

<https://doi.org/10.51301/jemet.2024.i4.04>

Influence of synthesis conditions on the properties and critical parameters of a bismuth-containing high-temperature superconductor

A.G. Baratov*

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: aybol_baratov@mail.ru

Abstract. Superconductivity in bismuth materials is of great interest in modern solid-state physics and material engineering. Bismuth superconductors attract the attention of researchers with their unique properties, such as high conductivity temperature, Unusual Electronic Structure and potential for use in quantum technologies. Currently, high – temperature superconductors, due to their unique properties, are becoming one of the most promising materials used in the most advanced fields of Science and technology-energy, electronics, communications, medicine, space technology and others. On their basis, such elements and devices as current-carrying cables, current limiters, power transformers, electromagnetic screens, modulators, antennas, switches and filters of microwave and pulse signals, principle circuits of super-speed computers are manufactured. The annotation to this work contains current trends in research in the field of bismuth-based superconductors. Synthesis methods and characteristics of bismuth materials, their structure, superconducting properties and potential technological applications are discussed. The development challenges and prospects of this industry are also considered, including issues of improving the properties of materials, optimizing production and practical application in various fields such as energy, medicine, quantum computing and electronics. This annotation is an overview of the current state of research in the field of bismuth superconductors and is aimed at the scientific community interested in Solid State Physics, Materials Science and the development of advanced technologies.

Keywords: high temperature superconductor, superconductivity, bismuth.

1. Кіріспе

Қазіргі кезде жоғарытемпературалы асқынөткізгіштер (ЖТАӨ) ғылым мен техниканың алдыңғы қатарлы салаларында кең қолданылып келеді. Практикалық мақсатта қолдану үшін ЖТАӨ қажетті жұмыс параметрлеріне ие болуы тиіс. Әр түрлі салаларда қолданылатын ЖТАӨ үшін ең маңызды параметрлер – шекті (критикалық) температура, шекті ток және шекті магнит өрісі. ЖТАӨ материалының параметрлерін анықтайтын негізгі факторлар қажетті фазалық құрамы, тығыздық, құрылым, микроқұрылым (морфологиясы) және т.б. қолданылатын технологияға байланысты параметрлер. Көптеген зерттеулердің нәтижелерін талдау қатты фазалы реакциялардың ең кең тараған әдісі бойынша қажетті өткізгіштік параметрлерді алу күрделі екендігін көрсетті. Дәстүрлі керамикалық процестерді прекурсорлардың химиялық гомогенизациясымен үйлестіргенде де, бірге тұндыру әдісін қолдағанда да, бүрке кептіруді, аэрозоль пиролизімен, әр түрлі криохимиялық технологиялармен қолданылған кезде де оның негізінде жоғары J_c мәндері бар материал мен керамика алу өте қиын [1-4].

Жоғары температуралы асқын өткізгіштік (ЖТАӨ) ашылғаннан кейін әртүрлі қосылыстар (иттрий, висмут, таллий, сынап және т.б.) және алу тәсілдері (суперфазалы, балқытылған, шыны кристалды, химиялық және т.б.) критикалық параметрлерді (J_c) арттыру үшін асқын өткізгіш материалдар әзірленді және

критикалық температура (T_s). Жоғарыда аталған композициялардың ішінде асқын өткізгіштер бар Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген материалдар ең перспективалы болып саналады, өйткені олар олар жоғары сыни сипаттамалармен, айтарлықтай аз деградациямен және тұрақтылықпен сипатталады композиция.

Bi-ЖТАӨ фазалық құрамы мен қасиеттеріне синтез шарттарының әсерін талдау балқыту технологиясының белгілі бір артықшылықтары анықталды. Сұйық фазаның қатысуымен Синтез алуға мүмкіндік береді тығыз және кеуекті емес материалдар. Балқыманы қатайту кезінде сіз мыналарды ала аласыз-аморфты күйдегі материал, бұл дәндердің мөлшерін реттеу перспективасын анықтайды, және метастабильді бастапқы күйдің үлесіне байланысты фазааралық өзара әрекеттесудің жоғары жылдамдығы және тығыздығы жоғары материал. Сонымен қатар, бұл әдіс қатты фазаға қарағанда көбірек әкеледі текстуралы материал алу мүмкіндігін ұсынады.

ЖТАӨ фазаларының сериясында ең жоғары өткізгіштік сипаттамалардың бірі Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген қосылыстардан табылды [5,6]. Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген асқын өткізгіш фазалар оксидті өткізгіштер арасында болашағы зор деп саналады, өйткені олар жоғары шекті сипаттамалармен, жақсы механикалық қасиеттермен, айтарлықтай төмен деградациямен және құрамның тұрақтылығымен ерекшеленеді.

Шекті параметрлері жоғары ($T_c = 107-110$ K, $J_c = 103$ A және одан жоғары) берілген нақты құрамды фазалардың синтезі күрделі мәселе болып табылады. Бұл мәселелердің себебі мұндай жүйедегі өткізгіш фазалардың қалыптасу процесінің ерекшеліктерімен байланысты. ЖТАӨ фазаларының түзілу механизмін және фазалық құрамның синтез шарттары мен композиттік компоненттердің жеке қасиеттеріне тәуелділігін зерттеу құрамында Bi бар қажетті қасиеттерге ие ЖТАӨ алу проблемасын шешудің ғылыми негізделген жолы болып саналады.

