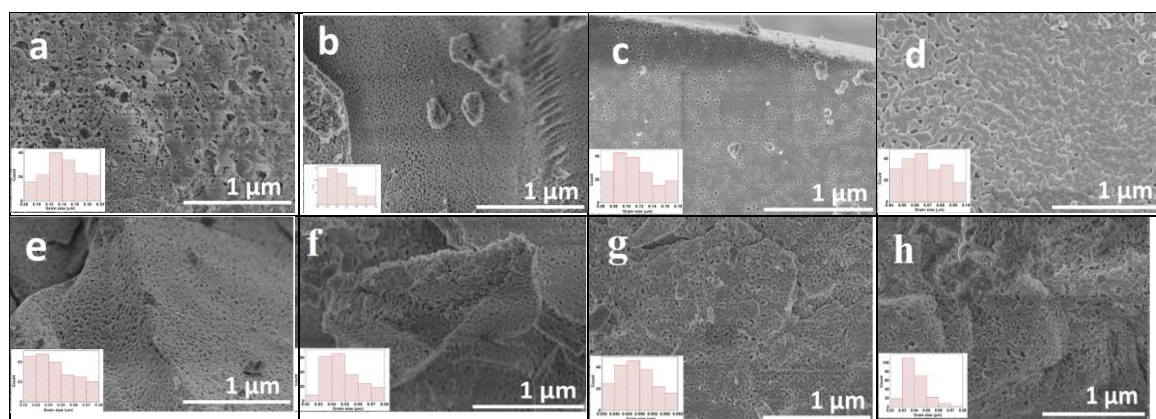
$Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ (а) және $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ (б) ($x=0.06,0.09,0.12$) үлгілерінің рентгендік дифрактограммасы

1000 С температурада 5 сағат күйдіргеннен кейін алынған $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ (а) және $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ (б) ($x=0.06,0.09,0.12$) үлгілерінің ИҚ спектрлері 3-суретте келтірілген. Барлық IR спектрлерінде 500-900 cm^{-1} аймағында бірнеше қарқынды жұтылу жолақтарын көруге болады. Негізгі ерекшелікті болатын гранат құрылымындағы оқшауланған $[AlO_4]$ тетраэдрдің және $[AlO_6]$ октаэдрлік бірліктердің созылу режимдеріне жатқызуға болады [14, 22, 23], яғни бұл жолақтар кристалды YAG түзілуіне сәйкес келеді. Әдебиеттерге сәйкес, бұл шыңдар гранат құрылымының додекаэдрлік бірліктеріндегі металл оттегінің қозуына да сәйкес келуі мүмкін [24,25].



Сурет 3 $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ (а) және $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ (б) ($x=0.06,0.09,0.12$) үлгілерінің ИҚ спектрлері

Золь-гель әдісінің көмегімен 1000°C температурада синтезделген $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}Ce_x$ мен $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}Eu_x$ ($x=0.06,0.09,0.12$) гранаттарының морфологиялық ерекшеліктері 4-суретте көрсетілген. СЭМ деректерін талдау беттік морфологияны, сондай-ақ бөлшектердің орташа өлшемін бағалауға мүмкіндік берді. Синтезделген көп компонентті гранаттардың беттік-микроқұрылымдық ерекшеліктері химиялық құрамының өзгеруінен тәуелсіз екендігі бір-бірімен тығыз орналасқан бөлшектер арасындағы байланыс арқылы өте жақсы көрінеді. Сонымен қатар СЭМ кескіндерінен жеке сфералық бөлшектердің бір-бірімен байланысып, нано түйіршікті желіні құрайтынын көруге болады. Бөлшектердің өлшемі ImageJ бағдарламалық жасақтаманың көмегімен бағаланды және синтезделген гранаттардың химиялық құрамына байланысты өлшемі шамамен 50-120 нм болатын сфералық бөлшектерден тұратындығы анықталды. Осы жаңа қосылыстардың құрылымына басқа лантаноид элементтерін енгізу арқылы беттік морфология өзгеріссіз қалатындығын көруге болады.



Сурет 4. $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$ (a):Ce_x-a)x=0.12; b) x=0.09; c) x=0.06; d) $Y_{2,94}Al_5O_{12}Ce_{0,06}$; $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12};Eu_x$ -e)x=0.12; f) x=0.09; g) x=0.06; h) $Y_{2,94}Al_5O_{12}Eu_{0,06}$ үлгілернің СЭМ суреттері

