

Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Жанар Қайратқызы Саналбай – магистрант специальности «Техническая физика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: kairatovnazhanar@mail.ru.

Темірлан Нұрланұлы Умыржан – старший преподаватель кафедры «Техническая физика и теплоэнергетика»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: timirlan-95@mail.ru.

Авторлар туралы мәліметтер

Михаил Вячеславович Ермоленко* – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті; «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Жанар Қайратқызы Саналбай – "Техникалық физика" мамандығының магистранты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: kairatovnazhanar@mail.ru.

Темірлан Нұрланұлы Умыржан – Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Техникалық физика және жылу энергетикасы» кафедрасының аға оқытушысы; e-mail: timirlan-95@mail.ru.

Information about the authors

Mikhail Vyacheslavovich Ermolenko* – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department «Technical physics and heat power engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: tehfiz@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1677-8023>.

Zhanar Sanalbay – undergraduate specialty "Technical physics"; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: kairatovnazhanar@mail.ru.

Temirlan Umyrzhhan – senior lecturer of the department «Technical physics and heat power engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: timirlan-95@mail.ru.

Материал поступил в редакцию 02.05.2023 г.

DOI: 10.53360/2788-7995-2023-4(12)-21

FTAXP: 29.19.21

И.В. Хромушин¹, Т.И. Аксенова¹, Т. Тусеев², К.К. Мунасбаева¹, Ә. Болатбекұлы^{2*}

¹Ядролық физика институты,

050032, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Ибрагимов көшесі, 1

²Әль-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті,

050040, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Әль-Фараби даңғылы, 71

*e-mail: alikhanbolatbekuly2001@gmail.com

КЕРАМИКАЛЫҚ БАРИЙ ЦЕРАТЫНДА РАДИАЦИЯЛЫҚ ДЕФЕКТТЕРДІҢ ПАЙДА БОЛУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

Аңдатпа: Рентгенді фазалық талдау, растрлік электронды және атомдық күш микроскопиясы, термодесорбциялық спектроскопия әдістерімен допандалған неодимге қосылған барий цератының құрылымы мен қасиеттеріне электрондардың, инертті газ иондарымен (Ne, Ar, Kr) сәулеленуінің және оттегінің әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Төмен энергиялы инертті газ иондарымен сәулеленуі дене бетіндегі блистерлеу процестерін, яғни металл үлгілерінің (құбырлардың) бетінде металлдың ішкі көлемдерінің қабаттасуы нәтижесінде пайда болған көпіршіктер түріндегі ісінулер тудыратыны көрсетілген, ал жоғары энергиялы инертті газ иондары сәулеленген бетте сферолиттердің өсуінің әртүрлі кезеңдеріне ұқсайтын құрылымдардың пайда болуына

ықпал етеді. Жоғары энергиялы оттегі иондарымен сәулелену жағдайында мұндай құрылымдар байқалмайды. Цераттардың электрондармен сәулеленуі оның бетінде наноөлшемді ине тәрізді құрылымдардың пайда болуына алып келетіні байқалады. Инертті газдардың төмен энергиялы иондарының сәулеленуі неодимнің көп бөлігін төрт валентті күйге ауыстыруға әкелді, бұл сәулеленбеген цератпен салыстырғанда оттегінің бөлінуінің жоғарылауымен және судың азаюымен, сондай-ақ газдар санының ион түрінен тәуелсіздігімен бірге жүретіні көрсетілген. Сәулеленген барий цератынан су мен оттегі молекулаларының термиялық десорбциясы туралы мәліметтер негізінде сәулелену допандалған неодимнің 4+ дейін тотығуына ықпал етеді деген қорытынды жасалды.

Түйін сөздер: Протонды өткізгіштік, иондаушы сәулелер, барий цераты, допандау, иондық модификациялау.

Кіріспе

Экологиялық проблемаларға байланысты сутекті баламалы отын ретінде пайдаланудың, сондай-ақ отын элементтерінде қолданылатын протон өткізгіштердің құрылымына иондаушы сәулелердің әсерін зерттеу арқылы сутек энергетикасын дамыту жүйелерін құрудың өзектілігі заманауи және өзекті болып табылады. Мұндай баламалы әрі зиянсыз энергияны тұтыну, табиғатқа экологиялық жүктемені азайту мақсатында классикалық және жаңартылатын электр энергиясын пайдалану тиімділігін арттыру үшін қажет.

Зерттеу нысаны ретінде отын элементтерінде қолданылатын протон өткізгіш - керамикалық барий цераты зерттелді. Соңғы жұмыстарда [1-4] қатты оксидті электролиттердің өткізгіштік қасиеттерін радиациялық модификациялау арқылы жақсартуға болатыны атап өтілген. Перовскит құрылымы ABO_3 иондары мен электрондары бар протон өткізгіштің сәулеленуі материалда қосымша оттегі ұяшықтарының пайда болуын, сондай-ақ заряд тасымалдаушылардың концентрациясы мен қозғалғыштығының жоғарылауын ынталандыруы мүмкін, бұл оксидтің протон өткізгіштік қасиеттерінің жақсаруына әкелуі керек. Алайда, қазіргі уақытта перовскит материалдарының радиациялық модификациясы туралы ақпарат шектеулі болып отыр. Бұл жұмыс сәулеленудің әртүрлі түрлерінің допандалған барий цератының құрылымы мен қасиеттеріне әсерін зерттеуге бағытталған.