Қазіргі уақытта техникаларды құру кезінде ЖТАӨ - технологиясының артықшылығы көптеген құрылғыларда антенна – фидерлік тракт элементтеріне дейін көрсетілген. Бұл бір суыту корпусында бір-бірімен қосылған бірнеше модульдері бар функционалды блоктарды жасауға кірісуге мүмкіндік береді, ЖТАӨ элементтерімен де, жартылай өткізгіш аспаптармен де. Мұндай блоктарды құру маңызды энергетикалық ұтыстарды алуға және габариттік өлшемдерді азайтуға мүмкіндік береді, сонымен қатар жүйелердің архитектурасында елеулі өзгерістерге әкелуі тиіс. Ақпаратты қабылдау және өңдеу аппаратурасының техникалық деңгейіндегі сапалық өзгерістер ЖТАӨ элементтерін, жартылай өткізгіш аспаптарды кең кешендеу және құрылатын байланыс құралдарының жүйелік идеологиясына жаңа көзқарас негізінде ғана мүмкін болатыны анық.

Критикалық ток өте сезімтал жоғары өткізгіштің ақаулы жағдайына сипаттама болып табылады, өйткені ол өріктің құйынды торының пиннинг орталықтарының жүйесімен өзара әрекеттесу физикасымен анықталады, олардың ролі әртүрлі табиғи, технологиялық және жасанды ақаулар ойнайды. Мысалы, nd ақауларының аз концентрациясы кезінде Пиннинг Абрикосовтың вихрей торы жеткілікті тиімді емес, және сыни ток шамасы оңтайлы емес. Ақаулар концентрациясының ұлғаюы пиннингті күшейтеді және аса өткізгіштің кейбір оңтайлы ақауы жағдайында ең жоғары мәнге дейін сыни токтың өсуіне әкеледі. Бақылаудағы ақауларды жасау тәсілін табу, сондай-ақ шарттарды анықтау, атап айтқанда, аса өткізгіш материалдардың сыни тогының айтарлықтай жоғарылауы байқалатын ақаулардың түрін, концентрациясы мен дисперсиялығын анықтау міндеттері өзекті болып табылады, бұл нәтижесінде нақты аса өткізгіш құрылғылардың тиімділігін арттыруға алып келеді.

$BiPbSrCaCuO$ жүйесіне негізделген жоғары температуралы асқын өткізгіштердің қасиеттері негізінен синтез бен термиялық өңдеудің технологиялық процестерімен анықталады. Технологиялық параметрлер фазалық құрамды анықтайды, бұл осындай материалдар үшін әсіресе микроқұрылым сипаты үшін аса маңызды. Осындай құрамды материалдар қоспалардың әсеріне, синтездің, термиялық өңдеу мен салқындатудың барлық кезеңдеріндегі температура-уақыт режиміне өте тәуелді болады.

ЖТАӨ 2212 және 2223 құрамдарының берілген фазалық құрамы дәстүрлі қатты фазалық реакция әдісін қолдана отырып сәтті жүргізіліп келеді; алайда, осы әдіспен материал құрылымын жасау және материалдың жоғары тығыздығына қамтамасыз ету өте қиын, ал бұл

ЖТАӨ жағдайында жоғары ток сипаттамаларын алудың қажетті шарты.

Электромагниттік сәулелену энергиясын (лазерлік, оптикалық) балқымада ЖТАӨ синтезіне қолдану қыздырғыш элементтер мен тигельден болатын қоспалардан құтылумен қатар басқа фазалық құрамын алу мүмкіндігіне байланысты оң әсер етеді. Бұл жағдайда салқындату кезінде басқарылатын режимі бар жылуды белгілі бағыт бойынша әкету мүмкіндігі кристаллиттердің бағытталған орналасуын қалыптастыруға және жоғары тығыздыққа қол жеткізуге мүмкіндік береді.

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

Жоғары температуралы асқын өткізгіштердің негізгі кластары(ЖТАӨ), құрылым ерекшеліктері және олардың сипаттамалары:

«Лантандық» асқын өткізгіш жүйе.

Жеке топқа бөлінген лантанмен қосылу ($La-Ba-Cu-O$ және $La-Sr-Cu-O$), ол арқылы Жоғары температуралы жоғары өткізгіштігі басталды. Олардың 40 K максималды мәні бар және практикалық маңызы әлі жоқ.

«Иттрийлік» асқын өткізгіш жүйе.

Ең көп таралған қосылыс - 93 K жоғары өткізгіш өту температурасымен (оттегінің оңтайлы құрамы кезінде) $YBa_2Cu_3O_x$ ($Y-123$). Соңғы уақытта $R-123$, мұнда R – сирек кездесетін элемент, $Dy-123$, $Ho-123$, $Gd-123$, $Sm-123$ жиі кездеседі. Ко максималды мәні 95 K. Осы қосылыстардың барлығы және олардан жасалған бұйымдар қазіргі уақытта өнеркәсіптік ауқымда өндіріледі және электрофизикалық құрылғыларда кеңінен қолданылады. Бұл- көлемді керамика және 2-ші буындағы ұзын өлшемді ЖТАӨ өткізгіштер.

«Висмут» жоғары температуралы асқын өткізгіш жүйе.

