

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 3 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/AFHU6838>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.
к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *д.т.н., профессор*
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD*
Омарова А.Р., *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университет

<https://doi.org/10.48081/ADOP2306>

***Д. Е. Ускенбаев¹, А. С. Ногай², А. Д. Ускенбаев³,
К. У. Жетписбаев⁴, С. Турмантай⁵**

^{1,2,3,4}С. Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.,

⁵ Қ. Сәтбаев университеті,

Қазақстан Республикасы, Нұр-Сұлтан қ.

БАЛҚЫМАДАН АЛЫНАТЫН ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРАЛЫ АСҚЫН ӨТКІЗГІШ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ ТҮЗІЛУІНЕ ЖӘНЕ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ЖАҒДАЙЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада ультракүлгін лазерлі сәулеленуді және спектрдің ультракүлгін, көрінетін және жақын инфрақызыл аймағын қамтитын оптикалық диапазонның кең спектрлік құрамының жоғары тығыздықты сәулеленуін қолдана отырып алынған балқымадан висмут негізіндегі жоғары температуралы өткізгіш қосылыстардың синтезі бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Балқымадан алынған бастапқы прекурсор-материалдарының асқын өткізгіш фазалардың пайда болуына әсері және асқын өткізгіш қыштың шекті параметрлері зерттелді. Бастапқы прекурсор-материалдарын балқымадан алу жағдайларына байланысты материалдардағы оттегі бойынша стехиометриялық құрамның бұзылуы орын алатыны және бұл стехиометрия асқын өткізгіш фазалардың пайда болу кинетикасы мен динамикасына, асқын өткізгіш қыш қасиеттеріне әсер ететіні анықталды.

Vi-2212 композициясының керамикалық үлгілері үшін төрт контактілі әдісті қолдана отырып асқын өткізгіштік күйге өту температурасын зерттеу арқылы өтудің басталуы (T_c) 80 К сәйкес келетіні анықталды. Ал Vi-2223 композиция үшін керамикалық үлгісі өтудің басталуы 112 К сәйкес келеді. Vi-2212 композициясының керамикасы үшін асқын өткізгіштік күйге өту ені 2 К, ал Vi-2223 керамика үшін өту ені шамамен 10 К. Кең ауысу үлгідегі қоспалардың болуымен және асқын өткізгіштің ақаулы құрылымымен байланысты болуы мүмкін.

Кілтті сөздер: асқын өткізгіштік, температура, қыш, сиптез, диффрактограмма, морфология, микроқұрылым.

Кіріспе

Қазіргі уақытта жоғары температуралы асқын өткізгіштер (ЖТАӨ) өзінің бірегей қасиеттерінің арқасында ғылым мен техниканың - энергетика, электроника, медицина, байланыс және басқа да алдыңғы қатарлы бағыттарында қолданылатын маңызды материалдардың біріне айналуға және қолдану аясы кеңейуде [1-3]. Дегенмен, ЖТАӨ материалдар әртүрлі салаларда қолданылғанымен, кеңінен қолдану мүмкіндіктері оның құнымен, технологиялық орындаудың күрделілігімен және шекті параметрлердің мәндерімен анықталады.

Мақсаттық ЖТАӨ материалының маңызды параметрлерін анықтайтын негізгі факторларды - қажетті фазалық құрамды, қажетті жұқа құрылымды, микроқұрылымды, морфологияны, тығыздықты және басқаларды қамтамасыз ету, яғни өндіріс тәсілдеріне тәуелді болатын оңтайлы параметрлерді жасау оңай мәселе емес.

Көптеген зерттеулер нәтижелерін саралау қажетті шекті сипаттамаларға ие (әсіресе ток бойынша) материалды қатты фазалық реакциялардың кең таралған әдісімен алудың қиындығын көрсетеді.

Қажетті шекті көрсеткіштерге ие, белгілі фазалық құрамды ЖТАӨ материалдарды алу мәселелерін шешудің бір бағыты балқымалық әдістерді және олардың түрөзгерістерін дамыту болып табылады [4, 5]. Соның ішінде шыны-кристалдық және шынытекес (аморфты) күйлерді алуға бағытталған әдістер дамып келеді, олар дәстүрлі қатты фазалық әдістерге қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие. Бұл әдістер жоғары тығыздықты, түйіршік өлшемі реттелетін, морфологиясы мен микроқұрылымы қажетті деңгейде болатын өнім алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар бұл әдісте бұйымды іс жүзінде қолданудағы аса маңызды көрсеткіштер – оның қажетті өлшемі мен пішінін жоспарлау мүмкіндіктері болады.

Қазіргі уақытта ЖТАӨ қосылыстарының иттрий, таллий, сынап, висмут және басқа элементтер негізіндегі бірнеше кластары белгілі болса да, шыны-кристалдық және аморфтық тәсілдерді жүзеге асыруда тек висмут кең қолданыс тапты. Өйткені балқыманы шыңдау кезінде аталған кластардың ішінде тек висмут негізіндегі қосылыстар ғана тұрақтанған шыны күйді бере алады.