Сутегі энергиясына көшу сутегінің кең ауқымды өндірісін, тасымалдауды, сақтауды және оны отын элементтерін пайдаланып энергия өндіру үшін пайдалануды қамтиды. Сутегі металлургия, органикалық синтез, химия және тамақ өнеркәсібі, көлік және т.б. сияқты көптеген салаларда қолданылады. Оның негізгі міндеті – отын элементтерін шығару және сутекті электр энергиясын өндіру үшін пайдалану. Отын элементтерінің кемшіліктері отынға арналған протон өткізгіштердің төмен өткізгіштігі, құнының жоғары болуы, химиялық және термиялық тұрақсыздығы. Сондықтан жоғары термиялық және химиялық тұрақтылығы бар, салыстырмалы түрде арзан керамикалық протон өткізгіштерді зерттеу маңызды, өзекті бағыт болып табылады.

Зерттеу шарттары мен әдістері

$BaCe_{1-x}Nd_xO_{3-x/2}$, ($x=0.1$) допандалған неодим қосылған керамикалық барий цератының үлгілері $10 \times 5 \times 1$ мм пластиналар түрінде 7 сағат ішінде $650^\circ C$ температурада ауада алдын ала күйдіріледі. Ауыр иондармен сәулелендіру ҚР Ядролық физика институтының (Астана қаласы) ДЦ-60 үдеткішінде жүргізілді. Сәулелену параметрлері төмендегі кестеде көрсетілген. Иондық жүгірістер мен жұмыс концентрациясы SRIM-2013 бағдарламасының көмегімен есептелген [5].

1 кесте – Ион энергиясы, жүгірістер және ұяшықтар концентрациясы

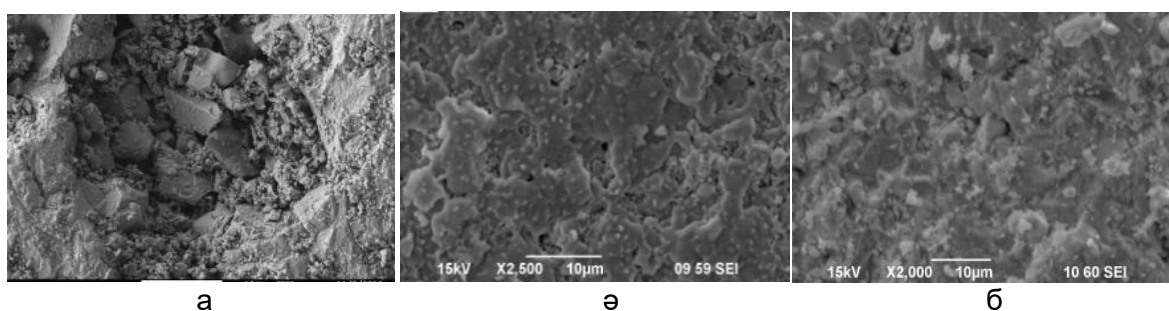
Жоғарғы энергия				Төменгі энергия			
Ион типі	Энергия [МэВ]	Жүгірісі [мкм]	Ұяшықтар/ ион	Ион типі	Энергия [кэВ]	Жүгірісі [мкм]	Ұяшықтар/ ион
O	28	13.0	1740	O	40	0.080	243
Ne	35	12.7	2700	Ne	40	0.065	320
Ar	70	13.2	8100	Ar	100	0.080	800
Kr	147	15.3	31000	Kr	260	0.108	2500

Электронды сәулелендіру ядролық физика институтының (Алматы қаласы) ЭЛВ-4 электронды үдеткішінде жүргізілді. Электрондардың энергиясы 1,3 МэВ болды, бұл материалдың жүгіріс ұзындығы үлгінің қалыңдығынан (1 мм) асады.

Ауыр иондар мен электрондардың барий цератына әсерін зерттеу рентгендік фазалық талдау әдістерін, элементтік талдауы бар растрлік электронды микроскопияны, атомдық-күштік микроскопияны (АСМ), термодесорбциялық (ТД) спектроскопияны қолдану арқылы жүзеге асырылды.