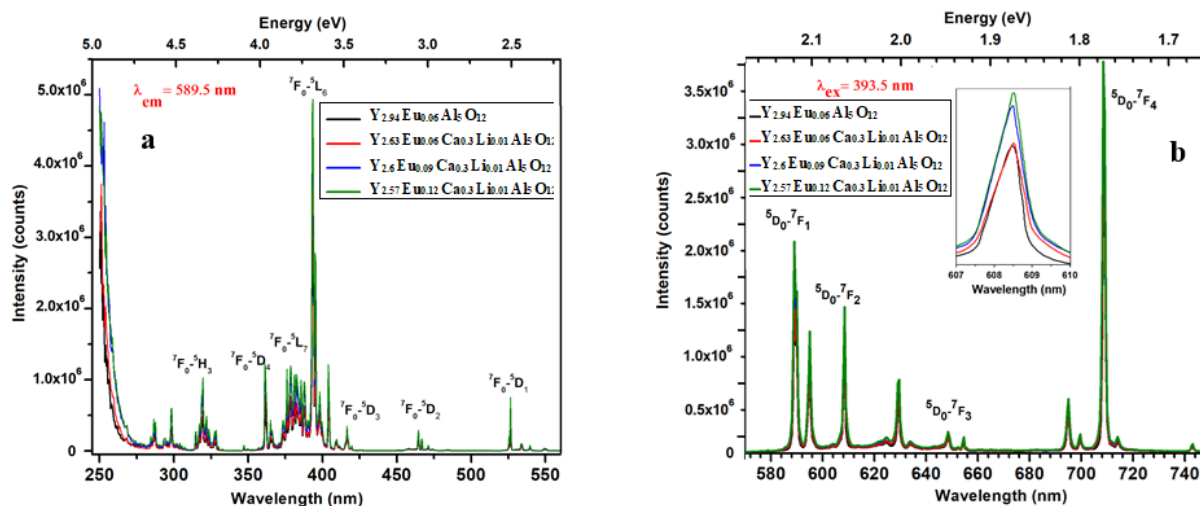
Есептелген ұяшық параметрлері алмастыру деңгейінде ешқандай үдеріссіз 12.316–12.322 нм аралығында болды, яғни жоғары энтропиялы гранат материалдарының түзілгендігін нақтылай түседі. Әр түрлі қоспалары бар гранат құрылым қосылыстарының нақты химиялық құрамы ICP-OES әдісі бойынша анықталды. Алынған нәтижелер синтезделген үлгілердің номиналды құрамымен жақсы үйлесімде болды. Барлық қосылыстардың ұяшық параметрлері, бөлшектер мен кристаллит өлшемдері 1-кестесінде көрсетілген. Алмастыру кезінде ұяшық параметрлері және бөлшектер мен кристаллит өлшемдерінің өзгеруінің айқын көрінетін үдерісі байқалмады.

Кесте 1. $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ пен $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ (x=0.06,0.09,0.12) қосылыстарының ұяшық параметрлері, бөлшектер мен кристаллит өлшемдері

№	Үлгі	Ұяшық параметрі(Å)	Бөлшектердің өлшемі (нм)	Кристаллит өлшемі (нм)
1.	$Y_{2,94}Eu_{0,06}Al_5O_{12}$	12.316	41	34.7
2.	$Y_{2,63}Eu_{0,06}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$	12.315	45	34.2
3.	$Y_{2,6}Eu_{0,09}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$	12.322	44	33.7
4.	$Y_{2,57}Eu_{0,12}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$	12.318	45	34.5
5.	$Y_{2,94}Ce_{0,06}Al_5O_{12}$	12.321	42	33.4
6.	$Y_{2,63}Ce_{0,06}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$	12.317	55	33.4
7.	$Y_{2,6}Ce_{0,09}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$	12.317	61	32.9
8.	$Y_{2,57}Ce_{0,12}Ca_{0,3}Li_{0,01}Al_5O_{12}$	12.318	48	31.3

5-суретте $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ (x=0.06,0.09,0.12) үлгілерінің қозу мен жарық шығару спектрлері бейнеленген. $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ үлгілерінің қозуы 589,5 нм бөлме температурасында бақыланды. Қозу спектрлерінде Eu^{3+} иондарының 4f-4f электронды

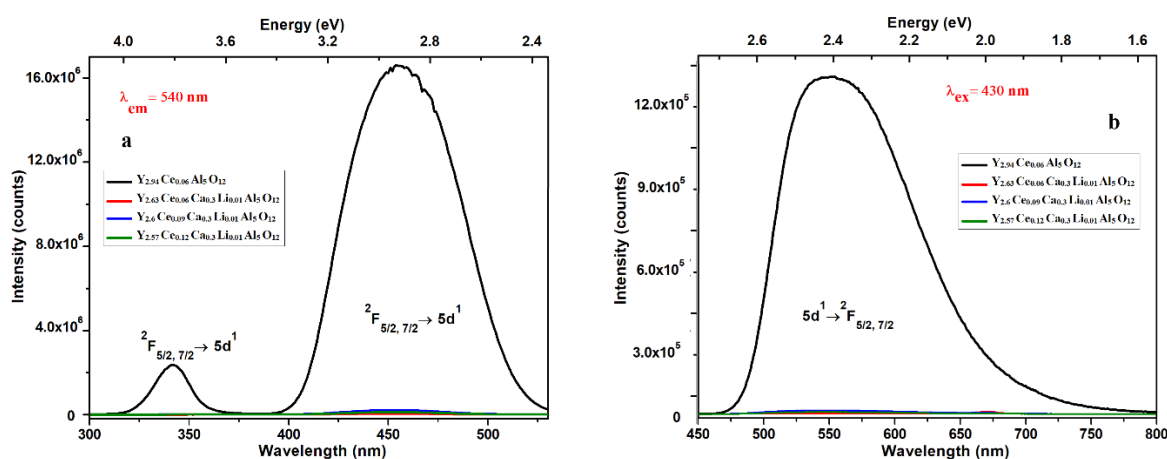
ауысуларымен байланысты бірнеше қарқынды өткір сызықтар бар, олардың максимумы 393,5 нм (7F0/5L6 ауысулары), бұл бұрын жарияланған нәтижелермен жақсы сәйкес келеді [26].