Висмут негізіндегі асқын өткізгіш қосылыстар $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{-1Cu}_n\text{O}_y$ ($n = 1, 2, \dots$) гомологиялық қатарын түзетіндігі белгілі, олардың ішінде $n=2$ және 3 кезіндегі қосылыстар ең тұрақтылары болып табылады, олардың асқын өткізгіш күйге ауысуларының шекті температуралары сәйкесінше

шамамен 85К және 107К болады. Бұл қосылыстар қазіргі уақытта қолданысқа көптеп енген [6-8].

Алайда шекті параметрлері жоғары (әсіресе шекті ток) белгілі құрамды материалдарды алу мәселесі толық шешімін таппаған және ол өзекті мәселе болып табылады. ЖТАӨ материалдарының шекті сипаттамаларына әсер ететін айқындаушы факторларға құрылым, тығыздық, фазалық құрам, пинниг орталықтар, ішкі құрылымның ерекшеліктері және т.б. шамалар жағады, сондықтан да зерттеушілер осы көрсеткіштердің қажетті деңгейін алуға тырысады. ЖТАӨ қыштың бұл көрсеткіштерінің шамасына бастапқы прекурсор-материалдар әсер етуі мүмкін. Бастапқы прекурсор-материалдар ретінде балқымадан алынатын шыны-кристалдық және аморфтық құрылымдарды қолдануға болады.

Ұсынылып отырған жұмыстың мақсаты – балқымадан алынатын прекурсор материалының висмут негізіндегі ЖТАӨ қыштың қасиеттеріне және фазалық құрамына әсерін зерттеу.

Материалдар және зерттеу әдістері

Bi_2O_3 - PbO - SrO - CaO - CuO жүйесінде $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ және $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ номиналдық құрамдағы ЖТАӨ қыш үлгілерін балқыту тәсілімен алу үшін келесідей реактивтер қолданылды: «а.ү.т» маркалы висмут (III) нитраты, «т» маркалы қорғасын (II) оксиді, «т» маркалы стронций карбонаты, сондай-ақ «а.ү.т.» маркалы кальций және мыс (II) оксидтері. Шикіқұрамды дайындау алдында реактивтер 150 °С температурада 3 сағат бойы қыздырылды, содан кейін мұқият араластырылған шикіқұрам 180 МПа қысыммен нығыздалып, диаметрі 15 мм және қалыңдығы 3 мм таблеткалар алынды. Балқыту процесі алдында үлгілер муфель пешінде 750-800 °С температурада 2 сағат бойы күйдірілді. Салыстырмалы талдау жүргізу мақсатында бастапқы прекурсор-материалдарды алу процесі әр түрлі тәсілдермен жүргізілді: корунд тигельде муфель пешінде балқыту; сынама-таблеткалардың бетіне лазерлік УК сәулеленумен тікелей әсер ету арқылы балқыту; сондай-ақ кең спектрлік құрамды (көрінетін, ИҚ және УК сәулелер) жоғары тығыздықты сәулемен балқыту арқылы алынды. Балқыманы шыңдау қарама-қарсы бағытта айналатын екі мыс білік арасынан өткізу және шашырату арқылы жүзеге асырылды.

Фазалық құрам ДРОН-6 дифрактометрінде рентген-дифракциялық әдіспен, $\text{CuK}\alpha$ - сәулелену көмегімен жүзеге асырылды. Үлгілердің микроқұрылымы Jeol JCM-64901a электронды растрлық микроскопта зерттелді. Үлгілерді элементтік талдау Optima 2000 DV индуктивті байланысқан плазмасы бар атом-эмиссиялық спектрометрде жүргізілді. Үлгілердің шекті параметрлері меншікті кедергінің температураға

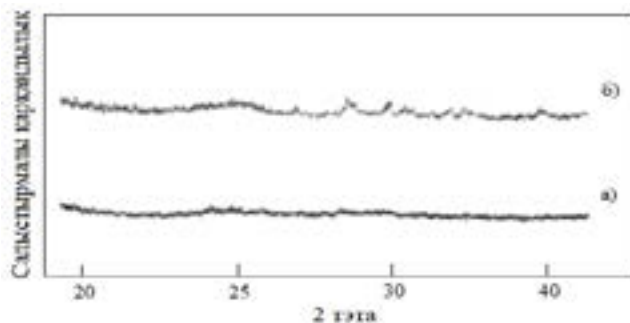
тәуелділігін төрт зонд әдісімен өлшеу және магниттік сезімталдықтың температураға тәуелділігін өлшеу арқылы анықталды.