Висмут жүйесінің қосылыстары $Bi_2Sr_2Ca_nCu_{n+1}O_x$, мұндағы $n = 1, 2, 3$. $N=1$ ($Bi-2201$) қосылыс 20 K температурадан төмен жоғары өткізгіштікке ие, яғни мәні бойынша төмен температуралы аса өткізгіш болып табылады. Бірақ екі басқа, $n = 2$ және 3 ($Bi-2212$ және $Bi-2223$), Жоғары температуралы болып табылады, $T_c \sim 100$ K және 110 K. $Bi-2223$ молекуладағы оттегі құрамы шамамен тұрақты және оттегінің құрамына байланысты T_c елеулі өзгеруі байқалмаған. Аса өткізгіш өту температурасына (100 K дейін) қарамастан, азот температурасы

77 K кезінде $Bi-2212$ фазасының қасиеттері – төмен. Сондықтан «азот» температуралық диапазонда (64-77 K) ол қолданылмайды. Оның жоғары өткізгіштік қасиеттері әлдеқайда жақсы болады және бұл қосылыс практикада кейбір шектеулі қолдануға ие. Ең көп таралған $Bi-2223$ қосылымы. Ол «азотты» диапазонда қолайлы сипаттамаларға ие және одан жасалған бұйымдар өнеркәсіптік масштабта - ұзын өлшемді композициялық өткізгіштер түрінде (1-ші буын ЖТАӨ) өндіріледі. Бұл электр техникада кеңінен қолданылатын бірінші ЖТАӨ қосылысы.

«Таллий» асқын өткізгіш жүйе.

Таллий жүйесі- $Ta_2Ba_2Ca_n-1Cu_nO_x$ ең жоғары $T_c = 127$ K, $N = 3$ кезінде. Оның құрамы бойынша бұл қосылыстар висмут жүйесіне ұқсас. Соңғысымен ұқсас таллий қосылыстары негізінде композициялық

өткізгіштерді жасауға тырысты. Олар КО-ның бірнеше үлкен мәніне қарамастан, висмутов алдында артықшылықтары жоқ екені анықталды. Бұл жұмыстардың дамуына таллийдің улы болуы кедергі болды, сондықтан 90-шы жылдары олар бүктелді. Қазіргі уақытта бұл қосылыстар қолданылмайды.

«Сынап» асқын өткізгіш жүйе.

Сынап жүйесі- $\text{HgBa}_2\text{Can-1CuOx}$, $N = 1-6$ с максималды $T_c=135$ К кезінде $N = 3$. Оттегінің бір бөлігін хлорға ауыстыру кезінде $T_c=138$ К - атмосфералық қысымда ауысудың ең жоғары температурасы алынды. Сонымен қатар, Ко мәні қоса берілген сыртқы қысымға байланысты екені анықталды. Бүгінгі таңда КО абсолютті рекорды-350 мың атм қысымда $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{Ox}$ қосылуында 1640К. Сынапты өткізгіштерден көлемді керамика мен композициялық өткізгіштерді жасауға тырысты. Алайда, бұл қосылыстар басқа материалдармен, әсіресе металдармен байланыста термиялық өңдеу кезінде өте тұрақсыз болып шықты. Барлық металдармен сынап амальгамаларды құрайды. Сондықтан оларды композициялық сымдарда пісіру мүмкін болмады. Бұл жүйеде тұрақты қосылыстар табылды – ренийге мысты ауыстырумен және олармен өткізгіштер әлі де дайын болды. Алайда, олардың қасиеттері төмен болды, рений құны жоғары, сондықтан бұл жұмыстар да тоқтатылды.

Өтелмейтін қосылыстар:

Олардың КҚ аз мәні бар және практикалық маңызы әлі жоқ, сондықтан қысқаша сипатталған. Олардың болуы Жоғары температуралы жоғары өткізгіштіктің Си – о байланысының арқасында ғана мүмкін еместігін дәлелдеп, принципті сипатқа ие.

Висмут оксидті ЖТАӨ. Бұл критикалық температура фазалық диаграммада металл-диэлектрик фазалық өту шегіне жақын жетеді. Сонымен қатар, «х» 0.3 – тен «х»-тен «х»-тен «х»-тен «х»-тен «х»-тен «х»-тен $x \geq 0.5$ -ке тең болады.

Фуллеридтер. Фуллеридтер-металдардың C_{60} фуллерендерімен қосылыстары. Асқын өткізгіш өту температурасының ең жоғарғы мәні Rb_3C_{60} ($T_c= 30$ К) және $\text{RbCs}_2\text{C}_{60}$ ($T_c = 33$ К) анықталған.

Карбидтер. Бұл отбасы өте көп. Ко = 23 К максималды мәні $\text{YPd}_2\text{B}_2\text{C}$ қосылуында анықталған.

Оксипниктидтер. Оксипниктидтер (пниктидтер – металдардың 5-ші топтағы атомдарымен, яғни N, P, As, Sb-мен қосылыстары). Көп ұзамай темірді никельге, мышьякқа фосфорға, ал лантанды басқа жерде сирек кездесетін элементтерге ауыстыруға болатынын анықтады. Бұл отбасының алғашқы қосылыстары фтор болды, бұл қосылыстарды синтездеу кезіндегі қауіпсіздік тұрғысынан ыңғайсыз болды. Бірақ фтордың болуы міндетті емес. $K_0 = 55$ К ең жоғары мәні SmO_0 , 86FeAs қосылысынан табылған кезде. Бұл қосылыстардың синтезі күшән ұшқышымен байланысты елеулі қиындықтармен ұштасады. Бұл қосылыстардың практикалық мәні әлі алынған жоқ.