Сурет 5. $Y_{2.69-x}Ca_{0.3}Li_{0.01}Eu_xAl_5O_{12}$ ($x=0.06, 0.09, 0.12$) үлгілерінің қозу мен жарық шығару спектрлері

Эмиссия спектрлері 5D0/7F4 ауысуларына байланысты қарқындылығы 708 нм болатын Eu^{3+} иондарының шыңдарының сипаттамасынан тұрады. Көріп отырғанымыздай, кальций мен литиймен алмастырылған $Y_{2.57}Ca_{0.3}Li_{0.01}Eu_{0.12}Al_5O_{12}$ үлгісінің жарық шығару қарқындылығы еуропий мөлшерін 4%-тен 12%-ға дейін артырған сайын монотонды түрде артып, ең қарқынды жарық шығару $Y_{2.57}Ca_{0.3}Li_{0.01}Eu_{0.12}Al_5O_{12}$ үшін байқалады. Алайда Eu^{3+} пен белсендірілген YAG құрылымына Ca^{2+} мен Li^+ ды енгізу арқылы жарық шығарулардың ығысуы байқалмады, өйткені зерттелген аралас металл алюминий гранаттарында қоспалардың фазалары болмаған [27].

$Y_{3-x-y-z}Ca_xLi_{0.01}Ce_zAl_5O_{12}$ үлгілернің қозу мен жарық шығару спектрлері 6-суретте келтірілген. Барлық үлгілер 470-750 нм аймағында жалпақ жасыл-сары жарық шығару жолағын көрсетті, шыңның максимумы шамамен ~555 нм толқын ұзындығында орналасқан, яғни ол қозған 5d күйінен Se^{3+} -дің екі негізгі ${}^2F_{7/2}$ және ${}^2F_{5/2}$ күй конфигурациясына ауысқанда пайда болады [28]. Атап айтқанда, $Y_{3-x-y-z}Ca_xLi_{0.01}Ce_zAl_5O_{12}$ құрамындағы екі валентті кальций мен бір валентті литий иондары иттрийді алмастырғанда жарық шығарудың қарқындылығы күрт төмендейтінін көруге болады. YAG-дағы кристалдық өріс кубтық $Y_3Al_5O_{12}$ торының жоғары симметриясына байланысты күшті болады. Ұнтақ түріндегі YAG:Ce фосфорларындағы жолақтардың ерекше орындары және екі компоненттің салыстырмалы қарқындылығы үлгіні алудың технологиясы [15] мен температурасына [29] байланысты болады.



Сурет 6. $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ ($x=0.06, 0.09, 0.12$) үлгілерінің қозу мен жарық шығару спектрлері

Қорытынды

Біз зерттеуімізде золь-гель әдісімен синтезделген $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ пен $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ ($x=0.06, 0.09, 0.12$) жаңа химиялық құрамы бар поликристалды жоғары энтропиялы гранат кристалдарының құрылымдық қосылыстарын көрсеттік. Қажетті біртекті гельдерді металл иондарын лимон қышқылымен комплекстеу арқылы алынды. Гранаттық құрылымның монокристалдық қосылыстарының XRD талдау нәтижелеріне сәйкес Ca^{2+} , Li^+ және Eu^{3+} , Ce^{3+} иондарының мөлшерінің ұлғаюы мен гранаттық фазасы негізгі кристалдық фаза ретінде анықталды. Рентгендік дифракцияның талдауларының нәтижелерін FTIR-спектроскопиялық деректері толықтай растады. $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ пен $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ ($x=0.06, 0.09, 0.12$) үлгілері үшін FTIR спектрлерінің 1000-400 см⁻¹ аймағында гранаттарға тән қарқынды шыңдары болып, барлығында бірдей дерлік болды. Гранаттардың 1000–400 см⁻¹ аймағында бөлінген бірнеше қарқынды шыңдар тетраэдрлік бірліктердің созылу режимін сипаттайды. Синтезделген гранаттарының беттік морфологиясы барлық үлгілер үшін өте ұқсас болды және көлемді дәндер сфералық бөлшектерден тұрып, олардың орташа өлшемі шамамен 50-120 нм болды. $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Eu_xAl_5O_{12}$ пен $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}Ce_xAl_5O_{12}$ ($x=0.06, 0.09, 0.12$) гранаттарының қозу және жарық шығару спектрлері бойынша золь-гель әдісі жоғары энтропиялы гранат кристалдық құрылымы бар қосылыстарды дайындауға жарамды, яғни олар жаңа фосфорларды жасау үшін матрица ретінде пайдаланылады деген қорытынды жасауға болады.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Авторлар Вильнюс университеті, Химия және геоғылымдар факультеті ұжымына (Вильнюс, Литва) ғылыми-зерттеу жұмыстарын жүргізуге көмек бергені үшін алғыс білдіреді. Авторлар олардың мүдделер қақтығысы жоқ екенін баяндайды.