Нәтижелері және оларды талқылау

Бастапқы прекурсор-материалдардың асқын өткізгіш қыштың фазалық құрамы мен қасиеттеріне әсерін анықтау үшін балқыманы балқыту және шыңдау әр түрлі тәсілдермен жүргізілді, яғни энергия көзі ретінде әр түрлі сәулелену энергиясы пайдаланылды.

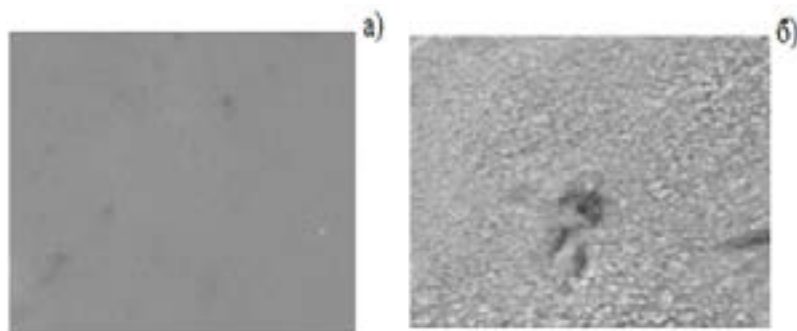
Бірінші жағдайда, салыстырмалы талдау үшін бастапқы шикіқұрамды корунд тигельде 1050-1100°C температурада 4 сағат бойы балқыту жүзеге асырылды, балқыманы шыңдау қарама-қарсы айналатын екі мыс білік арасынан өткізу және шашырату, яғни балқыманы тот баспайтын болаттан жасалған сумен салқындалатын айналмалы дискіге құю арқылы жүзеге асырылды. Балқыманы шыңдау нәтижесінде мыс білікшелер арасынан қалыңдығы шамамен 0,1 мм пластинкалар алынды; ал шашырату арқылы шыңдау кезінде әртүрлі пішінді, өлшемі 3 мм дейінгі кесектер, қалыңдығы 0,1-0,3 мм тілшелер, ұзындығы 10 мм дейінгі инелер және диаметрі 1,5 мм дейінгі шар тәрізді прекурсор-материалдары алынды. Бастапқы прекурсор-материалдардың құрамы келесідей болды: қалыңдығы шамамен 0,1 мм тілшелер мен инелер шыны тәрізді фазада болды, ал түйіршік үлгілері кристаллиттерден тұрды.

Екінші жағдайда, үлгіні УК лазермен балқыту жүзеге асырылды. Лазерлік сәуле шоғының диаметрі 2 мм болды, осыған байланысты балқыту шағын аймақта жүргізілді. Алайда үлгі құраушыларының қарқынды булануы байқалды. Үлгінің балқытылған бөлігінің фазалық құрамын зерттеу дифрактограммаларда кристалдық фазалардың рефлекстері пайда болғанын көрсетті, шындар негізінен 1-суреттегі дифрактограммаға сәйкес келеді. Бұл жағдайда дифрактограммада аморфты фазаның іздері байқалады.



1-сурет – Балқымадан алынған бастапқы прекурсор-материалдардың дифрактограммалары (а – лазерлік сәулеленумен балқытылған үлгінің беті; б – шашырату жолымен алынған жұқа қабатты тілшелер)

Муфель пешінде балқытып, кейін балқыманы шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдардың микроқұрылымын зерттеу нәтижелері аздаған кристалдық фазаның қатысын көрсетеді (2–сурет). Кристалдық фазаның мөлшері 2212 үлгінің құрамында 2223 үлгісіне қарағанда төмен, 2223 құрамының кристалдануға бейімділігі кальций мен мыс мөлшерінің жоғарылауы кезінде байқалады. Бұл кезде прекурсор-материалдары құрамының біртектілігі төмендейді.



2-сурет – Муфель пешінде балқытып, шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдардың микроқұрылымдары. а) балқыманы мыс біліктер арасынан өткізу арқылы шындалған прекурсор-материалдар; б) балқыманы шашырату арқылы шындалған прекурсор-материалдар

Келесі тәсілде үлгіні балқыту нихромды қыздырғышы бар құбырлы пештің және қуаты төмен ультракүлгін лазердің бір уақыттағы әсері арқылы жүзеге асырылды. Үлгі тік құбырлы пештің ішіне орналастырылып, балқу алды температурасына (840-850 °C) дейін қыздырылды. Содан кейін лазерлік сәулеленудің әсерінен сынаманың төменгі бөлігі балқытылып, шыңдау құрылғысына, яғни бүріккішке ағызылды. Бұл кезде де балқымадан шыңдалған прекурсор-материалдар тілшелер, инелер, кесектер және ұсақ дисперсті шар пішінді болып шықты. Үлгілердің дифрактограммасы бірінші жағдайдағыдай фазалық құрам көрсетті.