Қазіргі уақытта бар аса өткізгіш материалдардың техникалық, физикалық және технологиялық сипаттамаларын талдау негізінде практикалық қолдану үшін ең оңтайлы жүйе және ғылым мен техниканың түрлі салаларында пайдалану үшін перспективалы материал висмут аса өткізгіш купраттар негізіндегі аса

өткізгіш жүйе болып табылады деген қорытынды жасауға болады.

Висмут купраттары (Bi- ЖТАӨ) тұқымдас Жоғары температуралы аса өткізгіштердің негізіндегі материалдар қазіргі уақытта электротехникада ұзын өлшемді күшті композиттер ретінде қолданылады. Оларды кеңінен пайдалану, алайда, сыртқы магнит өрісінде сыни токтың төмен мәндері тежеледі. Басқа да жоғары температуралы жоғары өткізгіштер сияқты, Bi-ЖТАӨ, сыни токтың температура мен магнит өрісінен күрт тәуелділігі сияқты физикалық қасиеттерінің кейбір ерекшеліктеріне ие. Олар, ең алдымен, сыни токтың жоғары тығыздығын қамтамасыз ететін құрылымдық кемшіліктердегі магнит құйындарының пиннингін Күшін әлсірететін күшті термиялық флуктуациялармен байланысты. Сондықтан, ЖТАӨ-материалдардың құрылымдық зерттеулерінің аса өзекті міндеттерінің бірі пиннингтің тиімді орталықтарының рөлін орындауға және сыни токтарды арттыруға қабілетті осындай құрылымдық кемшіліктерді анықтау қажеттілігінен туындайды.

Bi - ЖТАӨ үшін критикалық токтардың қатты анизотропиясы тән. Атомдық-кристаллдық немесе наноденгейлік, когеренттілік ұзындығына байланысты ақаулар, әдетте, пиннингтің ең айқын орталықтары ретінде қарастырылады. Сондықтан кристалдық құрылымның ерекшеліктерін анықтау олардың негізінде материалдардың сыни токтарына арналған зерттеулерде қажетті буын болып табылады. Кристалдық құрылымдардың қатпарлы сипаты, сондай-ақ Bi - ЖТАӨ негізінде әзірленген материалдарға жеткілікті айқын талап қояды, атап айтқанда, оларда айқын базистік құрылым құру. Мұндай текстураны іске асырған жағдайда CuO_2 жазықтығында мыс купраттарында жоғары өткізгіштіктің болуы байланыстырылатын негізгі құрылымдық элемент жақсы жақындаумен көлік тогының бағыты бойымен бағдарланады.

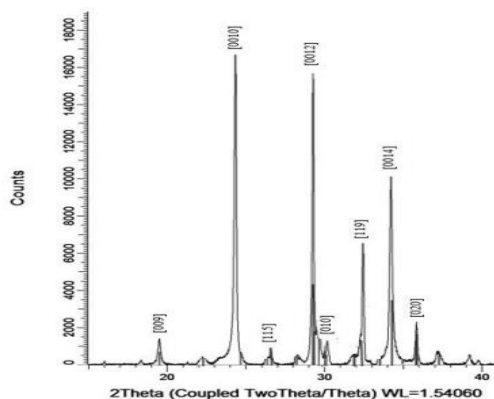
3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Бұл жұмыста Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген ЖТАӨ-тердің фазалық құрамы мен микроқұрылымының түзілуіне балқымадағы және басқарылатын салқындату процесінің әсері зерттеледі. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}$ және $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}$ синтезінде бағытталған жылуды баяу әкету кезінде өлшемі 100-120 мкм болатын пластиналардан тұратын блоктар түзілетіні анықталды. Мұндай материалдың құрамы ұзақ мерзімді термиялық өңдеуден кейін 2223-ші фазаға өтетін 2212-ші фаза болатыны анықталды. Балқыманы сумен салқындатылатын болаттан жасалған айналмалы дискіге шашырату арқылы шынықтыру тәсілін қолданылған жағдайда аморфты күйдегі диаметрі 1.5 мм дейін болатын сфералар, сондай-ақ қалыңдығы 100-150 мкм дейін жететін аморфты фазалары бар плиталар алынды (1 -сурет).

$\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}$ құрамын қысқа мерзімдік термиялық өңдеу кезінде $T_c = 90-93$ К болатын 2212 фазасының түзілуі байқалады. $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}$ құрамды қоспаны термиялық өңдеу кезінде 2212 фаза арқылы 2223 фазаның түзілуі іске асады (2 -сурет).

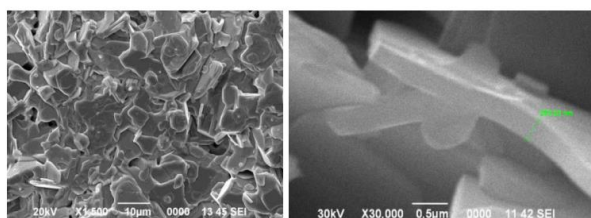


Сурет 1. Балқымадан шынықтыру арқылы алынған бастапқы заттар: а) – пластинкалар, б) – сфералар



Сурет 2. 2223 ЖТАӨ құрамының диффрактограммасы

Құрамында 2223 фазасы бар материалдар негізіндегі керамика бір фазалық құрамға жақын және рентген дифракциялық әдіспен жүргізілген зерттеулер $T_c = 107$ К болатынын көрсетті. Рентгенқұрылымдық анализ және микроқұрылым зерттеулері кристаллиттердің 001 кристаллографиялық жазықтық бойымен пластинкалы тығыз орналасқан пішінге ие екендігін көрсетеді, олардың өлшемі 5-20 мкм, ал қалыңдығы 0.023-0.029 мкм құрайды (3-сурет).



Сурет 3. Құрамы 2223 болатын ЖТАӨ керамика үлгілерінің микроқұрылымы

Түйіршіктер құрылымы шекті токтың мөлшеріне әсер етеді, оның мәні құрылымы шыны тәріздес материалды өте жылдам салқындату – шынықтыру кезінде жоғары болып шықты.

Түйіршіктің осындай пішіні сығымдау кезінде тығыздығы жоғары және түйіршіктердің өзара бағыттала орналасуы бар материал алуға ықпал етеді. Сәйкесінше бұл жағдайлар құрылымның қалыптасуына, тығыздықтың жоғарылауына ықпал етеді, солайша ол шекті токтың мөлшеріне оң әсер етеді.

Прекурсорларды синтездеу концентрацияланған шағылысқан ағынның әсерінен балқуды және балқыманың суды салқындатылған алюминий дискісіне жылдам балқуды жүзеге асырады. Прекурсорлар дана, пластина және микс түрінде алынды.



Сурет 4. Шогырландырылған сәулелену ағынының әсерінен балқыманың ультрафитті түрде сөнуі арқылы алынған бастапқы прекурсорлардың үлгілері

Бұрын жүргізілген прекурсорлардың кристалдануы мен фазалық өзара іс- қимылдарға жүргізілген зерттеулер температуралық-уақыт параметрлеріне байланысты осы прекурсорлардың негізінде керамика алу үшін 2212 фазаны толық синтездеу мақсатында термоөңдеу үшін оңтайлы жағдайларды анықтады. Алайда, бұл параметрлер керамиканың жентектеу процесіне бөлшектердің қосынды белсенді бетінің параметрімен байланысты ұнтақтардың дисперстілігі, тиісінше, кинетикамен және мақсатты фазаның түзілу температурасымен, сондай- ақ кеуектілігі әсер еткендіктен өзгеруі мүмкін. Сондықтан, 2212 мақсатты фазаның толық синтезін анықтайтын керамиканы ЖТАӨ күйдіру процесінің оңтайлы параметрлерін анықтау мақсатында термоөңдеу әр түрлі температуралық-уақыт режимдерінде жүргізілді.

2212 номиналды құрамдағы аморфты және шыны-кристалды прекурсорлар негізіндегі керамиканың мақсатты ЖТАӨ синтезі дәстүрлі керамикалық әдіске сәйкес жүзеге асырылды. Синтез процесі келесі тізбекті операциялармен ұсынылуы мүмкін: прекурсорларды ұнтақтау → престоу → кептіру → термоөңдеу.

Термоөңдеу аморфты және кристалды прекурсорлар негізінде керамика алу және кристалдау процестерін зерттеу үшін қолданылды. Бұл ретте күн сәулесінің әсерінен алынған прекурсорлардың әсерінен алынған керамика ЖТАӨ өндірісінің принципті мүмкіндігін анықтау көзделді.

Үлгілерді термиялық өңдеу прекурсорларды кристалдау процестерін зерттеу, белгілі бір температуралық-уақыт жағдайларында аса өткізбейтін қосылыстардың пайда болу реакцияларының механизмін және кинетикасын зерттеу үшін қажет болды.

Термиялық өңдеу процестері СНОЛ-8.2/1100-1 маркалы кедергінің электр пешінде немесе 300-870°C температуралық интервалында силикатты жылытқыштары бар КО-14 пешінде жүзеге асырылды. Күйдіру температурасы мен уақыты өңделетін Материалдың құрамына байланысты.

Криогендік қондырғылар өте төмен температураны қамтамасыз ететін ғылыми және өндірістік салаларда шешуші рөл атқарады. Олар абсолютті нөлге (-273.15°C) жақын өте төмен температурада сұйық азот, гелий немесе сутегі сияқты сұйық немесе газ тәрізді орталарды қалыптастыру және сақтау үшін қолданылады.

Бұл қондырғылар физика, кванттық механика, астрономия және медицина саласындағы зерттеулер үшін қажет. Олар асқын өткізгіштерді, ядролық магниттік резонанстық жабдықтарды, биологиялық үлгілерді криогендік консервациялауды және белгілі бір қасиеттер мен нәтижелерге қол жеткізу үшін өте төмен

температураны қажет ететін басқа технологияларда қолданылады. Үлгілерді дайындау

Нығыздаудың оңтайлы шарттарын анықтау тығыздығы жоғары керамика жасау талабымен байланысты болды, өйткені тығыздық, мақсатты қосылыстың түзілу реакциясының толықтығы, қыш конструкциясы мен сыни сипаттамалары тығыз өзара байланысқан.

50-300 МПа диапазонында престоу қысымының әртүрлі шамалары сыналды. Престоу үшін тән әсерлердің болмауы тұрғысынан престелген үлгілердің беті мен сынықтарының жай-күйін талдау престоудің 180-200 МПа тең оңтайлы меншікті қысымын анықтауға мүмкіндік берді. Престелген керамикалық үлгілер диаметрі 15 мм, қалыңдығы 1.5–2 мм дискілерді ұсынды.

Жоғары текстураны жасау үшін бірнеше рет қабаттап престоу, аралық тесілген үлгіні қолданды.

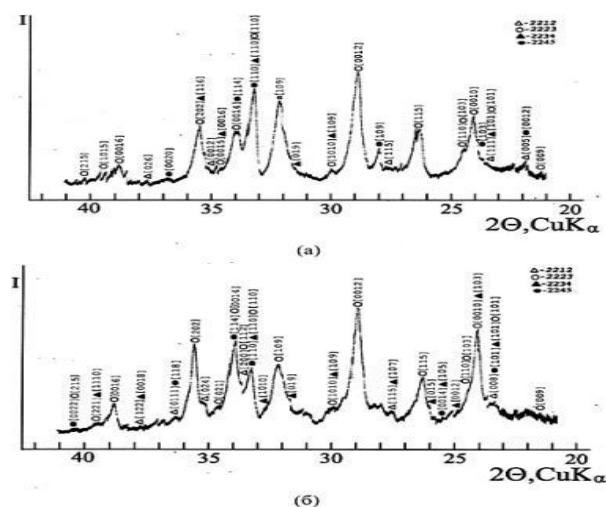
Үлгілерді алу

Аморфты прекурсорларда кристалдануды және фаза түзуді зерттеу процесінде 2212 Жоғары температуралы жоғары өткізгіш фазаның қалыптасуының басталуы 720-730°C температураға сәйкес келуі, ал температураның 840°C дейін көтерілуімен 2212 фазаның пайда болу жылдамдығы ұлғайғаны анықталды. Осылайша, 840°C температурада 24 сағат бойы 2212 номиналды құрамының прекурсорлары негізінде керамиканы термоөңдеу 2212 фазаның толық түзілуіне және бір фазалық үлгіні алуға әкелді. Рентгендік-фазалық талдау деректері бойынша керамика тек 2212 фазамен ұсынылған бір фазалы құрам болды. Басқа фазалық құрамдар табылған жоқ.

Жұмыста алынған нәтижелер негізінде ЖТАӨ синтезінде жоғары өткізгішті фазада химиялық реакция жылдамдығының ұлғаюы аморфты курсоралдының негізінде аморфты курсоралды-вискер қолданылған. Үлгілер 2 мкм-ден де кіші дән көлеміндей ұнтақтың 180 Мпа қысымының астында сығылуынан, қалыңдығы 1.5–2.0 мм, диаметрі 15 мм таблеткалар күйінде дайындалған. Үлгілерді жылулық өңдеу 847–850°C температурада ауа ортасында жүргізілді. Жылулық өңдеудің ұзақтығы 180 сағатты құрады. Жылулық өңдеуден кейінгі үлгілердің дифрактограммасы 5-суретте келтірілген.

Рентгендік зерттеулер нәтижесі бойынша, $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_y + 0.1\%$ салмақ. $\text{Sn}_{1.7}\text{Fe}_{0.3}$ номиналды құрамды үлгі, негізінен, тор параметрлері $a = 0.5342$ нм, $b = 0.5412$, $c = 3.7128$ нм болатын 2223 жоғарытемпературалы асқын өткізгіш фазасынан тұрады. Сондай-ақ, 2212 төментемпературалы асқын өткізгіш фазасының іздері қатысты. Одан басқа дифрактограммада 2212 және 2223 асқын өткізгіш фазаларына, сондайақ $2201 \rightarrow 2212 \rightarrow 2223$ гомологтардың асқын өткізгіш фазасының ретті қалыптасуы реакциясына қатысатын CaO , Ca_2CuO_3 , Ca_2PbO_2 , CuO , Cu_2O аралық асқын өткізгіш емес фазаларына жатпайтын рефлекстердің байқалуын атап өткен жөн. Берілген теориялық есептеулер негізінде рефлекстерді индикаторлау бойынша, үлгіде сәйкесінше «с» 4.2934 нм және 4.9023 нм бағыттары бойынша қарапайым тор параметрлері бар 2234 және 2245 жоғарытемпературалы асқын өткізгіш фазалар бар екендігін болжауға болады. Ұқсас нәтижелер $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{3.8}(\text{CaF}_2)_{0.2}\text{Cu}_5\text{O}_y$ номиналды құрамды үлгіде байқалды. Бұл үлгіде, сол

сияқты, 2223 асқын өткізгіш фаза негізгі фаза болды. 2212 фазасының рефлекстері $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_y + 0.1\%$ салмақ. $\text{Sn}_{1.7}\text{Fe}_{0.3}$ номиналды құрамды үлгіге қатысты қаттырақ білінді, бұл оның құрамының ұлғаюын көрсетеді. Сондай-ақ, дифрактограммада 2234 және 2245 жоғарытемпературалы асқын өткізгіш фазалардың селективті шағылуының қатысуын атап өтуге болады. $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_{1.9}\text{Y}_{0.1}\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_y$ және $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_{1.9}\text{Pr}_{0.1}\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_y$ номиналды құрамды үлгілер туралы айтатын болсақ, бұл үлгілерде қоспалар $a = 0.5283$ нм, $b = 0.5322$ нм, $c = 3.0230$ нм тор параметрлері бар 2212 төмен температуралы асқын өткізгіш фазасын тұрақтандырған болатын. Ал 2223 жоғары температуралы асқын өткізгіш фазасының рефлекстері аз байқалды, яғни, 2223 фазасының аз мөлшері қатысқандығын айтуға болады. Және осы үлгілерде 2234 және 2245 жоғарытемпературалы асқын өткізгіш фазаларға жататын дифракциялық шағылулардың іздері байқалады. Құрамында «п» жоғарылатылған голомолгтер фазасының (2234 және 2245) пайда болуын, болжауымыз бойынша, былай түсіндіруге болады: қойылтылған күн сәулесінің балқытпаға анизотропты әсер етуінен және қатты температуралы – градиентті жағдайлардың тууынан балқытпада 2234 және 2245 құрамына сәйкес келетін метатұрақты микро аймақ пайда болып, олар балқытпаны аса тез суару кезінде тұрақталады, яғни бұл термиялық өңдеу кезінде 2234 және 2245 асқын өткізгіш фазалардың құрылуымен кристалданады.



Сурет 5. Қойылтылған сәуле энергиясымен алынған аморфты прекурсорлар негізінде синтезделген $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_4\text{Cu}_5\text{O}_y + 0.1\%$ салмақ. $\text{Sn}_{1.7}\text{Fe}_{0.3}$ (а) және $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_{3.8}(\text{CaF}_2)_{0.2}\text{Cu}_5\text{O}_y$ (б) номиналды құрамды керамика үлгілерінің дифрактограммасы. $T = 847\text{--}850^\circ\text{C}$, 180 сағ

4. Қорытынды

Қорытындылай келе, зерттеу нәтижелерін қорытындылауға және Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген жоғары температуралы асқын өткізгіш қосылыстар туралы негізгі қорытындыларды шығаруға болады:

Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген жоғары температуралы асқын өткізгіш қосылыстар асқын өткізгіштік күйге өтудің жоғары критикалық температуралары бар бірегей материалдар болып табылады. Бұл қосылыстар энергетика, медицина, көлік

және т.б. сияқты әртүрлі технологиялық салаларда қолдану үшін үлкен әлеуетке ие.

Зерттеу Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесі негізіндегі HTSI параметрлері мен құрылымы материалдарды синтездеу және термиялық өңдеу процестерімен тығыз байланысты екенін көрсетті. Бұл процестерді оңтайландыру критикалық температура және критикалық магнит өрісі сияқты оптималды асқын өткізгіштік қасиеттерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің маңызды аспектісі асқын өткізгіштік қасиеттерін жақсартуға және оларды қолдану аясын кеңейтуге мүмкіндік беретін HTSI жаңа композициялары мен құрылымдарын іздеу болып табылады. Бұл материалдардың қасиеттерін оңтайландыруға бағытталған синтездің, талдаудың және модельдеудің жаңа әдістерін жасауды қамтиды.

Осылайша, Bi-Sr-Ca-Cu-O жүйесіне негізделген жоғары температуралы асқын өткізгіштер саласындағы одан әрі зерттеулер асқын өткізгіштік туралы білімімізді кеңейту және қазіргі қоғам үшін жаңа технологиялық шешімдерді жасау тұрғысынан маңызды міндет болып табылады.

Асқын өткізгіштердің болашағы ғылымның, технологияның және өнеркәсіптің әртүрлі салаларында революциялық өзгерістерді уәде етеді. Асқын өткізгіш материалдардың дамуы мен жетілдірілуімен инновацияның кең перспективалары мен әлеуеті ашылады.

Энергетикада асқын өткізгіштер энергияны беру мен сақтауда төңкеріс жасай алады. Тиімді асқын өткізгіш кабельдер электр беру жүйесіндегі шығындарды азайту арқылы электр энергиясын беруді айтарлықтай жақсарты алады. Магниттік асқын өткізгіштер медициналық мақсатта неғұрлым қуатты және магнитам магниттік резонанстық кескіндерді (MRI) жасауға уәде береді.

Кванттық есептеулерде, асқын өткізгіштер кванттық есептеулердің негізгі элементтері болып табылатын кубиттерді құру қабілетінің арқасында неғұрлым қуатты және жоғары жылдамдықты кванттық компьютерлерді құруға қызығушылық тудырады. Бұл ақпаратты өңдеу мен криптографияда төңкеріске әкелуі мүмкін.

Көлік саласында магниттік асқын өткізгіштерді магл пойыздарын құру үшін қолдануға болады, бұл көлік құралдарының жылдамдығы мен тиімділігін едәуір арттырады.

Асқын өткізгіштік температурасы жоғары және экономикалық тиімді өндірістік әдістері бар жаңа асқын өткізгіш материалдарды әзірлеу де маңызды бағыт болып табылады.

Алайда, жоғары температурадағы асқын өткізгіштік тұрақтылығы сияқты кейбір техникалық және ғылыми кедергілерді жеңу зерттеушілер үшін қиын болып қала береді.

Тұтастай алғанда, асқын өткізгіштердің болашағы біздің әлемді түбегейлі өзгерте алатын, әртүрлі салалардағы тиімділікті, жылдамдықты және өнімділікті арттыратын және ғылыми және технологиялық жетістіктерге жаңа мүмкіндіктер ашатын инновацияларды уәде етеді.

References / Әдебиеттер

- [1] Skorykh, V.J., Gormakov, A.N. & Plotnikov, I.A. (2001). Torquemeter on sites of gyroindines. *5th Korea-Russia International Symposium on Science and Technology. Proceedings. KORUS 2001* (Cat. No.01EX478), Tomsk, Russia. <https://doi.org/10.1109/KORUS.2001.975049>
- [2] Goldshtein, A.E., Vavilova, G.V. & Mazikov, S.V. (2016). In-process Measuring of Capacitance Per Unit Length for Single-core Electric Wires. *Journal of Physics: Conference Series*, 671012062. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/671/1/012062>
- [3] Vavilova, G.V., Gol'dshtein, A.E. (2018). Instrument for In-Process Control of Capacitance per Unit Length of an Electrical Wire. *Measurement Techniques*, (61), 278–283. <https://doi.org/10.1007/s11018-018-1421-6>
- [4] Plotnikova, I., Efremova, O., Chicherina, N. & Dalinger, V. (2018). Ways of Efficiency Improvement of the Organization of Students' Independent Work with Computer Technologies Usage. *MATEC Web of Conferences*, (155), 01052. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815501052>
- [5] Gulamova, D.D., Uskenbaev, D.E., Fantozzi, G., Chigvinadze, J.G. & Magradze, O.V. (2009). Phase composition and properties of superconducting ceramics based on Bi1.7Pb0.3Sr2Ca2Cu3O y precursors fabricated by melt quenching in a solar furnace. *Technical Physics*, (54), 860–864. <https://doi.org/10.1134/S1063784209060140>
- [6] Uskenbayev, D.E., Nogay, A.S. & Aynakulov, E.B. (2016). Properties of Bismuth-Based Superconductors Precursors obtained under the influence of the Radiant Flux. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 110(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/110/1/012030>

Құрамында висмут бар жоғары температуралы асқын өткізгіштің қасиеттері мен сыни параметрлеріне синтез шарттарының әсері

A.Ф. Баратов*

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: aybol_baratov@mail.ru

Андатпа. Висмут материалдарындағы асқын өткізгіштік қазіргі заманғы қатты дене физикасы мен материал инженериясында үлкен қызығушылық тудырады. Висмут асқын өткізгіштері жоғары өткізгіштік температурасы, ерекше электронды құрылым және кванттық технологияларда қолдану әлеуеті сияқты бірегей қасиеттерімен зерттеушілердің назарын аударады. Қазіргі уақытта жоғары температуралы суперөткізгіштер өзінің ерекше қасиеттерінің арқасында ғылым мен техниканың – энергетика, электроника, байланыс, медицина, ғарыш техникасы

және басқа да алдыңғы қатарлы салаларында қолданылатын перспективті материалдардың біріне айналуға. Олардың негізінде ток өткізгіш кабельдер, ток шектегіштер, күштік трансформаторлар, электромагниттік экрандар, модуляторлар, антенналар, микротолқынды және импульстік сигналдардың ажыратқыштары мен сүзгілері, аса жылдамдықты компьютерлердің принциптік схемалары сияқты элементтер мен құрылғылар дайындалады. Бұл жұмыстың аннотациясы висмут негізіндегі асқын өткізгіштер саласындағы зерттеулердің өзекті тенденцияларын қамтиды. Висмут материалдарының синтез әдістері мен сипаттамалары, олардың құрылымы, асқын өткізгіштік қасиеттері және әлеуетті технологиялық қосымшалары талқыланады. Сондай-ақ, энергетика, медицина, кванттық есептеу және электроника сияқты әртүрлі салаларда материалдардың қасиеттерін жақсарту, өндірісті оңтайландыру және практикалық қолдану мәселелерін қоса алғанда, осы саланың даму сын-тегеуріндері мен перспективалары қарастырылады. Бұл аннотация висмуттық асқын өткізгіштер саласындағы зерттеулердің қазіргі жағдайына шолу болып табылады және қатты дене физикасы, материалтану және озық технологияларды дамытуға мүдделі ғылыми қауымдастыққа бағытталған.

Негізгі сөздер: жоғары температуралы асқын өткізгіш, асқын өткізгіштік, висмут.

Влияние условий синтеза на свойства и критические параметры высокотемпературного сверхпроводника, содержащего висмут

А.Ф. Баратов*

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: aybol_baratov@mail.ru

Аннотация. Сверхпроводимость висмутовых материалов представляет большой интерес в современной физике твердого тела и материаловедении. Сверхпроводники висмута привлекают внимание исследователей своими уникальными свойствами, такими как высокая температура проводимости, уникальная электронная структура и потенциал для использования в квантовых технологиях. В настоящее время высокотемпературные сверхпроводники благодаря своим уникальным свойствам становятся одним из перспективных материалов, используемых в самых передовых областях науки и техники – энергетике, электронике, связи, медицине, космической технике и других. На их основе изготавливаются такие элементы и устройства, как токоведущие кабели, ограничители тока, силовые трансформаторы, электромагнитные экраны, модуляторы, антенны, выключатели и фильтры микроволновых и импульсных сигналов, принципиальные схемы сверхскоростных компьютеров. Аннотация данной работы содержит актуальные тенденции исследований в области сверхпроводников на основе висмута. Обсуждаются методы и характеристики синтеза висмутовых материалов, их структура, сверхпроводящие свойства и потенциальные технологические применения. Также рассматриваются вызовы и перспективы развития этой области, включая вопросы улучшения свойств материалов, оптимизации производства и практического применения в различных областях, таких как энергетика, медицина, квантовые вычисления и электроника. Эта аннотация представляет собой обзор современного состояния исследований в области висмутных сверхпроводников и направлена на научное сообщество, заинтересованное в разработке физики твердого тела, материаловедения и передовых технологий.

Ключевые слова: высокотемпературный сверхпроводник, сверхпроводимость, висмут.

Received: 23 September 2024

Accepted: 16 December 2024

Available online: 31 December 2024