Авторлардың қосқан үлесі

Пазылбек С.А. – түпнұсқа мәтінді жазу, авторлық қадағалау, зерттеу;

Карейва А. – тұжырымдамалау, ресурстар, зерттеу;

Шалхар О., Жакипбаев Б.Е., Ескермесов Д.К., Әбдіқадыр Б.З. – зерттеу, әдістеме, тұжырым-дамалау;

Катбаева М.Т., Мүтәлі К.Ж. – зерттеу, визуализация, редакциялау.

Әдебиеттер тізімі

1. William M. Yen, Shionoya Sh. Phosphor Handbook, CRC Press, Boca Raton, Boston, London, New York, Washington, DC (1999) – **кітап**
2. Carel W.E. "Inorganic-scintillator development," *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.*, 2001, 460(1), 1-14. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(00\)01088-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(00)01088-3). - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
3. Shur M.S., Žukauska A. "Solid-State Lighting: Toward Superior Illumination," *Proc. IEEE*, 2005, 93(10), 1691-1703. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2005.853537>.
4. Bogner G., Debray A., Heidel G., Hoehn K., Muller U., Schlotter P. "Structural and Optical Design," *Proc. SPIE. Int. Soc. Opt. Eng.*, 1999, 3621, 143.
5. Veith M., Mathur S., Kareiva, A., Jilavi M., Zimmer M., Huch V. "Low temperature synthesis of nanocrystalline Y3Al5O12 (YAG) and Ce-doped Y3Al5O12 via different sol-gel methods," *J. Mater. Chem.*, 1999, 9, 3069-3079. DOI: <https://doi.org/10.1039/A903664D>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
6. Pan Y., Wu M., Su Q. "Structural and Luminescence Properties," *Mater. Sci. Eng. B.*, 2004, 106, 251-256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2003.09.031>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
7. Xia G., Zhou S., Zhang J., Xu J. "Structural and Optical Properties of YAG:Ce3+ Phosphors by Sol-Gel Combustion Method," *J. Crystal Growth.*, 2005, 279, 357-362. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.01.072>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
8. Jia D., Wang Y., Guo X., Li K., Zou Y.K., Jia W. "Synthesis and Characterization of YAG:Ce3+ LED Nanophosphors," *J. Electrochem. Soc.*, 2007, 154, J1. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.2372589>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
9. Gupta C.S. "Effect of copper doping on phosphorescence of CaS:Er phosphors," *Ind. J. Phys.*, 2001, 75A, 135-141. DOI: <https://www.iacs.res.in/ijp/preva.html>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
10. Leleckaite A., Kareiva A., Bettentrup H., Jüstel T., Meyer H.-J. "Sol-Gel Preparation and Characterization of Codoped Yttrium Aluminium Garnet Powders," *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 2005, 631, 2987. DOI: <http://www3.interscience.wiley.com>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
11. Kasuya R., Isobe T., Kuma H., Katano J. "Photoluminescence enhancement of PEG-modified YAG:Ce3+ nanocrystal phosphor prepared by glycol thermal method," *J. Phys. Chem. B.*, 2005, 109, 22126-22130. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp052753j>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
12. Kasuya R., Isobe T., Kuma H. "Glycothermal synthesis and photoluminescence of YAG:Ce3+ nanophosphors," *J. Alloys Compds.*, 2006, 408, 820-823. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.01.066>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
13. Hreniak D., Streck W. "Synthesis and Optical Properties of Nd3+-Doped Y3Al5O12 Nanoceramics," *J. All. Comp.*, 2002, 341, 183-186. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8388\(02\)00067-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8388(02)00067-1). - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**
14. Leleckaite A., Kareiva A. "Synthesis of garnet structure compounds using aqueous sol-gel processing," *Opt. Mater.*, 2004, 26, 123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2003.11.009>. - **ағылшын тіліндегі журнал мақаласы**