Үшінші жағдайда сынамаларды балқыту оптикалық диапазонда, оның ішінде УК, көрінетін және жақын ИҚ спектрлік аймақтарды қамтитын жоғары тығыздықты сәулелену ағынының әсерінен жүзеге асырылды. Сәуле үлгі жиегінің бетіне бағытталды және үлгі балқи отырып, шыңдау құрылғысына ақты. Құрылғыда шыңдалған барлық үлгілер басқа тәжірибелердегідей ұқсас пішіндерге ие болды. Кристалдық фазалардың дифрактограммалары (кесектер, қалың қабырғалы тілшелер, үлкен өлшемді шарлар) тек рентгендік шағылудың қарқындылығымен және қарқындылығы төмен қосымша рефлекстердің пайда болуымен ерекшеленді.

Үлгілердің элементтік құрамын зерттеу муфель пешінде балқытылған, құрылғыларда шыңдалған прекурсор-материалдарында кальций мөлшерінің стехиометриялық деңгейден біраз ауытқуын (төмендеуін) және оттегінің 10-15 % азайғанын көрсетті.

Ультракүлгін сәуле көмегімен балқыту кезінде үлгі компоненттерінің қарқынды булануы байқалды. Сәуле шоғырының диаметрі кішкентай болуына (2 мм) байланысты шыңдау үшін үлгіні толық балқыту мүмкін болмады, балқу тек шектеулі аймақта жүргізілді. Үлгінің балқытылған бөлігіндегі катиондардың мөлшері стехиометриялық деңгейден айтарлықтай ерекшеленбеді. Оттегі мөлшері 3-5 %-ға жоғарылады.

Муфель пешінде қыздыру арқылы балқытылып, шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдар мен әлсіз УК лазерлік сәулеленуді пайдалану кезіндегі үлгілердің элементтік құрамы стехиометриялық шамадан ауытқымады. Оттегінің мөлшері де есептік шектерде болды.

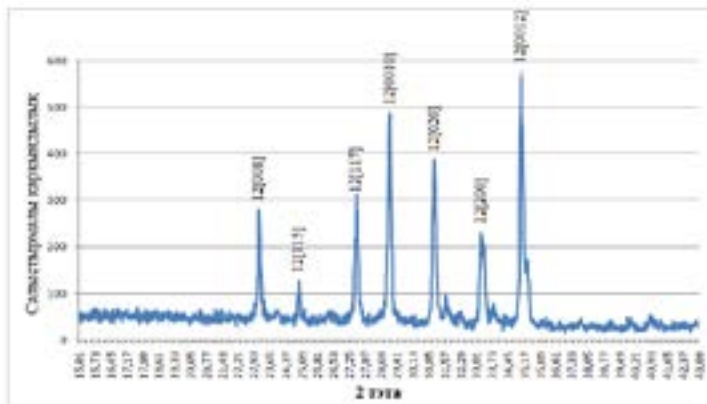
Спектрдің УК, көрінетін және ИҚ аймақтарын қамтитын оптикалық диапазондағы жоғары тығыздықтағы сәулеленудің әсерінен түзілген балқыманы шыңдау арқылы алынған прекурсор-материалдардың катиондық құрамында кальций және қорғасын мөлшерлері бойынша аздаған ауытқу байқалды. Оттегі мөлшері стехиометриялық құраммен салыстырғанда 15-20 %-ға артты.

Одан әрі асқын өткізгіш қышты синтездеу үшін аморфты прекурсорлар (тілшелер, инелер, шарлар) негізіндегі бастапқы прекурсор-материалдар

ірілігі $d \leq 2$ мкм шамаға дейін ұнтақталып, диаметрі 10 мм, ал қалыңдығы 2,5 мм табақша түрінде престелді.

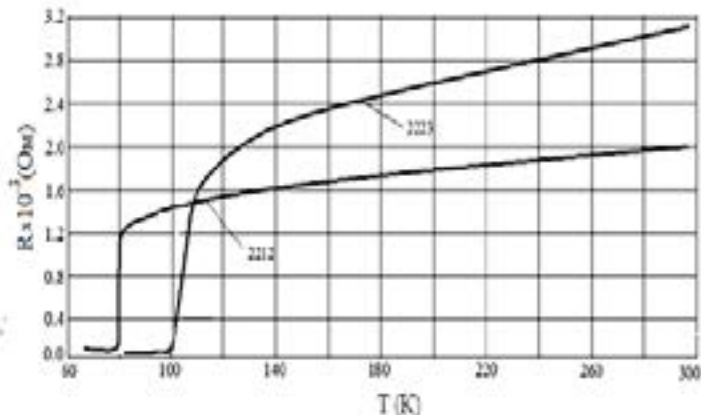
Асқын өткізгіш фазалардың синтезі 700 °С-тан 850 °С-қа дейінгі температураларда изотермиялық режимде термиялық өңдеу арқылы жүзеге асырылды, термо-өңдеу уақыты 25-160 сағат аралығында болды.