Зерттеу нәтижелері мен нәтижелерді талқылау

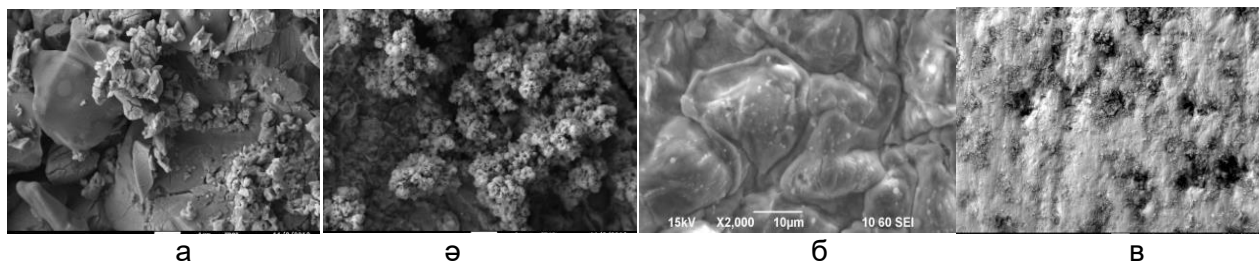
Қосымша барий цератының құрылымы мен қасиеттерінің өзгеруі иондардың түрі мен энергиясына байланысты екендігі тәжірибеде анықталды. Рентгендік фазалық талдау сәулеленбеген барий цератының құрылымы $Pbpm$ орторомбиялық симметриясы бар перовскит $BaCeO_3$ құрылымына сәйкес келетінін көрсетті. 1-суретте неодиммен допандалған сәулеленбеген барий цератының дифрактограммасы ұсынылған ($\chi=0.1$). Бұл перовскит құрылымы төмен энергиялы иондармен (O, Ne, Ar, Kr) және электрондармен сәулеленуден кейін сақталатыны анықталды. Барий цераты жоғары энергиялы иондармен сәулеленген жағдайда цераттың аморфизациясы және қоспалардың пайда болуы анықталды (1, б-суреті). Кристалдық тордың нашарлауы керамиканың сәулеленбеген жағында да байқалды, бұл жоғары энергиялы иондармен сәулеленген оксидтер торындағы өзгерістер осы материалдағы иондардың жүгірісінен бірнеше есе көп қашықтыққа дейін болатындығын көрсетеді.



1 сурет – Төмен энергиялы Ne (а), Ar (б) және Kr (в) иондарымен 10^{16} см^{-2} дозасына дейін сәулеленген барий цератының бетінің электронды-микроскопиялық суреттері

1 суретте неон (1, а-сурет) аргон (1, б-сурет) және криптон (1, в-сурет) иондарымен сәулеленген барий цератының бетінің электронды-микроскопиялық суреттері бірдей үлкейту кезінде түсірілген. Суреттен көрініп тұрғандай, неон мен аргон иондарымен сәулеленген цераттың бетінде көпіршіктердің пайда болуы байқалады. Ал барий цераты төмен энергиялы криптон иондарымен сәулеленген жағдайда көпіршіктердің пайда болуы байқалмады.

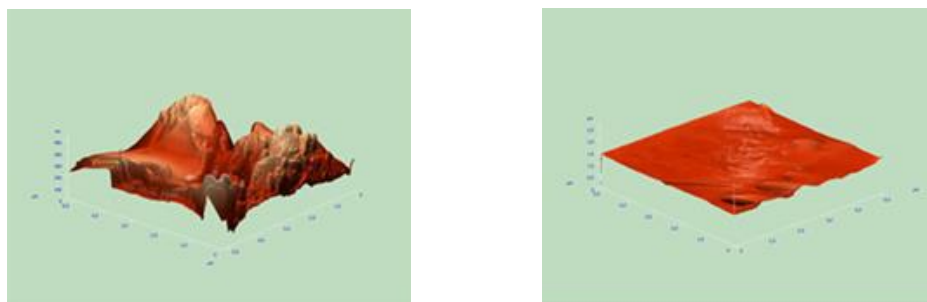
Барий цератын жоғары энергиялы инертті газ иондарымен сәулелендіру кезінде оның бетіндегі қатты фазалы құрылымдық айналуларға байланысты өзгерістер анықталды (2-сурет) және Ne, Ar, Kr қатарында цераттың беті сферолиттердің өсу кезеңдеріне ұқсас болды – туындауы (а), өсуі (түрлі-түсті қырыққабат түрі) (б), сферолит қыртысының түзілуі (в). Сонымен қатар, бұл материалдың жоғары энергиялы оттегі иондарымен сәулеленуі беттің ұқсас өзгерістерін тудырмады (2, в-сурет).



2 сурет – Жоғары энергиялы Ne (а), Ar (б) және Kr (в) иондарымен 10^{16} см^{-2} дозасына дейін сәулеленген барий цератының бетінің электронды-микроскопиялық суреттері

Сканерлеуші атомдық-күштік микроскопия (АКМ) әдісімен алынған деректер растрлік электронды микроскопияның нәтижелерімен байланысты, сондай-ақ жоғары энергиялы инертті газ иондарымен сәулеленген кезде цераттардың бетіндегі қатты фазалы құрылымдық өзгерістерді көрсетеді. 3-суретте жоғары энергиялы криптон иондарымен сәулеленгеннен кейін

барий цератының бетінің АКМ суретін ұсынады. Сәулеленбеген цераттың «дөңес» бетімен салыстырғанда, сәулеленуден кейін беттің рельефі «тегіс» болып көрінетіні байқалады.

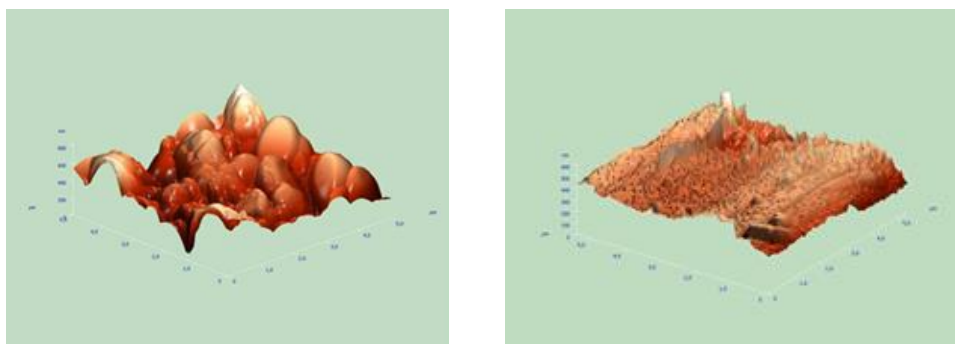


3 сурет – АКМ сәулеленбеген барий цератының суреттері (сол жақта) және Кг иондарымен сәулеленгеннен кейін (оң жақта), ($E = 147 \text{ МэВ}$; $D = 10^{16} \text{ ион / см}^2$)

Берілген энергияға қарамастан оттегі иондары барий цератының беткі құрылымы мен жағдайында өзгерістер тудырмады, бұл цераттың инертті газдар мен оттегі иондарымен сәулеленуі жағдайында дефектердің пайда болу ерекшеліктерін көрсетеді. Инертті газдар мен оттегінің жоғары энергиялы иондарымен сәулелену кезінде цераттардың беткі құрылымының қалыптасуындағы анықталған айырмашылық олардың ерігіштігінің айырмашылығына байланысты болуы мүмкін. Бірінші жағдайда, бұл материалды «инертті газ – ұяшықтар» кешендерін қалыптастыру үшін инертті газ иондарымен тұрақтандыру арқылы тор дефектерімен қанықтыру орын алады деп болжанады. Бұл кешендер материалдардағы инертті газдардың төмен ерігіштігіне байланысты жоғары тұрақтылыққа ие болады. Бұған 1000°C -қа дейін термодесорбция тәжірибелерінде үлгілерден инертті газдардың бөлінбеуі дәлел бола алады.

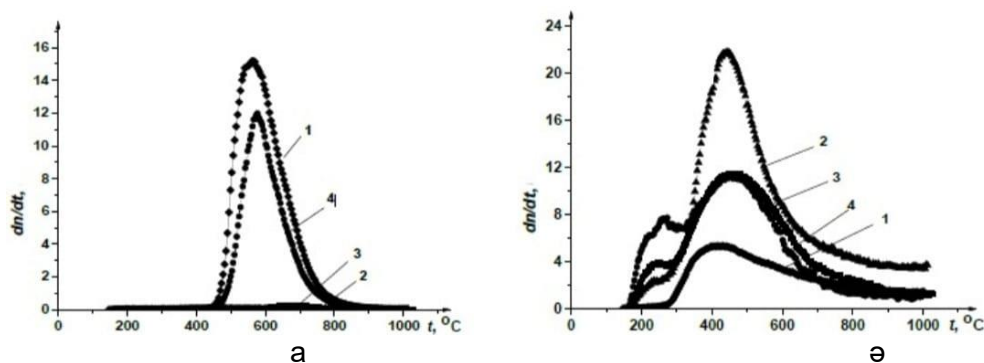
Жоғары температурада жоғары энергиялы оттегі иондарымен цераттық сәулеленуі жағдайында дефекттердің тепе-теңдік концентрациясы айтарлықтай төмен болуы керек. Шынымен де, цераттағы оттегінің ерігіштігі едәуір жоғары, ал жоғары температурада сәулелену кезінде оттегі материалды оның бетіне диффузиясы және кейіннен десорбциясы нәтижесінде қалдыруы мүмкін. Бұл жағдайда дефектті құрылымның тұрақтануы болмайды және сәулелену кезінде пайда болған дефекттердің басым бөлігі сәулелену кезінде күйдіріледі.

Бұрын айтылғандай электрондық сәулелену цераттың перовскит құрылымында өзгерістер тудырмайды, бірақ беткі рельефтің тегістелуіне алып келеді. Электронды сәулеленуден кейін барий цератының беткі қабатының өзгеруінің ерекшелігі - онда ұсақ пирамидалық (интегралды) құрылымның пайда болуы (4-сурет) болып табылады. Жеке «пирамидалардың» биіктігі 50 нм-ден аспайды, сәулелену дозасының жоғарылауымен «пирамидалардың» әсері айқын көрінеді. Жаңадан пайда болған құрылымдардың мөлшері мен кезектесуі электронды сәулелену церат бетінің нано-құрылымына ықпал етеді деген болжам береді.



4 сурет – Электронмен сәулеленбеген (сол жақта) және сәулеленген (оң жақта) барий цератының АКМ суреттері

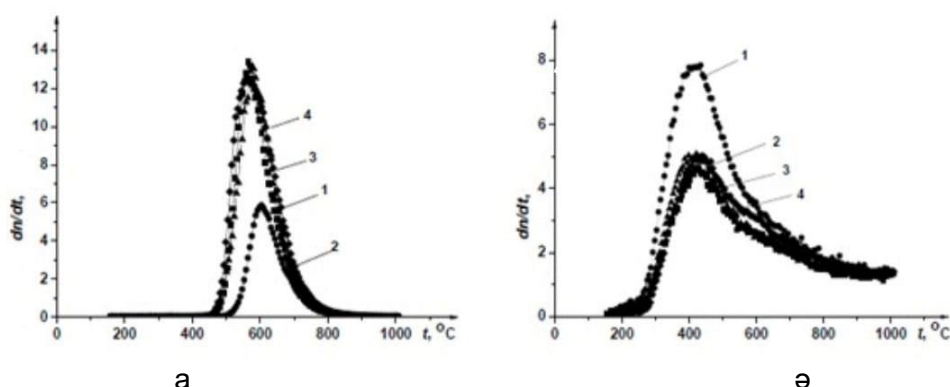
Қосымша барий цератынан алынған газдардың термодесорбция процестерін зерттеу бұл процестердің иондардың түрі мен энергиясына тәуелділігін көрсетеді. Неонның жоғары энергиялы иондарымен сәулелену кезінде зерттелетін материалдардан оттегінің шығуы байқалмағаны көрсетілген (5, а-сурет).



5 сурет – Оттегінің (а) және судың (ä) сәулеленбеген (1) және жоғары энергиялы Ne (2), Ar(3) және Kr(4) иондарымен (10^{16}см^{-2} дозасына дейін) сәулеленген барийден шығу спектрлері

Алайда, иондардың энергиясы мен массасының өсуімен десорбцияланған оттегінің көбеюі байқалады, барлық жағдайда сәулеленген материалдардан шыққан оттегінің мөлшері бастапқы оттегіге қарағанда аз болады. Сонымен қатар, су молекулаларының шығару спектрлерінде оттегімен салыстырғанда қарама-қарсы үлгі байқалады, яғни иондардың энергиясы мен массасының өсуімен десорбцияланған судың мөлшері азайды, бірақ барлық жағдайларда сәулеленбеген цератқа қарағанда көп болады (5,ä-сурет). Сонымен қатар, судың шығу спектрлерінде физикалық сорбцияланған судың шығуына байланысты төмен температуралы бұрылыстың пайда болуы байқалды.

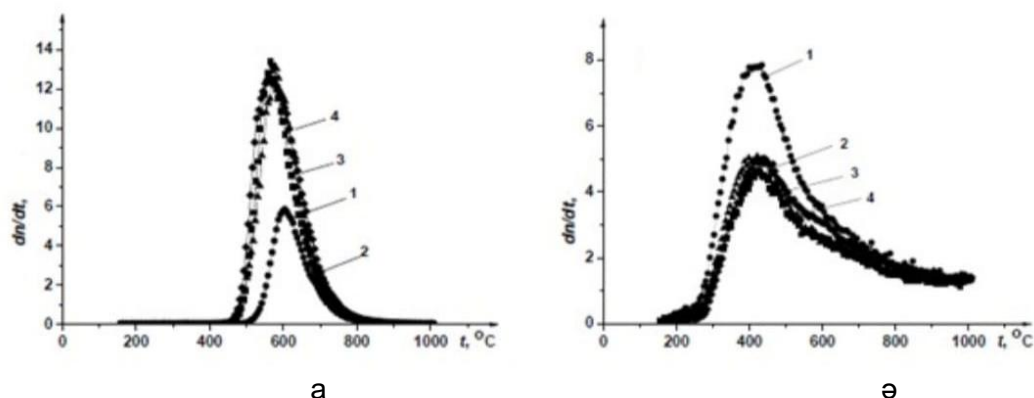
Барий цератын төмен энергиялы инертті газ иондарымен сәулелендіру кезінде жоғары энергиялы иондардан айырмашылығы, десорбцияланған оттегі мөлшерінің айтарлықтай өсуі және бір мезгілде десорбцияланған су мөлшерінің төмендеуі анықталды (6 сурет) және бұл әсер ионның массасы мен энергиясына тәуелді болмады.