15. Zhou Y., Lin J., Yu M., Wang S., Zhang H. "Synthesis-dependent luminescence properties of $Y_3Al_5O_{12}:Re^{3+}$ (Re=Ce, Sm, Tb) phosphors," *Mater. Lett.*, 2002, 56, 628-636. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(02\)00567-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(02)00567-0). – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
16. Zhou Y., Lin J., Yu M., Wang S. "Comparative study on the luminescent properties of $Y_3Al_5O_{12}:RE^{3+}$ (RE: Eu, Dy) phosphors synthesized by three methods," *J. Alloys Compds.*, 2004, 375, 93-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2003.10.057>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
17. Hsu W.T., Wu W.H., Lu C.H. "Structural and Luminescent Properties," *Mater. Sci. Eng. B.*, 2003, 104, 40. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
18. Lu C.H., Hsu W.T., Dhanaraj J., Jagannathan R. "Sol-Gel Pyrolysis and Photoluminescent Characteristics of Europium-Ion Doped Yttrium Aluminum Garnet Nanophosphors," *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2004, 24, 3723. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2003.12.009>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
19. Geller S. "Crystal Chemistry of the Garnets," *Z. Kristallogr.*, 1967, 125, 1-47. DOI: https://rruff.info/uploads/ZK125_1.pdf. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
20. Shannon R.D. "Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides," *Acta Cryst.*, 1976, 3266, 751-767. DOI: <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
21. West A.R. *Solid State Chemistry and its Applications*, John Wiley & Sons, Chichester, 1984. – кітап
22. Li H.L., Liu X.J., Huang L.P. "Luminescent Properties of LuAG:Ce Phosphors with Different Ce Contents Prepared by a Sol-Gel Combustion Method," *Opt. Mater.*, 2007, 29(9), 1138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2006.05.002>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
23. Saxena S., Asokkumar A.K., Lal B. "Citrate-Nitrate Route for the Synthesis and Characterization of TAG Using Sol-Gel Techniques," *J. Sol.-Gel Sci. Technol.*, 2007, 41, 245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10971-006-1503-9>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
24. Garskaite E., Sakirzanovas S., Kareiva A., Glaser J., Meyer H.-J. "Synthesis and Structure of Europium Aluminium Garnet (EAG)," *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 2007, 633, 990. DOI: <https://doi.org/10.1002/zaac.200700027>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
25. Chen Y., Wang J., Gong M., Su Q. "Ce³⁺ Phosphors Prepared by a Novel Sol-Combustion Method for Application in InGaN-Based White LEDs," *J. Shi. Chem. Lett.*, 2007, 36, 760. DOI: <http://dx.doi.org/10.1246/cl.2007.760>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
26. Skaudzius R., Enseling D., Skapas M., Selskis A., Pomjakushina E., et al. "Europium-Enabled Luminescent Single Crystal and Bulk YAG and YGG for Optical Imaging," *Opt. Mater.*, 2016, 60, 467-473. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.08.032>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
27. Skruodiene M., Juodvalkyte R., Kemere M., Ramanauskas R., et al. "Enhanced Optical Properties of Yttrium Aluminum Garnet with the Yttrium Vanadate Impurity Phase," *Heliyon.*, 2022, 8, e11386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11386>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы
28. Hassan Z., Abd H.R., Ahmed N.M. "Enhanced White Light Luminescence of Ce³⁺-Activated $Y_3Al_5O_{12}$ Phosphors Powder Synthesized via Continuous Wave (CW) CO₂ Laser-Assisted Combustion," *International Energy and Sustainability Conference (IESC)*, Farmingdale, NY, USA, 2019, 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/IESC47067.2019.8976584>.
29. Li X., Liu H., Wang J., Cui H., Han F. "YAG:Ce Nano-Sized Phosphor Particles Prepared by a Solvothermal Method," *Mater. Res. Bull.*, 2004, 39, 1923. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2004.05.013>. – ағылшын тіліндегі журнал мақаласы

С.А.Пазылбек*¹, А. Карейва², О. Шалхар², Б.Е. Жакипбаев³, Д.К. Ескермесов⁴,
Б.З. Абдикадыр⁵, М.Т. Катбаева¹, К.Ж. Мұтәлі¹

¹Университет имени Ж.А. Ташенева, Шымкент, Казахстан

²Вильнюсский университет, Вильнюс, Литва

³Университет дружбы народов имени академика А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан

⁴Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,
Усть-Каменогорск, Казахстан

⁵Южно-Казахстанский педагогический университет им. О. Жанибекова, Шымкент, Казахстан

Синтез и оптические свойства соединений $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}(Eu \text{ или } Ce)_xAl_5O_{12}$ с высокой энтропией

Аннотация. Результаты рентгеновского дифракционного анализа (XRD) новых соединений с гранатной кристаллической структурой высокого энтропийного состава $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}(Eu \text{ или } Ce)_xAl_5O_{12}$, синтезированных методом золь-гель, показали наличие однофазной кубической структуры. Согласно результатам XRD-анализа монокристаллических соединений с гранатной структурой, фаза граната определяется как основная кристаллическая фаза с увеличением количества ионов Ca^{2+} , Li^+ и Eu^{3+} , Ce^{3+} . Результаты рентгеновского дифракционного анализа синтезированных образцов полностью подтверждаются данными инфракрасной (FT-IR) спектроскопии. В спектрах FT-IR в области $1000-400 \text{ см}^{-1}$ для всех образцов видны характерные для гранатов интенсивные пики. Несколько интенсивных пиков в области $1000-400 \text{ см}^{-1}$ для гранатов описывают режимы растяжения тетраэдрических единиц. Морфология поверхности, полученная с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) для высокоэнтропийных гранатов, очень схожа для всех образцов, объёмные зерна состоят из сферических частиц среднего размера около $50-120 \text{ нм}$. Рассчитанные параметры ячейки составляют $12,316-12,322 \text{ нм}$ без каких-либо изменений на уровне замещения, что подтверждает формирование высокоэнтропийных гранатных материалов. Точный химический состав соединений с гранатной структурой и различными примесями был определен методом ICP-OES. По данным спектров возбуждения и эмиссии, метод золь-гель эффективен для синтеза соединений с высокоэнтропийной гранатной кристаллической структурой, которые могут быть использованы в качестве матрицы для создания новых фосфоров.