$\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ (2212) номиналды құрамы үшін 2212 асқын өткізгіш фазасы 700 °С-тан жоғары температурада түзіле бастады. 2212 асқын өткізгіш фазасы түзілуінің максимал жылдамдық температурасы 840-850 °С аралығында болды. Сонымен қатар, түзілудің максимал жылдамдығы лазер сәулесі мен оптикалық диапазондағы сәулелік ағынының әсерінен алынған бастапқы прекурсор-материалдар негізінде дайындалған үлгілер жағдайында байқалды. 25-30 сағаттық термиялық өңдеуден кейін дифрактограммада тек 2212 фазасына қатысты рефлекстер ғана көрінді (3-сурет), ал тигельде алынған прекурсор-материалдар негізінде дайындалған үлгілерде ЖТАӨ 2212 фазасының мөлшері тек 35–40 % болды. Бұл жағдайда 2212 фазасының толық қалыптасуы ұзақ термиялық өңдеу кезінде (90-100 сағат) жүзеге асты.



3-сурет – Оптикалық диапазонды сәулелер әсерінен балқымадан алынған прекурсор-материалдар негізінде синтезделген 2212 құрамындағы ЖТАӨ үлгісінің дифрактограммасы (* – 2212 фаза)

$\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$ (2223) номиналды құрамы үшін ЖТАӨ фазаларының түзілу механизмі 2201→2212→2223 гомологиялық қатарының сызбасына сәйкес келеді. Барлық зерттелген үлгілерде 2212 асқын өткізгіш фазасы 700 °С жоғары температурада түзіле бастады.



5-сурет – Оптикалық диапазонды сәулелену әсерімен балқымадан синтезделген 2212 (1) және 2223 (2) құрамды ЖТАӨ үлгілері кедергісінің температураға тәуелділігі

Муфель пешінде балқыту арқылы алынған прекурсор-материалдар негізіндегі үлгіге келетін болсақ, қажетті фазаның түзілу жылдамдығы әлдеқайда баяу болды. Синтез уақыты 120 сағат жағдайында дифрактограммада негізгі 2223 асқын өткізгіш фазасынан басқа төмен температуралы асқын өткізгіш 2212 фазасының рефлекстері, сондай-ақ қоспалық саналатын, асқын өткізгіш емес фазалардың аз қарқындылықтағы рефлекстері болды. Өңдеу уақыты 160 сағатқа дейін ұзартылған кезде негізгі асқын өткізгіш фаза 2223 фазасы болды, үлгіде 2212 фазасының іздері ғана қалды. Температура 848 °С және 120 сағат жағдайында муфель пешіндегі балқымадан алынған термиялық өңделген үлгі кедергісінің температураға тәуелділігін өлшеу 2212 және 2223 асқын өткізгіш фазалар қоспасының болатындығын көрсетті. Өр түрлі тәсілдермен алынған прекурсор-материалдар негізіндегі ЖТАӨ қосылыстарын синтездеу нәтижелерін салыстырмалы талдау жоғары шекті параметрлері бар асқын өткізгіш 2212 және 2223 фазаларының түзілу жылдамдығы УК лазерлік сәуле және оптикалық сәуле энергиясын қолдану арқылы алынған прекурсорлар жағдайында стандартты қатты фазалық әдіспен немесе муфель пештегі балқымадан алынған прекурсорлық материалдар негізінде синтезделген қыштан 2–2,5 есе асып түсетінін көрсетті. Барлық зерттелген үлгілер бірдей жағдайларда синтезделгендіктен ЖТАӨ түзілу жылдамдығына бастапқы материалдардың қасиеттері мен құрамы әсер етті. Элементтік құрамды зерттеу нәтижесі 2212 және 2223 номиналды құрамдарын балқыту кезінде катиондар бойынша стехиометриялық құрамнан