6 сурет – Төмен энергиялы иондармен сәулеленген барийден оттегі (а) мен судың (ä) шығу спектрлері: 1 – сәулеленбеген үлгі; 2-Ne иондарымен сәулеленгеннен кейін; 3-Ar; 4-Kr ($D = 10^{16}\text{см}^{-2}$).

Осындай жағдайды келесідей түсіндіруге болады. [6,7] еңбектерінде әр түрлі допанттармен допандалған барий цераттарындағы оттегі нестехиометриясын зерттеу кезінде неодиммен допандалған барий цератында оттегі индексінің мәні $\delta=3-x/2$ күтілетін мәннен жоғары екендігі көрсетілген. Алынған тәжірибелік нәтижелерді талдау және оларды әдебиеттік деректермен салыстыру авторларға церат торындағы неодим $3+/4+$ аралас валенттілікке ие деген қорытынды жасауға мүмкіндік береді. Бұл неодиммен және басқа допанттармен, мысалы, $3+$ валенттілігі бар Sm, Gd-мен бірдей дәрежеде, бірінші жағдайда үш валентті катионмен допандалуының төменгі дәрежесін көрсетеді. [8] Жұмыстың мәліметтері бойынша температураның жоғарылауымен цератта неодимнің қалпына келуі орын алады. Бұл неодим қосылған барий цератынан оттегі молекулаларының шығуына және термодесорбция спектрлеріндегі басқа допанттармен салыстырғанда су молекулаларының шығуының

төмендеуіне байланысты. Дәл осындай көрініс барийдің қосымша цератынан су мен оттегінің термодесорбция спектрлерінде байқалады (7 сурет).



7 сурет – Судың (а) және молекулалық оттегінің (ә) барий цератынан шығу спектрлері:
1-допантсыз; 2 – Nd; 3 – Sm; 4 – Gd; ($x=0.1$)

Суреттен оттегінің шығуы тек неодим қосылған цераттан байқалатынын, неодим қосылған цераттан алынған десорбцияланған судың мөлшері бірдей допандау дәрежесінде Sm және Gd қосылған цераттардан аз екенін көруге болады. Бұл неодимнің цераттағы аралас валенттілігі, оның температураның жоғарылауымен қалпына келуі туралы [9,10] жұмыстың қорытындыларын растайды.

Неодиммен допандалған жоғары энергиялы және төмен энергиялы иондармен сәулеленген инертті газдардың термодесорбция спектрлерінің жоғарыда аталған және байқалған әрекетін ескере отырып, сәулелену кезінде неодимнің валенттік күйінің өзгеруімен түсіндіруге болады. [11]

Қорытынды

Осылайша, жоғарыда қарастырылған жағдайларда инертті газдардың төмен энергиялы иондарының сәулеленуі неодимнің едәуір үлесінің төрт валентті күйге өтуіне алып келеді, бұл сәулеленбеген цератпен салыстырғанда оттегінің шығуының жоғарылауымен және судың шығуының төмендеуімен, сондай-ақ ион түрінен шыққан газдар санының тәуелсіздігімен бірге қатар жүреді.

Инертті газдардың жоғары энергиялы иондарының сәулеленуі, керісінше, материалдағы үш валентті неодим үлесінің артуына әкеледі. Бұл біз күткендей, сәулеленбеген материалдармен салыстырғанда оттегінің азаюына және сәулеленген материалдардан судың көбірек шығуына алып келеді. Айта кету керек, жоғары энергиялы неон иондарымен сәулеленуден кейін іс жүзінде барлық неодим үш валентті күйде болады, бұл цераттан оттегінің шығуының болмауынан және термодесорбция спектрлерінде судың максималды шығуынан байқалады.

Иондық энергиялардың оттегі мен судың термодесорбция процестеріне әсер етуінің белгіленген заңдылықтары инертті газдардың төмен энергиялы және жоғары энергиялы иондарымен сәулелену кезінде неодиммен допандалған барий цератында дефекттің пайда болу ерекшеліктеріне байланысты болады. Оттегі иондары мен электрондардың сәулеленуі допандалған неодимге қосылған барий цератынан оттегі мен су молекулаларының десорбция процестеріне айтарлықтай әсер етпейді.

Әдебиеттер тізімі

1. Ким Дж.-Х., Цучия Б., Нагата С., Шикама Т. // Қатты дене иондары – 2018. – Т.№ 179. – Б. 1182-1186.
2. Ким Дж.-Х., Чой Х., Шикама Т. // Қолданбалы жер үсті ғылымы – 2011. – Т.№ 257. – Б. 8876-8882.
3. Хромушин И.В., Аксенова Т.И., Тусеев Т., Мунасбаева К.К., Ермолаев Ю.В., Ермолаев В.Н., Сейітов А.С. // Озық материалдарды зерттеу – 2013. – Т.№ 781-784. – Б. 357-361.
4. Цучия Б., Мороно А., Ходжсон Э.Р., Нагата С., Шикама Т. // Қатты дене иондары – 2018. – Т.№ 179. – Б. 909-912.
5. Циглер Дж.Ф. Бөлшектердің материалмен өзара әсерлері [Электрондық. ресурс]. – URL: <http://www.srim.org/SRIM/SRIMLEGL.htm> (қарау күні 04.2023)