Ключевые слова: золь-гель, гранат, XRD, высокая энтропия, рентген, дифракция.

S. Pazyzbek*¹, A. Kareiva², O. Shalkhar², B. Zhakipbayev³, D. Yeskermessov⁴, B. Abdikadyr⁵,
M. Katbaeva¹, K. Mutali¹

¹Zhumabek Tashenev University, Shymkent, Kazakhstan

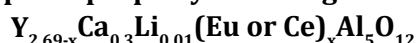
²Vilnius University, Vilnius, Lithuania

³Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov,
Shymkent, Kazakhstan

⁴D. Serikbayev East Kazakhstan technical university, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

⁵South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov,
Shymkent, Kazakhstan

Synthesis and optical property of the high entropy compounds



Abstract. The results of powder X-ray diffraction analysis (XRD) of compounds with a new high entropy $Y_{2,69-x}Ca_{0,3}Li_{0,01}(Eu \text{ or } Ce)_xAl_5O_{12}$ garnet crystal structure synthesized by the sol-gel method showed that it is a single-phase cubic structure. According to the results of the XRD analysis of monocrystalline compounds of the garnet structure, the garnet phase is defined as the main crystalline phase with an increase in the amount of Ca^{2+} , Li^+ and Eu^{3+} , Ce^{3+} ions. The results of the X-ray diffraction analyzes of the synthesized samples are fully confirmed by the infrared (FT-IR) spectroscopic data. In the region of 1000-400 cm^{-1} of the FT-IR spectra, the intense peaks characteristic of garnets appeared the same for all samples. Several intense peaks distributed in the region of 1000–400 cm^{-1} of garnets describe the mode of stretching of tetrahedral units. The surface morphology of high-entropy garnets obtained by scanning electron microscopy (SEM) was very similar for all samples, and the bulk grains consisted of spherical particles with an average size of about 50–120 nm. The calculated cell parameters were in the range of 12.316–12.322 nm without any process at the substitution level, which confirms the formation of high-entropy garnet materials. The exact chemical composition of garnet structural compounds with various additives was determined by the ICP-OES method. According to the excitation and emission spectra, the sol-gel method is an effective approach for the preparation of compounds with a high-entropy garnet crystal structure, and they can be used as a matrix for creating new phosphors.

Keywords: sol-gel, garnet, XRD, high entropy, X-ray, diffraction.

References

1. William M. Yen, Shionoya Sh. Phosphor Handbook, CRC Press, Boca Raton, Boston, London, New York, Washington, DC (1999)
2. Carel W.E. "Inorganic-scintillator development," *Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res.*, 2001, 460(1), 1-14. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9002\(00\)01088-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9002(00)01088-3).
3. Shur M.S., Žukauska A. "Solid-State Lighting: Toward Superior Illumination," *Proc. IEEE*, 2005, 93(10), 1691-1703. DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2005.853537>.
4. Bogner G., Debray A., Heidel G., Hoehn K., Muller U., Schlotter P. "Structural and Optical Design," *Proc. SPIE. Int. Soc. Opt. Eng.*, 1999, 3621, 143.
5. Veith M., Mathur S., Kareiva, A., Jilavi M., Zimmer M., Huch V. "Low temperature synthesis of nanocrystalline $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG) and Ce-doped $Y_3Al_5O_{12}$ via different sol-gel methods," *J. Mater. Chem.*, 1999, 9, 3069-3079. DOI: <https://doi.org/10.1039/A903664D>.