үлкен ауытқу жоқтығын көрсетті және [9–11] авторларының деректері бойынша 2212 және 2223 құрам үшін катионды алмастыру бойынша гомогенділіктің кең аймақтарының пайда болуы байқалады. Бұл катиондық құрам бойынша елеусіз ауытқулардың фазалардың түзілу жылдамдығына әсер етпейтіндігін білдіреді. Мұндай жағдайда жылдамдыққа прекурсор материалдарындағы оттегінің мөлшері әсер етуі мүмкін. [10] жұмысында висмут негізіндегі ЖТАӨ шыны-кристалды әдіспен синтездеу кезінде балқытылған әдістердегі материалдардың балқу процесінде балқымадағы оттегінің мөлшері төмендейтіндігін және моновалентті мыс $R(\text{Cu}^+) = \text{Cu}^+ / (\text{Cu}^{2+} + \text{Cu}^+) = 0,7\text{--}0,8$ болатындығын атап өткен. Осы тәуелділікке сай муфель пешінде балқыту арқылы алынған прекурсорлық үлгілерде оттегінің мөлшері стехиометриялық мөлшермен салыстырғанда 10-15 %-ға төмен болды және 2212, 2223 асқын өткізгіш фазаларының түзілу жылдамдығы 2 есе немесе одан да баяу болды. Тығыз прекурсор-материалдардағы оттегінің жетіспеушілігі термиялық өңдеу кезінде үлгідегі оттегі диффузиясын баяулату салдарынан асқын өткізгіш фазаның түзілу жылдамдығын төмендететін болуы тиіс. УК сәуле және оптикалық диапазонды жоғары тығыздықты сәуле ағынының әсерімен алынған прекурсор-материалдар жағдайында оттегі деңгейі стехиометриялық құраммен салыстырғанда жоғары болды. Прекурсор-материалдардағы оттегінің жоғары мөлшері бірнеше шарттарға байланысты болуы ықтимал. Біріншіден, радиацияның анизотроптық әсерінен балқу процесі үлгінің атмосфералық оттегідегі жұқа бетінде жүреді, бұл кезде оттегінің балқымадағы ерігіштігі жоғары болады. Екіншіден, жоғары қарқынды лазерлік мен оптикалық сәулелер әсерінен балқыма 1250–1300 °C температураға дейін қызады, бұл кезде атмосфералық оттегі ионданып, озон түзеді. Ал озон жоғары тотықтырғыш қасиетке ие және оның балқымадағы ерігіштігі жоғары болады. Озонның қатысуымен ауыспалы валентті катиондар жоғары валентті күйге өтеді, сөйтіп асқын өткізгіш фазалардың түзілу жылдамдығы жоғарылайды.

Қорытынды

Құрамында висмуты бар ЖТАӨ қышты синтездеуде бастапқы прекурсор-материалдардың құрамы мен қасиеттерінің әсерін анықтау үшін УК лазерлік сәулелену және жоғары тығыздықты кең спектрлі (УК, көрінетін, ИК) сәулелену энергияларының әсерінен бастапқы материалдар - шыны тәріздес күйдегі прекурсорлар синтезделді. Прекурсор-материалдардың элементтік құрамын зерттеу катиондық құрамы бойынша айтарлықтай елеулі айырмашылықтар байқалмағанын көрсетті, ал муфель пештен алынған прекурсор-материалдарда оттегі жетіспеушілігі және керісінше, УК лазерлік сәулелену және жоғары тығыздықты сәулелену энергиясы әсерінен алынған прекурсор-материалдарда оттегінің артық мөлшері байқалды. Бастапқы

прекурсор-материалдар негізінде ЖТАӨ қышты синтездеуде, асқын өткізгіш фазалардың түзілу жылдамдығы сәуле энергиясын қолдану арқалы алынған прекурсорларда муфель пешінде алынған прекурсорға қарағанда 2–2,5 есе жылдам екендігі және ол оттегінің артық мөлшері себебінен болатындығы анықталды. Дифрактограммада бөлшектердің басым құрылымы [001] кристаллографиялық жазықтық бойымен бағытталғаны байқалады.

Алғыс. Зерттеу жұмысы ҚР БҒМАР0 АР09260251 грантының қаржылық қолдауы шеңберінде орындалды.

ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ

1 **Свистунова, О. И.** Разработка и создание ВТСП устройств в КНР // Информационный бюллетень «Сверхпроводники для электроэнергетики». – М: НИЦ Курчатовский институт, 2015. – т. 12, № 3. – С. 9–12.

2 **Захарова, Е. И.** Применение высокотемпературной сверхпроводимости в металлургической промышленности / Е. И. Захарова, М. М. Суяндиков. // Технические науки в России и за рубежом : материалы V Междунар. науч. конф. – М.: : Буки-Веди, 2016. – С. 23–29.

3 **Гояла, А.** Токонесущие ленты второго поколения на основе высокотемпературных сверхпроводников / Под ред.; Пер. с англ.; Ред. пер. А. Р. Крауль. М. : Издательство ЛКИ, 2009. – 432 с.

4 **Ускенбаев, Д. Е.** Фазовой состав и свойства ВТСП $\text{Bi}_{1-7}\text{Pb}_{0-3}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_n+1\text{O}_y$ ($n = 2, 3, 4$) на основе прекурсоров, полученных методом быстрой закалки расплава // Хим. и химич. технол.: Тез. докл. между. конф. им. акад. Жаворонкова. – М., 2007. – С. 255–257.

5 **Mora, M., Lopez-Gascon, C., Angurel, L. A., De la Fuente G. F.** The influence of support temperature on Bi-2212 monoliths textured by diode laser zone melting // Supercond. Sci. Technol. – Philadelphia, 2004. – № 17. – P. 1129-1133.

6 **Михайлов, Б. П., Кадырбаев, А. Р., Михайлова, А. Б.** Современное состояние и перспективы разработки и применения сверхпроводников на основе ВТСП соединений, Журнал Функциональных материалов, 2008, № 6, – С. 245–256.