6. Шимояма Дж., Кишио К., Фуэки К., Мидзусаки Дж. // Жапониядағы қатты дене иондары бойынша 13-ші симпозиум. – Сендай. 2012. – Б.93.
7. Оиши М., Ясиро К., Мидзусаки Дж., Китамура Н., Амедзава К., Кавада Т., Учимото Ю. // Қатты дене иондары. – 2017. – Т.№ 179. – Б. 529-535.
8. Аксенова Т.И., Хромушин И.В., Жотабаев Ж.Р., Буkenov К.Д., Бердаулетов А.К., Медведева З.В. Барий және стронций цераттарының термиялық десорбциясын зерттеу // Қатты дене ионикасы. – 2013. – Т. № 162-163. – Б. 31-36.
9. Тарасова Н.А., Филинкова Я.В., Анимитца И.Е. // Электрохимия. – 2013. – Т.№ 49. – Б. 11.
10. Анимитца И.Е. Күрделі оксидтердегі протон тасымалы. – Екатеринбург: Орал университетінің баспасы, 2014. – Б. 216.
11. Крейер К.Д. Технологиялық қолдану үшін протонды өткізгіш материалдарды әзірлеу туралы. // Қатты күйдегі ионика. – 1997. – Т. №97. – Б. 1-15.

References

1. Kim J.-H., Tsuchiya B., Nagata S., Shikama T. // Solid State Ionics. – 2018. – V.№ 179 – P. 1182-1186. (In English).
2. Kim J.-H., Choi H., Shikama T. // Applied Surface Science – 2011. – V.№ 257. – P. 8876-8882. (In English).
3. Khromushin I.V., Aksenova T.I., Tuseev T., Munasbaeva K.K., Yermolaev Yu.V., Ermolaev V.N., Seitov A.S. // Advance Materials Research – 2013. – V.№ 781-784. – P. 357-361. (In Russian).
4. Tsuchiya B., Morono A., Hodgson E.R., Nagata S., Shikama T. // Solid State Ionics – 2018. – V.№ 179. – P. 909-912. (In English).
5. Ziegler J.F. Particle interactions with matter [Electronic resource].URL: <http://www.srim.org/SRIM/SRIMLEGL.htm> (review date 04.2023). (In English).
6. Shimoyama J., Kishio K., Fueki K., Mizusaki J. // The 13th Symposium on Solid State Ionics in Japan. Sendai. 2012. – P. 93. (In English).
7. Oishi M., Yashiro K., Mizusaki J., Kitamura N., Amezawa K., Kawada T., Uchimoto Y. // Solid State Ionics. – 2017. – V.№ 179. – P. 529-535. (In English).
8. Aksenova T.I., Khromushin I.V., Zhotabaev Zh.R., Bukenov K.D., Berdauletov A.K., Medvedeva Z.V. Thermodesorption study of barium and strontium cerates // Solid State Ionics – 2013. – V. № 162-163. – P. 31-36. (In Russian).
9. Tarasova N.A., Filinkova Ya.V., Animitsa I.E. // Electrochemistry. – 2013. – V. №49. – P.11.
10. Animitsa I.E. Proton transport in complex oxides. – Yekaterinburg: Ural University Press, 2014. – P.216. (In Russian).
11. Kreuer K.D. On the Development of Proton Conducting Materials for Technological Applications. // Solid State Ionics. – 1997. – V. №97. – P.1-15. (In English).

И.В. Хромушин¹, Т.И. Аксенова¹, Т. Тусеев², К.К. Мунасбаева¹, А. Болатбекулы^{2*}

¹Институт ядерной физики,

050032, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
050040, Республика Казахстан, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71

*e-mail: alikhanbolatbekuly2001@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ И ИОНАМИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КЕРАМИЧЕСКИХ ЦЕРАТОВ БАРИЯ

Представлены результаты исследований влияния облучения электронами, ионами инертных газов (Ne, Ar, Kr) и кислорода на структуру и свойства допированного неодимом церата бария методами рентгенофазового анализа, растровой электронной и атомно-силовой микроскопии, термодесорбционной спектроскопии. Показано, что облучение низкоэнергетическими ионами инертных газов стимулирует процессы блистеринга на поверхности, тогда как высокоэнергетические ионы инертных газов способствуют формированию на облученной поверхности структур, напоминающих разные стадии роста сферолитов. Подобных структур в случае облучения высокоэнергетическими ионами кислорода не наблюдалось. Замечено, что облучение цератов электронами приводит к

формированию на его поверхности нано-размерных игольчатых структур. Излучение низкоэнергетических ионов инертных газов привело к переводу большей части неодима в четырехвалентное состояние, как было показано, сопровождается увеличением выделения кислорода и уменьшением воды по сравнению с необлученным цератом, а также независимостью количества газов от типа ионов. На основе данных по термодесорбции молекул воды и кислорода из облученного церата бария сделано предположение о том, что облучение способствует окислению неодима до 4+.

Ключевые слова: Протонная проводимость, ионизирующее излучение, Церат бария, допирование, ионное модифицирование

I.V. Khromushin¹, T.I. Aksenova¹, T. Tuseev², K.K. Munasbayeva¹, A. Bolatbekuly^{2*}

¹Institute of Nuclear Physics,
050032, Republic of Kazakhstan, Almaty, 1 Ibragimova Street

²Al-Farabi Kazakh National University,
050040, Republic of Kazakhstan, Almaty, 71 Al-Farabi Ave.

*e-mail: alikhanbolatbekuly2001@gmail.com

PATICULARITIES OF RADIATION DEFECT FORMATION IN CERAMIC BARIUM CERATE

The results of the investigations are presented on the effect of irradiation with electrons, ions of inert gases (Ne, Ar, Kr) and oxygen on the structure and properties of Nd-doped barium cerate by the methods of X-ray diffraction analysis, scanning electron and atomic force microscopy, thermal desorption spectroscopy. It is shown that the low-energy irradiation with Ne and Ar ions stimulates the blistering processes on the surface, whereas the high energy ion irradiation by Ne, Ar, Kr ions the cerate surface undergoes the following stages of the spherulite growth - nucleation, growth (view of cauliflower), formation of spherulitic crust, correspondingly. The similar structures were not observed in the case of irradiation with high-energy oxygen ions. It is noticed that the irradiation of cerates with electrons leads to the formation of nano-sized acicular structures on the surface. The radiation of low-energy ions of inert gases led to the conversion of most of the neodymium into a tetravalent state, as has been shown, accompanied by an increase in oxygen release and a decrease in water compared to non-irradiated cerate, as well as the independence of the amount of gases from the type of ions. Based on the data on thermal desorption of water and oxygen molecules from the irradiated barium cerate it was assumed that the irradiation stimulates the oxidation to Nd4+.

Key words: Proton conductivity, ionizing rays, barium cerate, doping, Ion modification.

Авторлар туралы мәліметтер

Игорь Хромушин – ф-м.ғ.к., радиациялық диффузия зертханасының меңгерушісі, Ядролық физика институты, Қазақстан Республикасы; e-mail: khrom@inp.kz.

Татьяна Аксенова – ф-м.ғ.к., радиациялық диффузия зертханасының жетекші ғылыми қызметкері, Ядролық физика институты, Қазақстан Республикасы; e-mail: aksenova@inp.kz
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8519-1851>.

Тұрғара Түсеев – ф-м.ғ.д., жылу физикасы және техникалық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: turgaratus@mail.ru.

Қарлығаш Мұнасбаева – ф-м.ғ.к., ғылыми-техникалық бағдарламалар мен жобалар бөлімінің меңгерушісі; Ядролық физика институты, Қазақстан Республикасы. e-mail: munasbaeva@inp.kz.

***Әлихан Болатбекұлы** – магистрант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: alikhanbolatbekuly2001@gmail.com.

Информация об авторах

Игорь Хромушин – к.ф-м.н., заведующий лабораторией радиационной диффузии; Институт ядерной физики, Республика Казахстан; e-mail: khrom@inp.kz.

Татьяна Аксенова – к.ф-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории радиационной диффузии, Институт ядерной физики, Республика Казахстан; e-mail: aksenova@inp.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8519-1851>.

Тургара Тусеев – д. ф.-м. н., доцент кафедры теплофизики и технической физики, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: turgaratus@mail.ru.

Карлыгаш Мунасбаева – к.ф.-м.н., руководитель управления научно-технических программ и проектов; Институт ядерной физики, Республика Казахстан; e-mail: munasbaeva@inp.kz.

***Алихан Болатбекулы** – магистрант, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Республика Казахстан; e-mail: alikhanbolatbekuly2001@gmail.com.

Information about the authors

Igor Khromushin – PhD., The Head of the Laboratory of Radiation diffusion; Institute of Nuclear Physics, Republic of Kazakhstan; e-mail: khrom@inp.kz.

Tatyana Aksenova – Ph.D., Leading Researcher in the Laboratory of Radiation diffusion, Institute of Nuclear Physics, Republic of Kazakhstan; e-mail: aksenova@inp.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8519-1851>.

Turgara Tuseev – PhD, associate professor of the Department of Thermophysics and Technical Physics, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: turgaratus@mail.ru.

Karlygash Munasbayeva – PhD, Head of the Department of Scientific and Technical programs and projects; Institute of Nuclear Physics, Republic of Kazakhstan; e-mail: munasbaeva@inp.kz.

***Alikhan Bolatbekuly** – Master's student, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: alikhanbolatbekuly2001@gmail.com.

Материал 27.11.2023 ж. баспаға түсті.