6. Pan Y., Wu M., Su Q. "Structural and Luminescence Properties," *Mater. Sci. Eng. B.*, 2004, 106, 251-256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2003.09.031>.
7. Xia G., Zhou S., Zhang J., Xu J. "Structural and Optical Properties of YAG:Ce³⁺ Phosphors by Sol-Gel Combustion Method," *J. Crystal Growth.*, 2005, 279, 357-362. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2005.01.072>.
8. Jia D., Wang Y., Guo X., Li K., Zou Y.K., Jia W. "Synthesis and Characterization of YAG:Ce³⁺ LED Nanophosphors," *J. Electrochem. Soc.*, 2007, 154, J1. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.2372589>.
9. Gupta C.S. "Effect of copper doping on phosphorescence of CaS:Er phosphors," *Ind. J. Phys.*, 2001, 75A, 135-141. DOI: <https://www.iacs.res.in/ijp/preva.html>.
10. Leleckaite A., Kareiva A., Bettentrup H., Jüstel T., Meyer H.-J. "Sol-Gel Preparation and Characterization of Codoped Yttrium Aluminium Garnet Powders," *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 2005, 631, 2987. DOI: <http://www3.interscience.wiley.com>.
11. Kasuya R., Isobe T., Kuma H., Katano J. "Photoluminescence enhancement of PEG-modified YAG:Ce³⁺ nanocrystal phosphor prepared by glycol thermal method," *J. Phys. Chem. B.*, 2005, 109, 22126-22130. DOI: <https://doi.org/10.1021/jp052753j>.
12. Kasuya R., Isobe T., Kuma H. "Glycothermal synthesis and photoluminescence of YAG:Ce³⁺ nanophosphors," *J. Alloys Compds.*, 2006, 408, 820-823. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.01.066>.
13. Hreniak D., Strek W. "Synthesis and Optical Properties of Nd³⁺-Doped Y₃Al₅O₁₂ Nanoceramics," *J. All. Comp.*, 2002, 341, 183-186. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8388\(02\)00067-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-8388(02)00067-1).
14. Leleckaite A., Kareiva A. "Synthesis of garnet structure compounds using aqueous sol-gel processing," *Opt. Mater.*, 2004, 26, 123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2003.11.009>.
15. Zhou Y., Lin J., Yu M., Wang S., Zhang H. "Synthesis-dependent luminescence properties of Y₃Al₅O₁₂:Re³⁺ (Re=Ce, Sm, Tb) phosphors," *Mater. Lett.*, 2002, 56, 628-636. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(02\)00567-0](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(02)00567-0).
16. Zhou Y., Lin J., Yu M., Wang S. "Comparative study on the luminescent properties of Y₃Al₅O₁₂:RE³⁺ (RE: Eu, Dy) phosphors synthesized by three methods," *J. Alloys Compds.*, 2004, 375, 93-97. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2003.10.057>.
17. Hsu W.T., Wu W.H., Lu C.H. "Structural and Luminescent Properties," *Mater. Sci. Eng. B.*, 2003, 104, 40.
18. Lu C.H., Hsu W.T., Dhanaraj J., Jagannathan R. "Sol-Gel Pyrolysis and Photoluminescent Characteristics of Europium-Ion Doped Yttrium Aluminum Garnet Nanophosphors," *J. Eur. Ceram. Soc.*, 2004, 24, 3723. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2003.12.009>.
19. Geller S. "Crystal Chemistry of the Garnets," *Z. Kristallogr.*, 1967, 125, 1-47. DOI: https://rruff.info/uploads/ZK125_1.pdf.
20. Shannon R.D. "Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides," *Acta Cryst.*, 1976, 3266, 751-767. DOI: <https://doi.org/10.1107/S0567739476001551>.
21. West A.R. *Solid State Chemistry and its Applications*, John Wiley & Sons, Chichester, 1984.
22. Li H.L., Liu X.J., Huang L.P. "Luminescent Properties of LuAG:Ce Phosphors with Different Ce Contents Prepared by a Sol-Gel Combustion Method," *Opt. Mater.*, 2007, 29(9), 1138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2006.05.002>.

23. Saxena S., Asokkumar A.K., Lal B. "Citrate-Nitrate Route for the Synthesis and Characterization of TAG Using Sol-Gel Techniques," *J. Sol.-Gel Sci. Technol.*, 2007, 41, 245. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10971-006-1503-9>.

24. Garskaite E., Sakirzanovas S., Kareiva A., Glaser J., Meyer H.-J. "Synthesis and Structure of Europium Aluminium Garnet (EAG)," *Z. Anorg. Allg. Chem.*, 2007, 633, 990. DOI: <https://doi.org/10.1002/zaac.200700027>

25. Chen Y., Wang J., Gong M., Su Q. "Ce³⁺ Phosphors Prepared by a Novel Sol-Combustion Method for Application in InGaN-Based White LEDs," *J. Shi, Chem. Lett.*, 2007, 36, 760. DOI: <http://dx.doi.org/10.1246/cl.2007.760>.

26. Skaudzius R., Enseling D., Skapas M., Selskis A., Pomjakushina E., et al. "Europium-Enabled Luminescent Single Crystal and Bulk YAG and YGG for Optical Imaging," *Opt. Mater.*, 2016, 60, 467–473. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2016.08.032>.

27. Skruodiene M., Juodvalkyte R., Kemere M., Ramanauskas R., et al. "Enhanced Optical Properties of Yttrium Aluminum Garnet with the Yttrium Vanadate Impurity Phase," *Heliyon.*, 2022, 8, e11386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11386>.

28. Hassan Z., Abd H.R., Ahmed N.M. "Enhanced White Light Luminescence of Ce³⁺-Activated Y₃Al₅O₁₂ Phosphors Powder Synthesized via Continuous Wave (CW) CO₂ Laser-Assisted Combustion," *International Energy and Sustainability Conference (IESC)*, Farmingdale, NY, USA, 2019, 1–7. DOI: <https://doi.org/10.1109/IESC47067.2019.8976584>.

29. Li X., Liu H., Wang J., Cui H., Han F. "YAG:Ce Nano-Sized Phosphor Particles Prepared by a Solvothermal Method," *Mater. Res. Bull.*, 2004, 39, 1923. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2004.05.013>.

Авторлар туралы мәлімет:

Пазылбек С.А. – хат-хабар авторы, PhD, қауымдастырылған профессор, «математика және информатика» кафедрасының меңгерушісі, Жұмабек Ахметұлы Тәшенев атындағы Университет, Қонаев даңғылы 21, 160012, Шымкент, Қазақстан

Карейва А. – академик, профессор, Химия және геоғылым факультетінің деканы, Вильнюс университеті, Наугардуко көшесі 24, LT-03225, Вильнюс, Литва

Шалқар О. – PhD докторант, Химия және геоғылым факультеті, Вильнюс университеті, Наугардуко көшесі 24, LT-03225, Вильнюс, Литва

Жақипбаев Б.Е. – PhD, қауымдастырылған профессор, Академик Ә. Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университетінің Инженерлік-технологиялық хабтың бас ғылыми қызметкері, «мұнай және құрылыс өндірісі» кафедрасының профессоры, Төле би көшесі 32, 160000, Шымкент, Қазақстан

Ескермесов Д.К. – PhD, физика орталығының қауымдастырылған профессоры, Халықаралық Инженерия Мектебінің жетекші ғылыми қызметкері КЕАҚ «Д. Серікбаев ат. Шығыс Қазақстан техникалық университеті», Серікбаев көшесі 19, 070004, Өскемен, Қазақстан

Әбдіқадыр Б.З. – PhD, физика кафедрасының аға оқытушысы, Ө. Жәнібеков ат. Оңтүстік Қазақстан Педагогикалық Университеті, Байтұрсынов көшесі 13, 160012, Шымкент, Қазақстан

Катбаева М.Т. – физика магистрі, «математика және информатика» кафедрасының аға оқытушысы, Ж.А. Тәшенев атындағы Университет, Қонаев даңғылы 21, 160012, Шымкент, Қазақстан

Мүтәлі К.Ж. – техника ғылымдарының магистрі, «Физика» зертханасының меңгерушісі, Ж.А. Тәшенев атындағы Университет, Қонаев даңғылы 21, 160012, Шымкент, Қазақстан

Pazyzbek S. – corresponding author, PhD, Associate Professor, Head of the Department of "Mathematics and Informatics", Tashenev University, Kunaev Avenue 21, 160012, Shymkent, Kazakhstan

Kareiva A. – Academician, Professor, Dean of the Faculty of Chemistry and Geosciences, Vilnius University, Naugarduko Str. 24, LT-03225, Vilnius, Lithuania

Shalkar O. – PhD student, Faculty of Chemistry and Geosciences, Vilnius University, Naugarduko Str. 24, LT-03225, Vilnius, Lithuania

Zhakupbayev B. – PhD, Associate Professor, Chief Researcher of the Engineering and Technology Hub, Professor of the Department "Oil and Construction Production" of the Peoples' Friendship University named after Academician A. Kuatbekov, Tole bi Str. 32, 160000, Shymkent, Kazakhstan

Yeskermessov D. – PhD, Associate Professor at the Center of Physics, Leading Researcher at the International School of Engineering of the NJSC "D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University", 19 Serikbayev str., 070004, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

Abdikadyr B. – PhD, Senior lecturer of Department of Physics, South Kazakhstan Pedagogical University named after O. Zhanibekov, Baitursynov str. 13, 160012, Shymkent city, Kazakhstan.

Katbaeva M. – Master of physics, Senior Lecturer of the Department of "Mathematics and Informatics", Tashenev University, Kunaev Avenue 21, 160012, Shymkent, Kazakhstan

Mutali K. – Master of Technical Sciences, Head of the Physics Laboratory, Tashenev University, Kunaev Avenue 21, 160012, Shymkent, Kazakhstan

Пазылбек С. – автор для корреспонденции, PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой "Математика и информатика", Университет имени Жумабека Ахметулы Ташенева, проспект Кунаева, 21, 160012, Шымкент, Казахстан.

Карейва А. – академик, профессор, декан факультета химии и геонаук, Вильнюсский университет, ул. Наугардуко, 24, LT-03225, Вильнюс, Литва.

Шалкар О. – PhD докторант, факультет химии и геонаук, Вильнюсский университет, ул. Наугардуко, 24, LT-03225, Вильнюс, Литва.

Жакупбаев Б.Е. – PhD, ассоциированный профессор, главный научный сотрудник инженерно-технологического хаба, профессор кафедры «Нефтяное и строительное производство» Университета дружбы народов имени академика А.Куатбекова, улица Толе би, 32, 160000, Шымкент, Казахстан.

Ескермесов Д.К. – PhD, ассоциированный профессор Центра физики, ведущий научный сотрудник Международной школы инженерии НАО «Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева», ул. Серикбаева, 19, 070004, Усть-Каменогорск, Казахстан.

Абдиқадыр Б.З. – PhD, старший преподаватель кафедры физики, Южно-Казахстанский педагогический университет им. О. Жанибекова, ул. Байтурсынова, 13, 160012, Шымкент, Казахстан.

Катбаева М.Т. – магистр физики, старший преподаватель кафедры “Математика и информатика”, Университет имени Ж.А. Ташенева, проспект Кунаева, 21, 160012, Шымкент, Казахстан.

Мутали К.Ж. – магистр технических наук, заведующий лабораторией физики, Университет имени Ж.А. Ташенева, проспект Кунаева, 21, 160012, Шымкент, Казахстан.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).