7 **Шамрай, В. Ф., Лазарев Э. М., Нижанковский В. И., Акимов И. И., Комаров А. О., Михайлова А. Б.** Сверхпроводящие материалы из Bi-ВТСП для использования в сильных магнитных полях при гелиевых температурах.// Сб. расш. тезисов первой между. Конф «Фундаментальные проблемы высокотемпературной сверхпроводимости», Москва-Звенигород, 2004 г., – С. 337.

8 **Majewski, P., Su, H. L., Hettich, B.** The High-Tc Superconducting Solid Solution $\text{Bi}_{2+x}(\text{Sr},\text{Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ (2212Phase)-Chemical Composition and

Superconducting Properties // Adv. Mater. – Malden, 1992. – V. 4. – № 7/8. – P. 508-511.

9 **Nomura, S., Yamashita, T., Yoshino, H., Ando, K.** Cation Deficiency in $\text{Bi}_2(\text{Sr,Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // J. Am. Ceram. Soc. – Malden, 1991. – V. 74. – № 10. – P. 2711–2714.

10 **Ikuta, H., Kushimoto, T., Enomoto, H., Namuto, S.** X-Ray Photoemission Spectroscopy Study on $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_1+x\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // Phase Transit. – Milton, 1993. – V. 42. – № 12. – P.1–5.

11 **Мурашов В. А., Фролов А. М., Лебедев А. В.** Катионное замещение в висмутовых сверхпроводящих купратах // I Всесоюз. совещ. по ВТСП. Тез. докл. – Харьков, 1988. – Т. 3. – С. 116–118.

REFERENCES

1 **Svistunova, O. I.** Razrabotka i sozdaniye VTSP ustroystv v KNR [Development and creation of HTSC devices in China] // Information bulletin «Superconductors for the electric power industry». - M: NRC Kurchatov Institute, 2015. – Vol. 12, No. 3. – P. 9–12.

2 **Zakharova, Ye. I.** Primeneniye vysokotemperaturnoy sverkhprovodimosti v metallurgicheskoy promyshlennosti [Application of high-temperature superconductivity in the metallurgical industry]// Technical sciences in Russia and abroad: materials of the V Intern. scientific conf. – M. : Buki-Vedi, 2016. – P. 23–29.

3 **Goyala, A.** Tokonesushchiye lenty vtorogo pokoleniya na osnove vysokotemperaturnykh sverkhprovodnikov [Current-carrying tapes of the second generation based on high-temperature superconductors] / Ed.; Per. from English; Ed. per. A.R. Kraul. M. : LKI Publishing House, 2009. – 432 p.

4 **Uskenbayev, D. Ye.** Fazovoy sostav i svoystva VTSP $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_y$ ($n = 2, 3, 4$) na osnove prekursorov, poluchennykh metodom bystroy zakalki rasplava [Phase composition and properties of HTSC $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_n\text{Cu}_{n+1}\text{O}_y$ ($n = 2, 3, 4$) based on precursors obtained by rapid melt quenching] // Chem. and chem. technol.: Tez. report int. conf. them. acad. Zhavoronkov. – M., 2007. – P. 255-257.

5 **Mora, M., Lopez-Gascon, C., Angurel, L.A., De la Fuente G.F.** The influence of support temperature on Bi-2212 monoliths textured by diode laser zone melting // Supercond. Sci. Technol. – Philadelphia, 2004. – № 17. – P. 1129–1133.

6 **Mikhaylov, B. P., Kadyrbayev, A. R., Mikhaylova, A. B.** Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razrabotki i primeneniya sverkhprovodnikov na osnove VTSP soyedineniy [Current state and prospects for the development and application of superconductors based on HTSC compounds] Journal of Functional Materials, 2008, No. 6, – P. 245–256.

7 **Shamray, V. F., Lazarev, E. M., Nizhankovskiy, V. I., Akimov, I. I., Komarov, A. O., Mikhaylova, A. B.** Sverkhprovodyashchiye materialy iz Bi-VTSP dlya ispol'zovaniya v sil'nykh magnitnykh polyakh pri geliyevykh temperaturakh [Superconducting materials from Bi-HTSC for use in strong magnetic fields at helium temperatures]// Sat. ext. abstracts of the first int. Conf. «Fundamental problems of high-temperature superconductivity», Moscow-Zvenigorod, 2004, – P. 337.

8 **Majewski, P., Su, H. L., Hettich, B.** The High-Tc Superconducting Solid Solution $\text{Bi}_{2+x}(\text{Sr,Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ (2212Phase)-Chemical Composition and Superconducting Properties // Adv. Mater. – Malden, 1992. – V. 4. – № 7/8. – P. 508–511.

9 **Nomura, S., Yamashita, T., Yoshino, H., Ando, K.** Cation Deficiency in $\text{Bi}_2(\text{Sr,Ca})_3\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // J. Am. Ceram. Soc. – Malden, 1991. – V. 74. – № 10. – P. 2711-2714.

10 **Ikuta, H., Kushimoto, T., Enomoto, H., Namuto, S.** X-Ray Photoemission Spectroscopy Study on $\text{Bi}_2\text{Sr}_{2-x}\text{Ca}_{1+x}\text{Cu}_2\text{O}_{8+b}$ // Phase Transit. – Milton, 1993. – V. 42. – № 12. – P.1–5.

11 **Murashov, V. A., Frolov, A. M., Lebedev, A. V.** Kationnoye zameshcheniye v vismutovykh sverkhprovodyashchikh kupratakakh [Cation substitution in bismuth superconducting cuprates] // IAll-Union. meeting by HTSC. Tez. report – Kharkov, 1988. – T. 3. – P. 116–118.

Материал баспаға 15.09.22 түсті

*Д. Е. Ускенбаев¹, А. С. Ногай², А. Д. Ускенбаев³,

К. У. Жетписбаев⁴, С. Турмантай⁵

^{1,2,3,4}Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина;

⁵Сатбаев университет, Республика Казахстан, г. Астана.

Материал поступил в редакцию 15.09.22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА ВИСМУТОВЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ СОЕДИНЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ИЗ РАСПЛАВА

В работе приведены результаты исследования по синтезу висмутсодержащих высокотемпературных сверхпроводящих соединений из расплава, полученное с использованием ультрафиолетового лазерного излучения и высокоплотного излучения широкого спектрального состава оптического диапазона содержащий ультрафиолетовое, видимое и ближней инфракрасного

области спектра. Исследовано влияния исходных материалов-прекурсоров полученное из расплава на образования сверхпроводящих фаз и критические параметры сверхпроводящей керамики. Установлено, что в зависимости от условий получения исходных материалов-прекурсоров из расплава происходит нарушение стехиометрического состава по кислороду в образцах, что влияет на кинетику и динамику образования сверхпроводящих фаз и свойства сверхпроводящей керамики. В образцах с избыточным содержанием кислорода повышалась скорость образования сверхпроводящих фаз.

Исследованием температуры перехода в сверхпроводящее состояния по четырех контактному методу образцов керамики состава Bi-2212 установлены, что начало перехода (T_c) соответствует 80 К. А для керамического образца состава Bi-2223 начало перехода соответствует 112 К. Ширина перехода в сверхпроводящее состояния для керамики состава Bi-2212 составляет 2 К, а для керамики состава Bi-2223 ширина перехода около 10 К. Широкий переход, возможно, связан с присутствием примесей в образце и дефектной структурой сверхпроводника.

Ключевые слова: сверхпроводимость, критическая температура, керамика, синтез, дифрактограмма, фазовый состав.

*D. Uskenbaev¹, A. Nogaï², A. Uskenbaev³, K.Zhetpisbayev⁴, S. Tursyntay⁵

^{1,2,3,4}S. Seifullin Kazakh AgroTechnical University;

⁵Satbayev University, Republic of Kazakhstan, Astana.

Material received on 15.09.22.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF CONDITIONS ON THE FORMATION AND PROPERTIES OF BISMUTH HIGH-TEMPERATURE SUPERCONDUCTING COMPOUNDS OBTAINED FROM THE MELT

The paper presents the results of a study on the synthesis of bismuth-containing high-temperature superconducting compounds from a melt, obtained using ultraviolet laser radiation and high-density radiation of a wide spectral composition of the optical range containing ultraviolet, visible and near-infrared regions of the spectrum. The influence of the initial precursor-materials obtained from the melt on the formation of superconducting phases and the critical parameters of superconducting ceramics is investigated. It was found that, depending on the conditions for obtaining the initial precursor-materials from the melt, the stoichiometric

composition of oxygen in the samples is disturbed, which affects the kinetics and dynamics of the formation of superconducting phases and the properties of superconducting ceramics. In samples with an excess of oxygen content, the rate of formation of superconducting phases increased.

By studying the temperature of transition to the superconducting state by the four-contact method of ceramic samples of the composition Bi-2212, it was established that the beginning of the transition (T_c) corresponds to 80 K. And for a ceramic sample of the composition Bi-2223, the beginning of the transition corresponds to 112 K. The transition width to the superconducting state for ceramics of composition Bi-2212 is 2 K, and for ceramics of composition Bi-2223 the transition width is about 10 K. The wide transition may be related to the presence of impurities in the sample and the defective structure of the superconductor.

Keywords: superconductivity, critical temperature, ceramics, synthesis, diffractogram, phase composition.

Теруге 15.09.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.09.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

3 Mb RAM

Шартты баспа табағы 19,8. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3989

Сдано в набор 15.09.2022 г. Подписано в печать 30.09.2022 г.

Электронное издание

3 Mb RAM

Усл. печ. л. 19,8. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3989

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz