

**ВАЗОРАТИ МАОРИФ ВА ИЛМИ ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН
ДОНИШГОҲИ ДАВЛАТИИ ОМУЗГОРИИ ТОҶИКИСТОН БА
НОМИ САДРИДДИН АЙНӢ**

Бо ҳуқуқи дастнавис



ТДУ: 669.017.11+534.2:546.3

ТКБ: 24.5

Ҷ - 44

ҶАЪФАРӢ АМИРШО САЙОБИД

**ТАЪСИРИ МУТАҚОБИЛАИ ИНДИЙ БО ЭЛЕМЕНТҲОИ
ҶАДВАЛИ ДАВРӢ ВА ТАҲҚИҚИ БА ҚАБАТҲО
ҶУДОШАВӢ ДАР СИСТЕМАҲОИ ИНДИЙ-ХАЛКОГЕНҲО
(S, Se, Te)**

**Автореферати
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи
илмӣ номзади илмҳои техникӣ
аз рӯи ихтисоси 02.00.04 - химияи физикӣ**

Душанбе -2024

Таҳқиқотҳо дар назди кафедраи фанҳои умумитехникӣ ва мошиншиносии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи Садриддин Айни ва кафедраи металлургияи Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ иҷро карда шудааст.

Роҳбари илмӣ: **Нуров Курбоналӣ Бозорович**, номзади илмҳои химия, дотсент, дотсенти кафедраи физикаи эксперименталии ДДОТ ба номи Садриддин Айни

Мушовири илмӣ: **Джураев Тухтасун Джураевич**, доктори илмҳои химия, профессор, профессори кафедраи металлургияи ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ

Муқарраизони расмӣ: **Назарзода Хайрулло Холназар**, доктори илмҳои техникӣ, дотсент, ректори Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон

Баратов Бахтиёр Бурхонович, номзади илмҳои техникӣ, муовини директори Агентии амнияти химиявӣ, биологӣ, радиатсионӣ ва ядроии АМИТ

Муассисаи пешбар: Муассисаи давлатии илмии «Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионӣ»-и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия санаи 29 ноябри соли 2024, соати 13⁰⁰ дар маҷлиси шурои яқдафъайнаи диссертатсионии 6D.KOA-010-и назди Донишгоҳи миллии Тоҷикистон баргузор мегардад.

Суроға: нишонаи 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17 Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, бинои асосӣ, толори шурои диссертатсионӣ, ошонаи дуюм. **E-mail:** nazira64@indox.ru, **тел.:** (+992) 935476644, **факс:** (992-372) 217711.

Бо матни пурраи диссертатсия дар сомонаи интернетии www.tnu.tj ва дар китобхонаи марказии Донишгоҳи миллии Тоҷикистон бо нишонаи 734025, ш. Душанбе, хиёбони Рӯдакӣ, 17 шинос шудан мумкин аст.

Автореферат «___» _____ соли 2024 тавзеъ шудааст.

Котиби илмии
шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои химия



Бекназарова Н.С.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзуи таҳқиқот. Муносибатҳои бисёрқутбӣ дар ҷаҳони мутамаддин робитаи қорҳои таҳқиқотӣ ва амалиро афзоиш медиҳад, ки ҳадафи онҳо таҳияи мавод, хусусан, мавод барои мақсадҳои стратегӣ мебошанд. Ҳӯлаҳои пурсамари зиддифриксионӣ барои истифода дар техникаи атомӣ ва пайвастаҳои дорои хосиятҳои нодири нимқоқилӣ дар микроэлектроника ҳамаи онҳо маводи нави мебошанд, ки дар муддати кӯтоҳ бо истифода аз таҳлили физико-химиявӣ системаҳои металлӣ ба вучуд оварда шудаанд ва метавонанд сохта шаванд. Натиҷаҳои таҳлили номбурда дар шакли диаграммаҳои геометрии таркибӣ-хосиятӣ пешниҳод карда мешаванд, ки дар илми асосҳои таҳлили физико-химиявӣ ҳамчун диаграммаҳои фазавӣ ё ҳолатӣ маъмуланд. Онҳо имкон медиҳанд дар системаҳо таркиби оптималро, ки дорои хосиятҳои муҳим буда, дар эҷоди композитсияҳо заруранд, интихоб намоем. Илова бар ин, диаграммаҳои ҳолатӣ тағйирёбии хосиятҳои компонентҳоро аз таркиби ғашҳо ва вайрон намудани таркиби стехиометриро муайян месозанд. ДХ нишон медиҳад, ки ҳӯлаҳои хосилшуда фазаҳои таркибашон тағйирёбанда ё доимӣ доранд. Маълумоти дар асоси ДХ ба даст оварда шуда, аҳамияти татбиқи дошта, ҳангоми қоркарди технологияи синтези маводди нав зарур аст.

Қори илмии пешниҳодшуда ба омӯзиши таъсири мутақобилаи яке аз металлҳои нодир-индий бо дигар элементҳои ҷадвали даврии (ПТ) Д.И. Менделеев ва таҳқиқи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои дукомпонентаи In-S, In-Se ва In-Te бахшида шудааст. Маълум аст, ки ҳангоми ғудохтани индий бо баъзе металлҳои ҷадвали даврий диаграммаҳои мураккаби ҳолатӣ ҳосил мешаванд, ки дар як вақт мавҷудияти фазаҳои мобайнӣ, минтақаҳои маҳлулҳои саҳт ҷудошавиро дар фазаи моеъ ва табадулоти ғуноғуни нонварианти (эвтектикӣ, эвтектоидӣ, перитектикӣ, перитектоидӣ, катактектикӣ) инъикос мекунанд. Новобаста аз ин, на ҳамаи диаграммаҳои ҳолатии системаҳои дучандаи индий бо элементҳои ҶД сохта шудаанд ва диаграммаҳои ҳолатии (ДХ) сохташуда баъзан дилпуркунанда нестанд, зеро бархе аз муҳаққиқон ҳангоми ғудохтан металлҳои аз ҷиҳати техникӣ на он қадар тозаро истифода мебаранд. Дар робита ба ин, бо истифода аз компонентҳои аввалаи ҳолис ё усулҳои нави таҳлили омори-термодинамикӣ, ки хосиятҳои компонентҳои ҳолисро бо истифода аз усулҳои муосири моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ ба инобат мегиранд, мавриди таҳлили тақорӣ қарор диҳанд.

Дарачаи қоркарди илмӣ, асосҳои назариявӣ ва методологии таҳқиқот. Сохтани ҳатти қачи моноварианти мувозинатӣ дар ДХ системаҳои дучуза яке аз масъалаҳои мураккаби таҳлили физико-химиявӣ ба ҳисоб меравад. То кунун барои сохтани онҳо методҳои ғуноғуни физикӣ ва химиявӣ барои ҷенкунии электроғузаронӣ, ҷаспакӣ, зичӣ, таҳлили дифференсали-ғармӣ ва ғайра истифода мешавад.

Методҳои болозир бо сабабҳои маълум барои сохтани ҳатти қачи моноварианти мувозинатӣ методҳои аниқ набуда меҳнати зиёд ва масъалаҳои ғуноғуни норасоҳои техникиро ба вучуд меоранд. Методи

ултрасадоғӣ дар илми хозира яке аз методҳои аниқ ва сермаҳсултарин ба ҳисоб меравад.

Таҳлили адабиёт собит намуд, ки дар баробари қорҳои илми ба анҷом расонида шуда, то шуруъ намудани таҳқиқотҳои мо аз 200 системае, ки дар онҳо соҳаи ба якдигар омехтанашавиро доранд, танҳо барои 8-10-то соҳаи дар боло номбаршуда пурра сохта шудааст. Системаҳои дучузъаи боқимондаи ин соҳа фақат бо хатҳои тире-тире ишора шудаасту ҳалос.

Аз ин лиҳоз мақсади қори илмии пешниҳодшуда бо истифода аз методи ультрасадоғӣ омӯзиши таркиб, сохт ва муайян намудани хатти қачи моноварианти дар системаҳои In-S, In-Se ва In-Te мебошад. Зеро, ки суръати паҳншавии ультрасадо ҳамчун ҳосият ба тағйирёбии сохти атом ва ҳосиятҳои ғайри якҷинсагӣ ниҳоят ҳассос мебошад. Ба ғайр аз ин, бори аввал барои 6 системаи дучандаи индӣ бо металлҳои Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta бо истифода аз усулҳои баҳодихӣ омӯри ва термодинамикӣ намудҳои таъсири мутақобилаи байни компоненти ДХ сохта шуда ва дар асоси он бо усули ликватсионӣ схемаи технологияи тозакунии ликватсионии индӣ аз баъзе ғашҳои мушкилгудоз тартиб дода шудааст. Ҳангоми муҳокима ва ҳулосаҳо аз қори диссертсионӣ, усулҳои муосири таҳқиқоти таркиб ва сохти ДХ истифода бурда шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади қори диссертсионӣ иборат аз таҳқиқи намудҳои боҳамтаъсиркунӣ дар системаҳои дучандаи индӣ бо дигар элементҳои ЧД, сохтани диаграммаҳои фазавии онҳо, системаҳои дучандаи омӯхтанашуда ва пурраомӯхтанашуда, арзёбии баъзе ҳосиятҳои термодинамикии ҳӯлаҳои дучанда бо иштироки индӣ, инчунин, бо роҳи таҷрибавӣ муайянкунии соҳаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои дучандаи индӣ бо сулфур, селен, теллур барои муайян намудани координатаҳои таназзули критикӣ дар мувозинати монотектикӣ мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- омӯзиши намудҳои боҳамтаъсиркунии In бо элементҳои ЧД ва муайян намудани қонуниятҳои умумӣ дар мувозинати фазавии онҳо;

- омӯзиши таъсири мутақобила дар системаҳои дучандаи индӣ, ки омӯхта (ё пурра омӯхта) нашудаанд, бо истифода аз усулҳои гуногуни пешгӯӣ муқаррар ва сохтани ДХ-и онҳо. Қорқарди усули ликватсионии тоза кардани металлӣ асосӣ аз ғашҳои металлҳо (мушкилгудоз);

- муайян намудани ҳосиятҳои термодинамикии ҳӯлаҳои баъзе системаҳои дучанда бо иштироки индӣ;

- бо тарзи таҷрибавӣ муайян намудани таназзули координатаҳои критикии гудохтаҳои якҷинса дар ду фазаи гомергенӣ дар ҳудуди мувозинати монотектикӣ барои системаҳои дучандаи In-S, In-Se ва In-Te тавассути усулҳои замонавии таҳлили физико-химиявӣ;

- таҳияи гармкунаки баландқарорат барои гудохтани намуна ва ҷенкунии ҳосиятҳои ультраакустикии гудохтаҳо;

- ҳисоб кардани энергияи Гиббс, фаълнокӣ ва константаҳои таъсири байнизаравии (ҳосиятҳои термодинамикии) ҳӯлаи In-S, (Se, Te) бо истифодаи назарияи маҳлулҳои регулярӣ.

Объекти тадқиқот: системаҳои дучандаи индӣ бо дигар элементҳои чадвали Д. И. Менделеев ва системаҳои дукомпонентаи In-S, In-Se, In-Te.

Мавзӯи таҳқиқот: таъсири мутақобилаи индӣ бо элементҳои чадвали даврӣ ва таҳқиқи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои индӣ-халкогенҳо (S, Se, Te).

Навгони илми диссертатсия:

- бори аввал параметрҳои боҳамтаъсиркунии энергияи мубодила, энергияи пайвастшавии заррачаҳои ҳамном (In-In, элемент-элемент), гуногунном (In-элемент) бо элементҳои ЧД ҳисоб карда шуданд;

- диаграммаҳои ҳолатии сарбаст барои 6 системаи дучандаи индӣ бо металлҳои мушқилгудози Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta бори аввал сохта шудаанд;

- схемаи технологӣ ва раванди тозакунии ликватсионии In аз баъзе ғашҳои мушқилгудоз дар асоси диаграммаҳои ҳолатии дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta тартиб дода шудааст;

- таҳияи дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои ғудохтани металлҳои мушқилгудоз, аз ҷумла индӣ бо халкогенҳо (S, Se, Te) ва ҷенкунии ҳосиятҳои ултраакустикии ғудохта;

- бо истифода аз усулҳои таҳлили физикию химиявӣ бори аввал натиҷаҳои таҳқиқи ҳисобӣ ва таҷрибавии координатҳои таназзули критикии ғудохтаи гетерогенӣ ба ду фазаи гомогенӣ дар минтақаи мувозинати монотектикӣ дар системаҳои дучандаи индӣ-сулфур, индӣ-селен, индӣ-теллур ба даст оварда шуданд;

- маротибаи аввал энергияи Гиббс, ғаъолнокӣ, константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизарраҳои (ҳосиятҳои термодинамикӣ) дар ҳӯлаҳои системаҳои индӣ-сулфур, индӣ-селен, индӣ-теллур муайян гардида, ДХ-ашон сохта шуданд.

Аҳамияти назариявӣ ва илмию амалии диссертатсия. Диаграммаҳои мувозинати фазагии сохташуда ва дар натиҷаи ҳисобкунӣ ба даст овардани ифодаҳои хусусиятҳои термодинамикии ҳӯлаҳои In ба кам кардани хароҷоти моддии таҷрибаҳо ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодии равандҳо дар таҳияи технологияи тозакунии ликватсионӣ ва ҳосил кардани ҳӯлаҳои нав мусоидат менамояд. Инчунин, ба фонди адабиёт маълумоти нав илова мекунанд.

Нуктаҳои ба химоя пешниҳодшаванда:

- натиҷаҳои пешгуи оморӣ ва термодинамикӣ барои муайян сохтани навҳои боҳамтаъсиркунии In бо элементҳои ЧД дар ҳолатҳои моеъ ва сахт;

- натиҷаи истифодаи ДХ сохташуда, ҷихати коркарди технологияи ба дастовардани материалҳои дорои ҳосиятҳои баланди зиддифриксионӣ дар системаҳои индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se ва Te;

- натиҷаҳои ҳисоб ва сохтани ДХ-и мукамал барои системаҳои дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta;

- технологияи тозакунии ликватсионии индӣ аз баъзе ғашҳои мушқилгудоз дар асоси диаграммаҳои ҳолатии дучандаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta;

- таҳияи дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои гудохтани металлҳои мушқилгудоз, инчунин, индий бо сулфур, селен ва теллур;

- натиҷаҳои муайян намудани ҳосиятҳои термодинамикӣ (константаҳои таъсири мутақобилаи байнizarраҳо, фазлонокӣ ва энергияи Гиббс)-и ҳӯлаҳои системаҳои индий-сулфур, индий-селен, индий-теллур.

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои бадастовардашударо усулҳои муосири моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ, методи импульсӣ-фазавӣ, апробатсияи онҳо дар форум, конференсияҳои сатҳи байналмилалию ҷумҳуриявӣ ва нашри мавод дар маҷаллаҳои илмӣ соҳавӣ тасдиқ менамояд.

Диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ 02.00.04 - химияи физикӣ (илмҳои техникаӣ), хусусан натиҷаи корҳои илмӣ-таҳқиқотӣ ба бандҳои 1, 2, 4 ва 11 мутобиқат мекунад.

1. Банди 1 - «Муайянкунии таҷрибавӣ ва ҳисобкунии ченакҳои сохти молекула ва сохтори фазои моддаҳо» [боби III. § 3.3; 3.4].

2. Банди 2 - «Таҳқиқи эксперименталии ҳосиятҳои термодинамикии моддаҳо, ҳисобҳои функсияҳои термодинамикии системаҳои сода ва мураккаб дар асоси усули омори-термодинамикӣ ва омӯзиши гузаришҳои фазавӣ» [боби II. § 2.1; 2.3; 2.4].

3. Банди 4 - «Назарияи маҳлулҳо, таъсири мутақобилаи байнимолекулавӣ ва байнizarравӣ» [боби I. § 1.3; 1.4].

4. Банди 11 - «Асосҳои физикию химиявии равандҳои технологияи химиявӣ» [боби II. § 2.2].

Саҳми шахсии довталаби дарачаи илмӣ дар таҳқиқот аз таҳлили адабиёт, банақшагириӣ ва гузаронидани таҳқиқоти назариявӣ ва таҷрибавӣ иборат буда, инчунин, он бо таҳияву нашри мақолаҳо сурат гирифтааст.

Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия дар форум ва конференсияҳои сатҳҳои гуногун аз апробатсия гузаштаанд, масалан: конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Современные проблемы металлургической промышленности» ТТУ им. акад. М. С. Осими (Душанбе, 2021); конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи: «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносӣ риёзӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» баҳшида ба Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040), 50-солагии факултети физика ва 90-солагии ДДОТ ба номи С. Айни (Душанбе 2021); конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Паёми-роҳнамо» ДКМТ (Бустон, 2022); якумин конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения» посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности д.х.н., профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны, ТНУ (Душанбе, 2022); IV конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Наука и технологии» (Алматы, Казахстан, 2022); конференсияи байналмилалии илмӣ-методи дар мавзӯи «Роль естественно-математических наук и методики их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны» посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественно математических и точных

дисциплин в области науки о образования (2020-2040 г.)», а также четвертая цель национальной стратегии-ускорение индустриализации страны ТГПУ им. С. Айни, (Душанбе, 2022); Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материалovedческий форум» (Улан-Удэ, Бурятия, 2022); конференсияи байналмилалии илмӣ-амалии «Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития» (Челябинск, 2022); конференсияи чумхуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзуи «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук», филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Душанбе (Душанбе, 2022); конференсияи чумхуриявӣ илмӣ-амалӣ дар мавзуи «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа» посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, д.х.н., профессор Лутфулло Солиева, ТГПУ имени С. Айни (Душанбе, 2023); конференсияи илмӣ-амалии чумхуриявӣ дар мавзуи «Роль и использование достижений естественных, точных и математических наук в производстве», посвященной дню науки. ТТК при ТТУ им. акад. М.С. Осими (Душанбе, 2023); конференсияи илмӣ-амалии чумхуриявӣ дар мавзуи «Нақши саноатукунонӣ дар пешрафти истеҳсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», ДДОТ ба номи С. Айни (Душанбе, 2024).

Интишорот аз рӯйи мавзуи диссертатсия. Дар заминаи иҷрои кори диссертатсионӣ 26 мавод, аз ҷумла 1 мақола дар рӯйхати маҷаллаҳои тақризшавандаи базаи Scopus, 8 мақола дар нашрияҳои, ки ба рӯйхати маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА ҚТ ва КОА ФР дохил шудаанд, 1 нахустпатенти ҚТ, 3 мақола дар дигар маҷаллаҳои байналмилалӣ, 13 фишурдаи маъруза дар конференсияҳои байналмилалию чумхуриявӣ ба таъбири расидаанд.

Соҳтор ва ҳаҷми диссертатсия. Диссертатсия аз муқаддима, 3 боб, 12 зербоб, 13 ҷадвал, 34 тасвири графикӣ, ҳуҷҷаҳо, 120 номгӯи адабиёт ва замимаҳои иборат буда, 154 саҳифаи матни компютерро ташкил медиҳад.

ҚИСМҲОИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Муқаддима зарурат, аҳамияти назариявӣ амалии кор, мақсад ва вазифаҳо, нағзҳои илмӣ ва соҳтори диссертатсияро дар бар мегирад.

Боби якум асосан аз 4 зерфасл иборат буда, шарҳи адабиёт дар зерфасли 1.1 ба омӯзиши хусусиятҳо, пахншавӣ дар табиат, истеҳсол, истифодабарии индӣ ва ҳуҷҷаҳои он таҳлил ва ҷамъбасти карда шудаанд. Қисматҳои зерфасли 1.2, 1.3 ва 1.4-и боби якум ба баҳодихии дараҷаи омӯзиши системаҳои дучандаи индӣ, арзёбии омории нағзҳои таъсири мутақобилаи индӣ, мувозинати нонварианти ва пешгӯии ҳосилшавии пайвастагиҳои химиявӣ дар системаҳои индӣ бо дигар элементҳои ҷадвали Д.И. Менделеев бахшида шудааст.

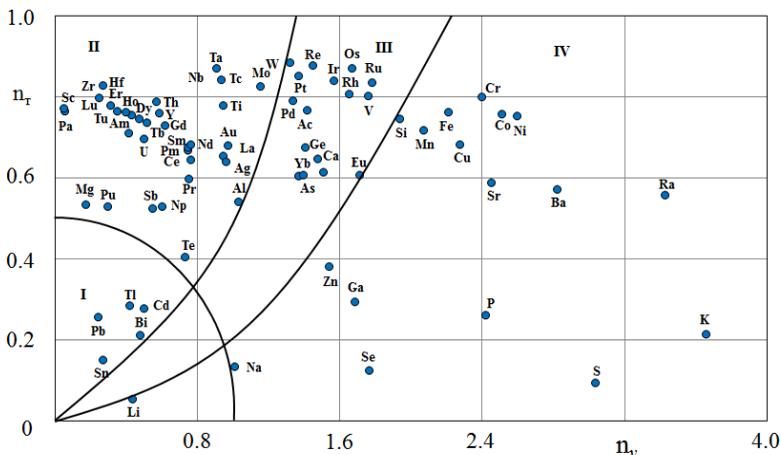
Барои ҳуҷҷаҳои моеъи элементҳои электромусбӣ ва электроманфии системаҳои дорои пайвастагиҳои устувори байниметаллӣ ҷудо карда

мешаванд. Зеро омехтанашавандагӣ дар онҳо истисно карда мешавад. Барои дигар хӯлаҳои система бо ҳисобҳои омории таҳлил карда мешавад. Барои муайян кардани эҳтимолияти омехташавии In бо элементҳои ҶД дар ҳолати моеъгӣ, арзишҳои ҳисобшудаи омилҳои ҳарорат, шиддати сатҳӣ ва потенциали ионизатсияро муайян намудем.

Дар ҳолати моеъгӣ омехташавии хӯлаҳои индӣ дар системаҳои бинарӣ бо элементҳои дар зер овардашуда мушоҳида карда мешаванд: Li, K, Na, Cs, Rb, Ra, Be, Fr, Sr, Ba, Nd, Mg, La, Pm, Pr, Sm, Ce., Ac, Np, Pu, Am, Mn, Ag, Cu, Zn, Au, Tl, Sn, Al, As, Si, Cd, Ga, Ge, Pb, P, Sb, Te, S, Po, Bi ва Se. Нуктаҳои координатаҳои ин элементҳо дар дохили қамони эллипс наздиктар ба марказ ҷойгир шуда, бо муодилаи $n_T^2 = 0,37n_v^2$ тасвир шудааст. Системаҳои ҷудокунанда, системаҳои индӣро бо Ca, Gd, Sc, Dy, Y, Eu, Er, Tb, Ho, Tu, Yb, Lu, Th, Nb, Ta, Cr, Mo, Rh, W, Tc, Re, Os, Fe, Ru, Co, Ir, Ni, Pd, Pt ва В дар бар мегиранд.

Эҳтимоднокии ҳисобҳо дар ҳолати моеъ дар системаҳои дучандаи индӣ бо 92 %-и элементҳои ҶД амалӣ мешавад. Дар ин ҳолат муодилаҳои мувофиқ истифода мешаванд.

Эҳтимолияти пайдоиши навъҳои гуногуни табдилёбии нонварианти (расми 1) дар майдонҳои хатҳои қач нишон дода шудааст. Хатти қачи 2-юм ин сарҳади минтақаи қимати перитектикий системаҳои сода мебошад, ки бо муодилаи $n_T = 0,55n_v^2$ тавсиф карда мешавад. Индӣ бо 39 элементҳои ҶД системаҳои одии эфтектикӣ ва перитектикийро ташкил медиҳад (ба расми 1 ниг.) Қачи минтақаи 3-юм пайвастагиҳои компонентҳои мушкулгудодро бо муодилаи $n_T = 0,20n_v^2$ тавсиф мекунад. Тарафи чап системаҳои пайвастагиҳои интерметаллӣ ба таври мушкул гудохташаванда ва тағйирёбии перитектикий ҷудо мешаванд. Қачи минтақаи 3-юм элементҳои Li, K, Sr, Na, Ni, Ra, Cr, Mn, Fe, Ba, Cu, Co, Ga, Zn, Si, S, P ва Se ҷойгир шудаанд, ки бо In системаҳои дорой пайвастиҳои конгруентӣ ва эвтектикийро ташкил мекунанд.

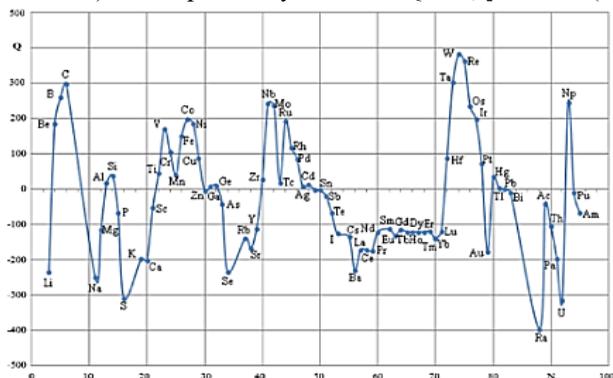


Расми 1. –Графики вобастагии омилӣ ҳарорат (n_T) аз ҳаҷм (n_v) барои In бо элементҳои ҷадвали Д.И. Менделеев

Дар боби дуюм маълумоти муфассал оид ба масъалаҳои баҳодихии термодинамикии навъҳои боҳамтаъсиркунии In бо элементҳои ҚД, бо дар назар доштани пешгӯии омори дар бораи навъҳои таъсири мутақобилаи In бо системаҳои омӯхташаванда бо усули ҳисобҳои термодинамикии оварда шудааст.

Вобастагии энергияи мубодилаи байни гурӯҳҳои алоҳидаи чадвали Д.И. Менделеев ба заряди ядроӣ атомҳо бо тарзи графикӣ тасвир намуда, қонуниятҳои навро муқаррар намудан мумкин аст. Навъҳои гуногуни диаграммаҳои фазавӣ дар ҳароратҳои мухталиф ҳалшавандагии мутақобилаи элементҳоро дар ҳолати моеъ ва саҳт нишон медиҳанд. Қонуниятҳои энергияи мубодилаи байни компонентҳо яке аз беҳтарин меъёрҳо барои ҳалшавандагӣ дар ҳолати моеъ ва саҳт мебошад. Аз расми 2 бармеояд, ки аз рӯи арзишҳои Q_{12} , элементҳо ба ду синф ҷудо мешаванд:

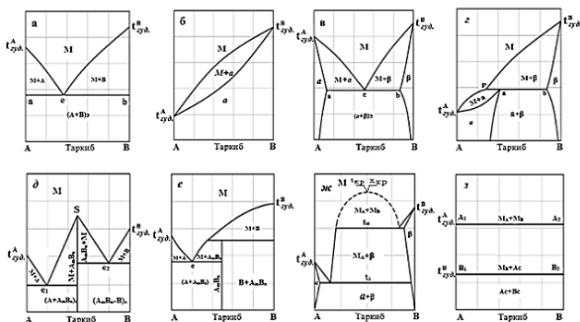
- 1) бо энергияи мубодилаи $Q_{12} < 0$; [$H_{12} < 0.5 (H_{11} + H_{22})$];
- 2) бо энергияи мубодилаи $Q_{12} > 0$; [$H_{12} > 0.5 (H_{11} + H_{22})$].



Расми 2. – Вобастагии ифодаҳои энергияи мубодилаи (Q , кҶ/г-ат.) индий бо элементҳои ҚД аз рақами тартибии онҳо (N)

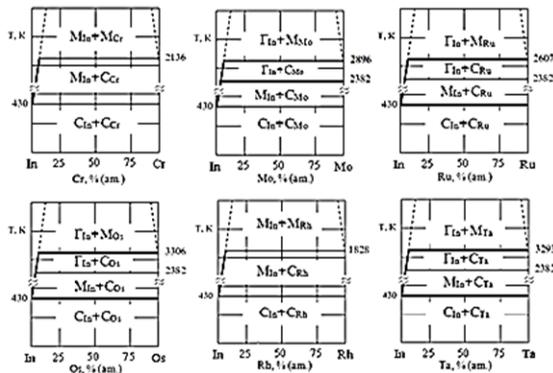
Арзишҳои манфии Q_{12} дар омехтаҳои механикӣ, маҳлулҳои саҳт, минтақаи маҳлулҳои моеъ ва пайваستاгҳои интерметаллидҳо дар ДХ индий бо элементҳои ҚД ташаккули ҳуларо дар ин системаҳо нишон медиҳанд. (расми 3, а-е). Дар системаҳои дукомпонентаи индий бо элементҳои агар Q_{12} – калон аз нол бошад (расми 3, ж ва з), энергияи мубодилаи байни компонентҳои ба қабатҳо ҷудошавӣ дар ҳолати моеъ кам ва ташаккули маҳлулҳои саҳти ночизро ифода мекунад.

Бо вучуди ин, барои баҳодихии таъсири мутақобила ва пешгӯии ДХ-ии бақабатҳо ҷудошаванда арзишҳои энергияи мубодила кифоя набуданд. Аз ин рӯ, барои муайян кардани таъсирнокӣ дар чунин системаҳо меъёри нави дараҷаи тартиби наздик σ_{12} пешниҳод шудааст, ки барои ҳудудгузори системаҳои ба қабатҳо ҷудошавандаи дучандаи индий бо элементҳои ҚД истифода гардид. Арзишҳои он бо ёрии муодилаи зерин муайян карда шудаанд: $(1 - \sigma) / (1 + \sigma) = \exp(-\Delta H / kT)$, дар ин ҷо k -доимии Болтсман ва $\Delta H = [0.5(H_{11} + H_{22})]$. Вақте, ки арзишҳои ΔH мусбат бошанд, σ_{12} низ қиматҳои мусбӣ гирифта, ки наздикиро нишон медиҳад. Агар ΔH манфӣ бошад, σ_{12} пас таъсири мутақобилаи заррачаҳои ба ҳам номбаршудаи 1-1 (In-In), 2-2 (эл-эл) ва таъсири мутақобилаи ҷуфтҳои 1-2 (In-эл) имконнопазир аст.



Расми 3. –Навъҳои мувозинати фазагӣ дар системаҳои бинарӣ: а-навъи 1-ум, б-навъи 2-юм, в ва г-навъи 3-юм, д ва е-навъи 4-ум, ж ва з-навъи 5-ум

Бо мақсади коркарди технологияи тоза кардани индӣ аз ғашҳои мушкилғудоз Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta равиши илмӣ назариявӣ истифода гардид. Он аз конструксияи графӣ ДХ сохташудаи системаҳои дучандаи In бо онҳо асос ёфтааст. Бо ба назаргирии арзёбии термодинамики таъсири мутақобила дар системаҳои In-МГ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta) ДХ онҳо сохта шуд (расми 4).



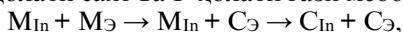
Расми 4. –Диаграммаҳои ҳолатии системаҳои дучандаи In-МГ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh,

ДХ пешниҳодшуда мавҷуд набудани омехташавии байни компонентҳо дар ҳолати моеъ ва сахтро нишон медиҳанд. Дар системаҳои мазкур ҳангоми кристаллизатсия дар онҳо мумкин аст маҳлулҳои саҳти хеле маҳдуд пайдо шаванд. Дар ин ҳолат тағйирёбии нонварианти таназул дорад, ва пайдоиши пайвастагиҳои интерметаллӣ, аз ҷумла фазаҳои мобайнӣ эҳтимоли кам дорад. Дар ДХ аз тарафи ординати индӣ ҳарорати 430 К ба нуқтаи ғудохташавии он мувофиқат мекунад. Дар тарафи ординатаҳои компоненти дуюм ба ҳароратҳои 2136, 2896, 2607, 3306, 1828, 3293 К мувофиқат мекунад. Онҳо ҳароратҳои ғудохташавии металлҳои мушкилғудоз: Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta мебошанд. Ҳарорати 2382 К бошад нуқтаи ҷӯшиши индӣро ифода мекунад. На аз тарафи индӣ ва на аз тарафи компонентҳои дуюм дар системаҳо тағйироти аллотропӣ мушоҳида карда намешавад.

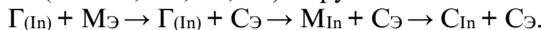
Натиҷаҳои баҳодихии термодинамики таъсири мутақобила дар системаҳои пурра омӯхташудаи In-МГ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta) гирифта шудааст. Бори аввал ДХ онҳо пурра сохта шудаанд. Онҳо ҳангоми коркарди

технологияи ба даст овардани материалҳои дорои хосиятҳои баланди зидтфриксионӣ кӯмаки хуби назариявӣ мебошад. Чунин материалҳо барои дастгоҳҳои энергетикӣ ҳастанд техникаи атомӣ, инчунин, ҳулаҳое, ки дар корҳои рехтагарӣ ва заргарӣ истифода мешаванд. Ғайр аз ин, маълумотҳо оид ба таъсири мутақобила ва роҳҳои истифодабарии ликватсионии тозакунии ин ғашҳои мушкилгудоз ва ба даст овардани индӣ дараҷаи тозагиаш баланди то 6N-ро муайян мекунад.

Дар зер схемаҳои тозакунии ликватсионии индӣ аз баъзе ғашҳои мушкилгудоз ба монанди Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta оварда шудааст. Аз схема дидан мумкин аст, ки дар системаҳои In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh ва In-Ta тозакунии ликватсионӣ-кристаллизатсионӣ ба амал меояд. Ин раванд бо тағйир додани ҳалшавандагии компонентҳо асос ёфтааст. Ба қабатҳо ҷудошавии онҳо ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам дар ҳолати сахт аз рӯйи зичии фазаҳои ҳосилшуда ба амал меояд. Масалан, барои системаҳои In-Э (Э-Cr, Rh) чунин раванд аз рӯйи схемаи зерин амалӣ карда мешавад, ки дар ин ҷо M-ҳолати моеъ, C-ҳолати сахт ва Г-ҳолати газӣ мебошад:

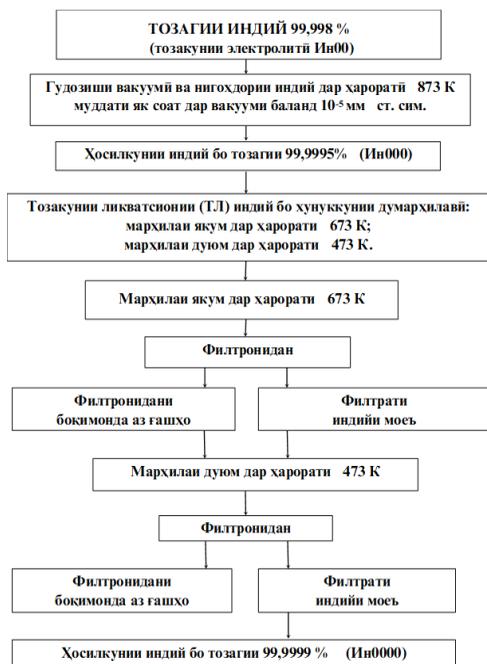


барои системаҳои In-Э (Э - Mo, Ru, Os, Ta) аз рӯйи схемаи:



Муфасалтар ба шарҳи равандҳои нигоҳдории вакуумӣ ва тозакунии ликватсионии индӣ тавачҷуҳ намоем. Ба сифати ашёи хомӣ ибтидоӣ (ниг. расми 5) индӣ тозашудаи электролитӣ бо тозагии 99,998% истифода шудааст. Нигоҳ доштани ғудохтаи индӣ дар вакуум давоми як соат имкон медиҳад, ки миқдори ғашҳо, ки фишори буғи онҳо нисбат ба индӣ баландтар аст, 2-3 дараҷа кам карда шавад. Концентратсияи баъзеи онҳо (Li, Na, Cs, Mg, Zn, Cd, Se, Te, As, Hg) аз ҳадди ошкор кардани усулҳои таҳлили истифодашуда камтар мешавад. Баъд аз ба итмом расидани нигоҳдории вакуумӣ, ба қатъ кардани равиши протессии технологияи тозакунии индӣ, ба даври навбатии тозакунии индӣ-тозакунии ликватсионии металлӣ ғудохта бо роҳи мунтазам паст кардани ҳарорат оғоз меёбад. Ҳарорати гармӣ аз 873 К охиста-охиста дар 323 К бо суръатҳои 275,3-75,5 К/дақ. то ҳарорати 673 К ва 273,5 К/дақ. то 473 К паст карда мешавад. Ҳангоми хунук кардани индӣи моеъ, ғашҳои мушкилгудоз тадриҷан дар шакли кристаллҳои яқумдараҷа ҷудо мешаванд ва моеъи индӣ ба сатҳи болои он мебарояд. Ҳамин тавр зичии кристаллҳои компонентҳои мушкилгудоз аз зичии индӣ зиёдтар аст. Сипас индӣи тозашуда то 99,9999% баъд аз филтронидан ба зарфҳои пӯлодини зангназананда (стаканӣ) рехта мешавад. Маълумот оид ба таркиби химиявӣ намунаҳои гирифташуда аз индӣ бо дараҷаҳои гуногуни тозагӣ дар қор оварда шудааст.

Назорати муҳтавои макро- ва микрокомпонентҳои намунаҳо дар квантометри муосири спектрии «SpectroLab M» ва микроспектрометри флуоресцентии рентгении Спектродексистиҳсоли Олмон гузаронида шуд. Раванди коркард ва схемаи технологияи тозакунии ликватсионӣ аз ғашҳои мушкилгудоз, инчунин, ҳосилкунии индӣи тозагиаш махсус барои истифода дар истиҳсолот тавсия карда мешавад. Манфиатҳои пешакии иқтисодии солона барои истиҳсоли як тонна индӣ 1833900 сомонӣ (як миллиону ҳаштсаду сию се ҳазору нӯҳсад сомонӣ) ҳисоб карда шудааст.



Расми 5. –Схемаи технологияи нигоҳдории вакуумӣ ва тозакунии ликватсионӣ хангоми гирифтани индийи дараҷаи тозагиаш баланд

Диagramмаҳои ҳолати системаҳои дучандаи In-Э (S, Se, Te) сохта шудаанд. Дар онҳо минтақаҳои маҳлулҳои ҳудуди моё, саҳт, эвтектикӣ (эвтектоид, перитектикӣ ва перитектоид барои системаҳои дучандаи In бо Se, Te) ва мувозинати монотектикӣ муқаррар карда шудааст. Индий

бо ин элементҳо, инчунин, халкогенидҳо-пайвастиҳои химиявиро ҳосил мекунанд, ки хосиятҳои нимноқилӣ дошта, дар техникаи электронӣ васеъ истифода мешаванд.

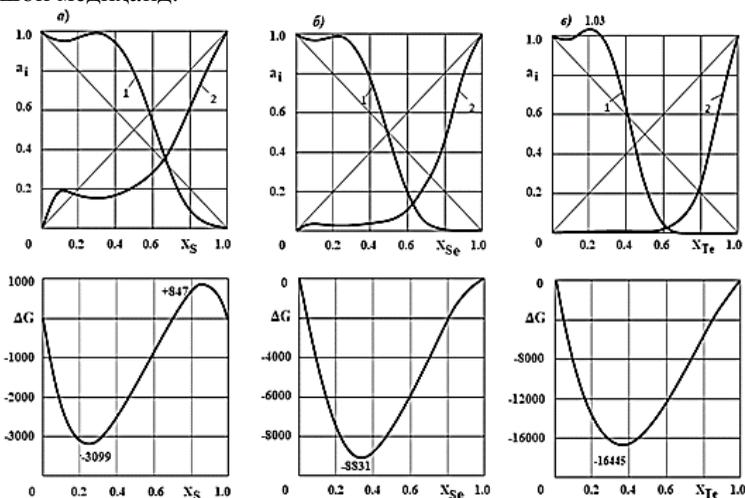
Хусусиятҳои стандартии термодинамикии ҳулаҳои системаҳои In бо халкогенҳо (S, Se, Te) барои пайвастиҳои химиявӣ ба таври таҷрибавӣ муайян карда шуданд. Дар баробари ин, оид ба хосиятҳои термодинамикии системаҳои болозикр маълумоте мавҷуд нест, ҳол он ки хусусияти таъсири мутақобилаи индий бо халкогенҳо дар ҳолати моё дар ҳарорати монотектикӣ аҳамияти зарурӣ дорад. Хосиятҳои термодинамикӣ барои омӯзиши бисёр хосиятҳои дигари физико-химиявӣ асос мебошанд.

Ҷадвали 1. –Ҳисобҳои константаҳои таъсири мутақобилаи байнизарраҳо ва муодилаҳо барои коэффитсиенти фаъолнокии компонентҳо дар системаҳои индий-халкогенҳо

Система	T _m , К	Таркиби фазаҳо, ат. ҳиссаҳо		Q ₁	Q ₂	Муодилаҳо
		x ₂ '	x ₂ ''			
In-S	911	0.070	0.370	13317	-40107	$\ln f_{In} = 7.05 (1-x_{In})^2 - 10.59 (1-x_{In})^2$ $\ln f_S = -8.83 (1-x_S)^2 + 10.59 (1-x_S)^2$
In-Se	793	0.070	0.290	-863	-58841	$\ln f_{In} = 8.79 (1-x_{In})^2 - 17.85 (1-x_{In})^2$ $\ln f_{Se} = -17.98 (1-x_{Se})^2 + 17.85 (1-x_{Se})^2$
In-Te	696	0.039	0.312	-15659	-88104	$\ln f_{In} = 12.52 (1-x_{In})^2 - 30.45 (1-x_{In})^2$ $\ln f_{Te} = -33.16 (1-x_{Te})^2 + 30.45 (1-x_{Te})^2$

Дар расми 6 натиҷаи ҳисобҳо аз рӯи муодилаҳо оварда шудааст. Дидан мумкин аст, ки ғудохташавии S, Se ва Te дар индӣи моё дар минтақаи таркибҳои аз In бой ба таври экзотермикӣ меғузарад; бо баровардани гармӣ ва максималӣ дар $x_2 = 0,25; 0,35$ ва $0,38$ баробар ба $-3099; -8831$ ва -16445 Ҷ/г-ат. Ҳалшавии In дар минтақаи аз S бой бо ҷаббиши гармии баробар ба $+847$ Ҷ/г-ат ба амал меояд.

Ҳамин тариқ, дар диссертатсия формулаҳои назарияи маҳлулҳои субрегулярӣ бо назардошти илова набудани энергияи маҳлули дучанда ба ҳӯлаҳои системаҳои индӣи-ҳалкогенҳо (S, Se, Te) истифода мешаванд. Дар ин маврид константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизарраҳои индӣи бо ҳалкогенҳо аз рӯи ДХ онҳо муайян карда шуданд. Барои ҳисоб намудани вобастагии консентратсияи коэффитсиентҳои фаъл ва энергияи озоди Гибс барои ҳӯлаҳои системаҳои In-S, In-Se ва In-Te муодилаҳо ба даст оварда шудаанд. Хусусиятҳои термодинамикии ҳисобшудаи компонентҳо қачравии алтернативии ассиметрии хосиятҳои компонентҳоро аз қонуни Раул нишон медиҳанд.



Расми 6. –Вобастагии фаъолияти термодинамикӣ (a_1) ва энергияи озоди Гибс (ΔG , Ҷ/г-ат.) дар системаҳои индӣи 1 –ҳалкогенҳо: 2 аз консентратсияи компоненти 2-юм: а) In-S; б) In-Se; в) In-Te

Муайян намудани константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизарраҳои индӣи бо ҳалкогенҳо: S, Se ва Te, ки ҳоло ба таври таҷрибавӣ омӯхта нашудаанд, аҳамияти қалон дорад. Дар асоси маълумоти таҷрибавӣ имкони ба даст овардани қиматҳои доимиро дар асоси ҳудуди омехтанашаванда дар ДХ нишон додан мумкин аст.

Қиматҳои константаҳои таъсири мутақобилаи байнизарраҳо аз рӯи шартҳои баробарии потенциалҳои химиявии компонентҳо дар ҳудуди мувозинатӣ дар ҳарорати монотектика бо роҳи ҳалли якҷояи муодилаҳо ҳисоб карда шуданд. Маълумоти ибтидоӣ ва натиҷаҳои ҳисобкунӣ дар ҷадвали 2 оварда шудаанд.

Чадвали 2. –Қиматҳои константаҳои мутақобилаи байнизарраҳо (Q_1 ва Q_2) дар системаҳои индӣ бо халкогенҳо (S, Se, Te), ки минтақаҳои ҳалшавандагии маҳдуд дар ҳолати моеъгӣ доранд

Система	T_m, K	Худудҳои ҳалшавандагӣ, ат. ҳиссаҳо		Q_1	Q_2
		x_2'	x_2''		
In-S	911	0.0700	0.3700	14009	35076
In-Se	793	0.0700	0.2900	3844	47914
In-Te	696	0.0390	0.3120	1500	50854

Муфассал ҳисобкуниро дар ДХ системаи In-S дида мебароем. Дар ин ҳо $x_2'=0,0700$; $x_2''=0,3700$ ҳиссаи молӣ ва $T_m=911$ К аст, аз ин рӯ, $Q_1=14009$ ва $Q_2=-35076$ Ҷ/г-ат. мегирем. Бо ҷойгузори қиматҳои байнизарравии константаҳои мутақобила метавон координатаҳои оғози ҷудошавии критикиро дар системаи In-S дарёфт намуд. Ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки оғози ҷудошавии критикӣ дар диаграммаи ҳолатии In-S ба $T_{кр.}=1079$ К ва $x_{кр.}=0,1999$ ҳиссаи молӣ мувофиқат мекунад. Ҳисобҳои монанд барои системаҳои In-Se ва In-Te анҷом дода шудаанд (ниг. ба чадвали 3).

Муқоисаи арзишҳои таҷрибавӣ ва ҳисобшудаи координатаҳои оғози ҷудошавии маҳдули гомогенӣ аз рӯи муодилаҳо мувофиқати хуби онҳоро нишон медиҳад. Аз қиматҳои муайяни Q_1 ва Q_2 асимметрияи назарраси ҳосиятҳои термодинамикии системаҳои In-S, In-Se ва In-Te-ро пайгирӣ мекунад.

Чадвали 3. –Қиматҳои таҷрибавӣ ва ҳисобшудаи оғози ҷудошавии критикӣ ва координатаҳои он ($x_2^{кр.}$, ҳиссаҳои ат. ва $T_{кр.}, K$)

Система	Ибтидои ҷудошавии критикӣ			
	$x_2^{кр.}$, таҷриб.	$x_2^{кр.}$, ҳисоб.	$T_{кр.}$, таҷриб.	$T_{кр.}$, ҳисоб.
In-S	0.2000	0.1999	1024	1079
In-Se	0.1735	0.1609	1183	930
In-Te	0.1835	0.1544	1076	904

Боби сеюм таҳқиқи ҳосиятҳои ултрасадо дар гудохтаи металлҳо ва нимноқилҳо, асосҳои методологии таҳқиқот оид ба муайян сохтани ҳосиятҳои акустикии гудохтаҳо дар ҳолати моеъгӣ муқаррар карда шудааст.

Барои ҷен кардани ҳосиятҳои ултрасадогӣ ва суръати ултрасадо дар гудохтаҳо асбобҳои стандартии электронӣ, аз ҷумла отсиллографи-CI-70 бо агрегати пурқувваткунанда (дифференсиалӣ), генератори сигнали синусоидалии баландбасомади Г4-102А, инчунин, басомадҷенкунандаи электронии рақамии ЧЗ-34А истифода шудааст. Ҳангоми тағйирёбии фаза дар сигнали импульсӣ интерференсияи онҳоро мушоҳида кардан мумкин аст. Басомади электронӣ бо басомадсанҷ ҷен карда мешавад.

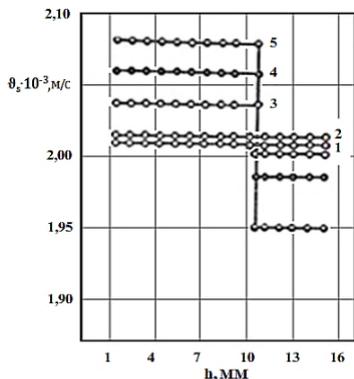
Омузиши суръати паҳншавии ултрасадо дар металлҳои мушкилгудоз натиҷаҳои бозъитимод мебошанд, ки барои сохтани гармкунак ҷиҳати муайян намудани якчанд бузургҳои ултраакустикӣ дар як вақт зарур аст. Дар асоси ин мо гармкунаки баландхароратро барои омузиши ҳосиятҳои

ултрасадогии гудохтаҳо пешбинӣ шудааст, таҳия намудем, ки он бо шаҳодатномаи ҳуқуқии муаллиф [10-М] ҳимоя шудааст.

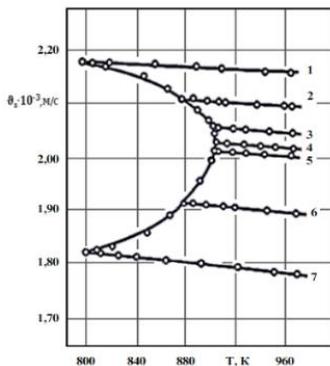
Ченкунӣ аз дарозии мавҷ вобаста буда, дар басомади додашуда имкон медиҳад, ки суръати паҳншавии ултрасадо аз рӯйи таносуби $\vartheta_s = f \cdot \lambda$ муайян карда мешавад. Ҳангоми ҳаракат додани канали болоии садо ба поён, дар экрани осиллограф дар масофаи $n\lambda$, хомӯшшавии сигнали n мушоҳида карда мешавад. Пас аз бақайдгирии мавқеи пурраи $\Delta h = n\lambda$ ва муқаррар кардани басомади f , суръати паҳншавии ултрасадо бо таносуби $\vartheta_s = f \cdot \Delta h / n$ муайян карда мешавад, ки ба формулаи $\vartheta_s = f \cdot \lambda$ шабоҳат дорад.

дар ин ҷо $\lambda = \frac{\Delta h}{n}$ аст.

Ба сифати маводди ибтидоӣ индий (Ин-000) ва селен тамғаи-«о.с.ч» барои тайёр кардани хӯлаҳо истифода шуданд. Намунаҳо дар ампулаҳои кварсӣ чойгир карда шуда, ҳавои дохилаш то 10^{-4} Па кашида гирифта шудааст. Дар ҳарорати гудозиши индий ва селен намунаҳоро давоми ду соат нигоҳ дошта, таҳлили асосиро дар 950 К давоми се соат бо омехтакунии пуришддати механикӣ анҷом додем ва дар ниҳоят онро дар ҳаво зимни дар як вақт ҷунбонидани ампулаҳо то мустаҳкам шудани намунаҳо хунук кардем. Ченкунӣ дар муҳити аргон, ки тозагиаш баланд дар диапазони басомади 1-3 МГц гузаронида шуданд. Дар расми 7 натиҷаҳои таҷрибавии суръати паҳншавии ултрасадо (ϑ_s) вобаста ба баландии (h) сутуни моеъи таркиби намунаи ибтидоии $In_{0,83} - Se_{0,17}$ дар ҳарорати гуногун оварда шудааст. Маълум аст, ки дар 930 ва 917 К (хатти 1 ва 2) дар ϑ_s - h характеристикаҳо хатҳои рости параллел мебошанд, гуфтан мумкин аст, ки суръати паҳншавии ултрасадо аз баландӣ вобаста нест. Дар 910 К дар ϑ_s - h - характеристика (хати 3) ҷаҳиши суръати ултрасадо мушоҳида мешавад. Минбаъд, дар 903 ва 893 К, арзиши $\Delta\vartheta_s$ пайваستا зиёд мешавад (расми 8, хатҳои 4 ва 5), ки он бо пастшавии ҳарорат афзоиши фосилаи концентратсияро дар қабатҳо нишон медиҳад.



Расми 7. –Тағйирёбии суръати ултрасадо дар гудохтаи $In_{0,83} - Se_{0,17}$ вобаста ба баландии сутуни моеъ. (1-5. -930, 917, 910, 903, 893 Т, К)

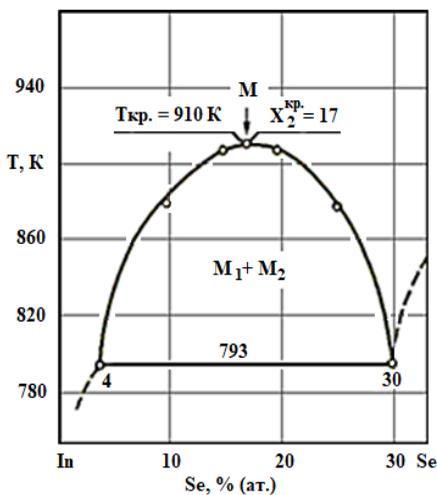


Расми 8. –Вобастагии суръати ултрасадо аз концентратсия дар гудохтаи In-Se. Политермаҳои 1-7 (4, 10, 15, 17, 20, 25, 30% ат. Se)

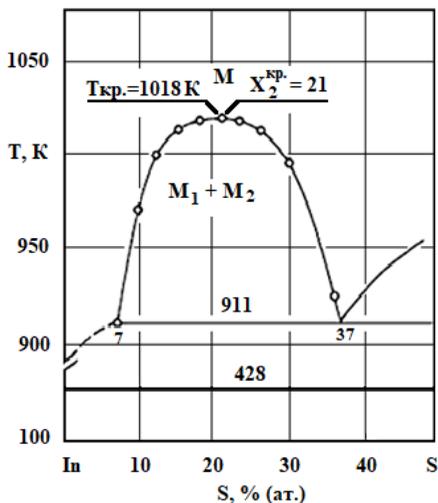
Азбаски ҳарорати ба қабатҳо ҷудошавӣ хеле дақиқ муайян карда шудааст, ҳарорати ϑ -h - характеристикаи 3 (910 K) ба ҳарорати критикӣ наздик ҳисобидан мумкин аст.

Мо натиҷаҳои таҷрибавиро барои концентратсияҳои гуногун таҳқиқ намуда, дар натиҷа ҳатти қачӣ умумиро, ки вобастагии суръати паҳншавии ултрасадо дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавиро нишон медиҳад, муайян намудем (расми 8).

Расми 8 нишон медиҳад, ки дар $T > T_{кр}$ ҳамаи политермаҳо ба меҳвари ҳарорат нишебии манфӣ доранд. Чунин рафтор ба металлҳо хос аст. Тавре ки аз расм дида мешавад, дар политермаҳои суръати ултрасадо ягон ҳодисаҳои аномалӣ пайдо нашудааст. Онҳо бо зиёдшавии ҳарорат, аз ҳарорати ҷудошавӣ сар карда, ба таври ҳаттӣ кам мешаванд. Мувофиқи маълумоти дар расми 8 овардашуда, ҳатти қачи моновариантии мувозинати моеъ-моеъ дар системаи In-Se сохта шудааст ва ҳамчун қисми диаграммаи мувозинатҳои фазагӣ дар расми 9 нишон дода шудааст.



Расми 9. –Қисми диаграммаи фазагии системаи индий-селен дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар ҳолати моеъгӣ



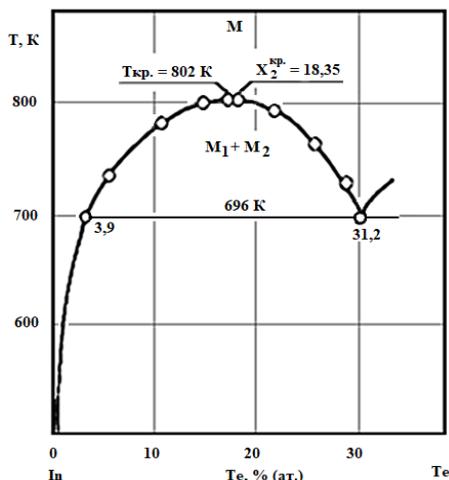
Расми 10. –Қисми диаграммаи мувозинати фазагии системаи индий-сулфур дар минтақаи ба қабатҳо ҷудошавии ғудохтаҳо

Дар расми 10 диаграммаи фазагии системаи индий-сулфур дар минтақаи ба ду қабат ҷудошавии ғудохтаҳо нишон дода шудааст. Мувофиқи маълумотҳои таҷрибавии ба даст овардашуда гунбази ба қабатҳо ҷудошавӣ дар ин система қариб симметрии буда, дар уфуқи монотектикӣ бо нуқтаҳои таркибҳои 7 ва 37% ат. S мувофиқат мекунад.

Дар системаи индий-теллур ин усулро барои омӯختани вобастагии ҳарорат аз (ϑ -h) - характеристика дар ғудохтаҳои дорои - 6, 11, 13, 18, 18.35,

22, 26, 29% ат. Те доштаро истифода намудем. Мо аз теллури тамғаи ТА-1 истифода бурда, натиҷаҳои таҳқиқоти гузаронида шуда дар расми 11 тасвир ефтааст.

Бо истифода аз усули ултрасадо минтақаи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаи In-Te таҳқиқ ва хатти қачи мувозинати моновариантӣ сохта шуд, ки минтақаи зикршударо маҳдуд мекунад.



Расми 11. –Қисми диаграммаи мувозинати фазагии системаи индий-теллур бо мавқеи хатти моеъи моновариантӣ мувозинати моеъу моеъ бо уфуқи монотектикӣ

Координатаҳои нуқтаи критикӣ муқаррар карда шудаанд: ҳарорат 802 ± 2 К, таркиб 18,35% ат. Те ва боқимонда In мебошад. Гунбази ҷудошавӣ, чунон ки аз расми 11 дида мешавад, симметрӣ аст.

ХУЛОСАҲОИ УМУМӢ

1. Бо истифода аз меъёрҳои термодинамикӣ ва омори навъҳои таъсири мутақобила дар системаҳои бинарии индий, ки қаблан омӯхта нашудаанд (кам омӯхташуданд) муқаррар карда шуд. Бори аввал диаграммаҳои ҳолати мукамал барои шаш системаи бинарии индий бо металлҳои гузарандаи Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta сохта шудаанд [18-M], [24-M].

2. Натиҷаҳои ноилгардидаи индий ва ҳӯлаҳои он нишондиҳандаҳои муҳими хосиятҳои физикӣ, механикӣ, химиявӣ, технологӣ мебошанд, ки барои коркарди технологияи легиронидан, тозақунӣ ва тағйирдиҳӣ заруранд, ДХ сохта шуданд. Маълумоти гирифта шуда, оид ба системаҳои ба қабатҳо ҷудошавандаи дучандаи индий бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se ва Te манбаи арзишманд барои коркарди технологияи ҳосил намудани материалҳои дорои хосиятҳои баланди зиддифриксионӣ дар дастгоҳҳои ҳастай-энергетикӣ ва техникаи атомӣ мебошад [10-M], [12-M], [17-M], [23-M].

3. Дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои гудохтани металлҳои мушкилгудоз, инчунин, индӣ бо халкогенҳо (S, Se, Te) ва ченкунии хосиятҳои ултраакустикуи гудохта, ки бо шаҳодатномаи ҳуқуқи муаллиф ҳимоя шудааст, таҳия карда шуд [10-М], [15-М].

4. Усулҳои ҳисобкунӣ ва эксперименталӣ барои 3 системаи бинарии индӣ бо халкогенҳои ЧД (S, Se, Te) мавҷудияти минтақаҳои ба қабатҳо ҷудошавӣ, координатаҳои табдилёбии нонварианти ва нуктаҳои канорӣ дар диаграммаҳои ҳолатии онҳо бори аввал муайян карда шуд. Аз диаграммаҳои ҳолатии сохташудаи дучандаи индӣ бо истифода аз назарияи маҳлӯлҳои регуляри дар ҳароратҳои мувозинати монотектикӣ энергияи Гиббс, ҷаълонокӣ ва константаҳои таъсири байнизарравӣ ҳӯлаҳои системаҳои болозикр муқаррар карда шуд [2-М], [3-М], [4-М], [5-М], [6-М], [7-М], [12-М], [13-М], [14-М], [16-М], [19-М], [20-М], [21-М], [25-М].

5. Дар асоси ДХ дучандаи сохташудаи индӣ бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta параметрҳои технологияи раванди тозакунии ликватсионии индӣ аз ғашҳои мушкилгудоз пешниҳод карда шуд. Муқаррар гардид, ки ҳангоми зина ба зина хунуккунӣ аз 673 то 473 К тозагии индӣ афзуда, схемаи технологияи коркарди гирифтани индӣ дараҷаи тозагиаш гуногун пешниҳод гардида, ҷиҳати ҳосилкунии индӣ тозагиаш махсус барои татбиқ дар истеҳсолот тавсия мешавад, самаранокӣ пешакии солонии иқтисодии индӣ барои як тонна 1833900 сомонӣ (як миллиону ҳаштсаду сию се ҳазору нӯхсад сомонӣ) бо нархҳои соли 2024 ҳисоб карда шудааст [9-М], [26-М].

ТАВСИЯҲО ОИД БА ИСТИФОДАИ АМАЛИИ НАТИҶАҲОИ ТАҲҚИҚОТ

Комплекси таҳқиқотҳои ҳисоббарорӣ ва таҷрибавии гузаронидашуда имконият дод, ки координатаҳои ҳароратҳои критикии таҷзияи гудохтаи гомогенӣ ба ду фазаи гомергенӣ муқаррар карда шавад. Ин маълумотро ҳангоми коркарди технологияи ба даст овардани материалҳои дорои хосиятҳои зиддифриксионии баланд, ки дар техникаи ядрои заруранд, истифода бурдан мумкин аст.

Маълумотҳои ба дастаовардашуда ҳамчун замина барои бонки маълумотҳои акустикӣ, термодинамикӣ, термофизикӣ ва эластикӣ, ки дар самтҳои гуногуни илму техника муҳим арзёбӣ мегарданд, инчунин, ҳодисаҳои критикии системаҳои дучандаи металлӣ, ки дар диссертатсия оварда шудааст, ба омузиши ҳодисаҳои критикӣ истифода карда шаванд.

Мазмуни асосии кори илмӣ дар интишороти зерин оварда шудааст:

Маколаҳо дар маҷаллаҳои илмӣ тақризшаванда

[1-М]. **Джафаров, А.С.** Особенности характера температурной зависимости скорости распространения ультразвука расплавов металлов и полупроводников за куполом раслаивания / **А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, А.Н. Мирзозода, Т.Дж. Джураев** // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» Таджикского аграрного университета им. Ш. Шохтемур, 2021. – №2 (91). – С. 108-110.

[2-М]. **Джафаров, А.С.** Исследование двойных систем с особыми температурными точками / **А.С. Джафаров, К.Б. Нуров** // Док. национальной Академии наук Таджикистана, 2021. – Т. 64. – №7-8. – С. 442-448.

[3-М]. **Джафаров, А.С.** Определение линии моновариантного равновесия в расплавах систем индий-халькогены (сера, селен и теллур) / **К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Т.Дж. Джураев** // «Политехнический Вестник», серия Инженерные исследования ТГУ им. акад. М. С. Осими, 2021. – №4 (56). – С. 35-40.

[4-М]. **Джафаров, А.С.** Фазовые равновесия в системе In-Te / **А.С. Джафаров** // Доклады национальной Академии наук Таджикистана, 2022. – Т. 65. – №3-4. – С. 233-239.

[5-М]. **Джафаров, А.С.** Термодинамические активности и свободная энергия Гиббса компонентов в сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) / **Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев** // «Политехнический Вестник». Серия: Инженерные исследования Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими, 2022. – №2 (58). – С. 90-94.

[6-М]. **Джафаров, А.С.** Поведение акустических параметров вблизи критических точек системы жидкость-жидкость / **К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Рустами Т., Т.Дж. Джураев**, // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава, 2022. – №2/2 (99). – С. 71-77.

[7-М]. **Джафаров, А.С.** Скорость распространения ультразвука как структурно-чувствительный характеристик для изучения молекулярно-кинетические свойства расплавов металлов и полупроводников / **К.Б. Нуров, Т.Дж. Джураев, А.Н. Мирзозода, А.С. Джафаров, Рустами Т.** // Вестник Таджикского национального университета: Серия естественных наук, 2023. – №1. – С. 160-169.

[8-М]. **Джафаров, А.С.** Закономерности изменения энергии взаимодействия индия с элементами периодической таблицы (ПТ) от их порядкового номера / **Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, М. Тошев** // Чебышевский сборник (Scopus), 2023. – Т. 24. – №5 (91). – С. 266-273.

[9-М]. **Джаъфари А.С.** Разработка технологической схемы ликвационного рафинирования индия от некоторых тугоплавких примесей / **Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, А.С. Джаъфари** // Вестник Таджикского технологического университета: Технология и химия, 2024. – №1 (56) – С. 41-47.

Ихтироот:

[10-М]. Джафаров, А.С. Устройство для нагрева исследуемого образца из металла или полупроводника / **Джафаров А.С.**, Нуров К.Б., Джураев Т.Дж., Тошов М.А., Мирзозода А.Н., Мухаббатов Х.К. РТ №ТJ 1321 от 23.05.2022 г.

Мақолаҳо маҷаллаҳои дигар ҷопшуда:

[11-М]. Jafarov, A.S. Investigation of the region of examination of melts in systems In-B^{VI} (B^{VI} -S, Se, Te) by the acoustic method / К.В. Nurov, Т.Д. Dzhuraev, **A.S. Jafarov** // Austrian Journal of technical and natural sciences», Vienna, 2022. – №3-4. – P. 44-51.

[12-М]. Джафаров, А.С. Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах полупроводниковых соединений Sb₂Se₃ и Bi₂Se₃ / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Международный научно-практический журнал Endless light in science. Казахстан, 2022. – С. 133-137.

[13-М]. Джафаров, А.С. Исследование двухкомпонентные монотектические системы ультразвуковым методом / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Международный научный журнал «Национальная Ассоциация Ученых» г. Екатеринбург, 2022. – Т. 2. – №82. – С. 60-66.

Фишурдаи маърузаҳо дар конференсияҳо

[14-М]. Джафаров, А.С. Исследование области ограниченной растворимости в жидком состоянии в бинарных системах индия с селеном и теллуrom / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров**, Т.Дж. Джураев, М.Т. Тошев, Х.К. Мухаббатов // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности» (9-10 декабря 2021 г.). – Душанбе: ТТУ им. ак. М.С. Осими, 2021. – С. 85-90.

[15-М]. Джафаров, А.С. Основные проблемы в технике высокотемпературных акустических экспериментов с расслаиванием компонентов в жидком состоянии / К. Б. Нуров, А. Н. Мирзозода, Рустами Т., **А. С. Джафаров** // Маводди конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзуи: «Проблемаҳои муосири илмҳои табиатшиносӣ роиҷазӣ ва методикаи таълими онҳо дар муассисаҳои таҳсилоти олии касбӣ» бахшида ба Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва роиҷазӣ дар соҳаи илму маориф (солҳои 2020-2040), 50-солагии факултети физика ва 90-солагии ДДОТ ба номи С. Айни (9 июни соли 2021). – Душанбе, 2021. – С. 133-136.

[16-М]. Джафаров, А.С. Исследование области расслаивания расплавов в системах In - B^{VI} (B^{VI} - S, Se, Te) / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров**, Т.Дж. Джураев // Материалы республиканская научно-практическая конференция «Послание-путеводитель» (29 февраля 2022 г.). – Бустон: ГМИТ, 2022. – С. 43-47.

[17-М]. Джафаров, А.С. Прогноз образования интерметаллических соединений в бинарных системах индия с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, Р.А. Наимов, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в

области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 85-88.

[18-М]. Джафаров, А.С. Расчет энергии межчастичного взаимодействия и координат критического расслоения в системах индий-халькогены (S, Se и Te) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 239-241.

[19-М]. Джафаров, А.С. Исследование области ограниченной растворимости в системах In-B^{VI} (B^{VI}-S, Se, Te) / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Наука и технология» (15-16 мая 2022 г.). – Казахстан, 2022. – С. 179-187.

[20-М]. Чафаров, А.С. Тадқиқоти системаҳои дучузба бо нуқтаҳои харорати махсус / **А.С. Чафаров** // Материалы международной научно – методической конференции. «Роль естественно-математических наук и методики их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны» посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественно математических и точных дисциплин в области науки о образования (2020-2040 гг.)», а также четвертая цель национальной стратегии – ускорение индустриализации страны. (14 июля соли 2022). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2022. – С. 153-156.

[21-М]. Джафаров, А.С. Исследование диаграммы с ограниченной растворимостью в жидком состоянии / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум» (1-7 июля 2022 г.). – Бурятия, г. Улан-Удэ, 2022. – 69 с.

[22-М]. Джафаров, А.С. Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах селенида сурьмы и висмута / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Международная научно-практическая конференция «Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития» (7 августа 2022 г.). – Челябинск, 2022. – С. 8-15.

[23-М]. Джафаров, А.С. Акустические исследования фазовых переходов и критических явлений в металлических и полупроводниковых жидкостях / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Республиканской научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы и перспективы развития

естественных и точных наук» (28-29 октября 2022 г.). – Душанбе: филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, 2022. – С. 136-143.

[24-М]. Джафаров, А.С. Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграмм фазовых равновесий в системах индия с бором, углеродом и ниобием / Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Республиканская научно - практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорг. химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док. хим. наук, проф. Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. – С. 48-51.

[25-М]. Джафаров, А.С. Расчет термодинамической активности и свободной энергии Гиббса компонентов в двойных сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) в жидком состоянии / **А.С. Джафаров** // Республиканская научно-практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док. хим. наук, профессора Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. – С. 82-89.

[26-М]. Джаъфари, А.С. Раванди тозакунии ликватсионии индӣ аз ғашҳои мушкилгудоз / **А.С. Джаъфари, Т.Д. Джураев** // Маводди конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Нақши саноатикунӣ дар пешрафти истеҳсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040) (23 майи соли 2024). – Душанбе: ДДОТ ба номи С.Айни, 2024. – С. 109-114.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН
ТАЖДИКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ САДРИДДИНА АЙНИ**

На правах рукописи



УДК: 669.017.11+534.2:546.3

ББК: 24.5

Д – 44

ДЖАЪФАРИ АМИРШО САЙОБИД

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИНДИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ
ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ
РАССЛОЕНИЯ В СИСТЕМАХ ИНДИЙ-ХАЛЬКОГЕНЫ
(S, Se, Te)**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 02.00.04 - физическая химия**

Душанбе – 2024

Работа выполнена при кафедре общехимических дисциплин и машиноведения Таджикского государственного педагогического университета им. Садриддина Айни и кафедре металлургии Таджикского технического университета им. академика М.С. Осими.

Научный руководитель: **Нуров Курбонали Бозорович**, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры экспериментальной физики ТГПУ имени Садриддина Айни

Научный консультант: **Джураев Тухтасун Джураевич**, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры металлургия ТТУ имени академика М.С. Осими

Официальные оппоненты: **Назарзода Хайрулло Холназар**, доктор технических наук, доцент, ректор Таджикского государственного университета коммерции

Баротов Бахтиёр Бурхонович, кандидат технических наук, заместитель директора Агентство по химической, биологической, радиационной и ядерной безопасности НАНТ Государственное научное учреждение «Центр по исследованию инновационных технологий» Национальной академии наук Таджикистана

Ведущая организация:

Защита состоится 29 ноября 2024 года, в 13⁰⁰ часов на заседании разовой диссертационного совета 6D.KOA-010 при Таджикском национальном университете.

Адрес: 734025, г.Душанбе, проспект Рудаки, 17 Таджикский национальный университет, главное здание, зал диссертационного совета, второй этаж. **E-mail:** nazira64@indox.ru, **тел.:** (+992) 935476644, **факс:** (992-372) 217711.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте Таджикского национального университета (www.tnu.tj)

Автореферат разослан «__» _____ 2024 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук



Бекназарова Н.С.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Наступающая многополярность в цивилизованном мире усиливает соприкосновение работ исследовательского и практического характера, целью которых является разработка материалов, например, стратегического назначения. Высокоэффективные антифрикционные сплавы для использования в атомной технике и соединения с уникальными полупроводниковыми свойствами для микроэлектроники - все это новые материалы, которые создавались и могут создаваться за короткие сроки с применением физико-химического анализа металлических систем. Результаты этого анализа представляются в виде диаграмм состав-свойства, которые известны как диаграммы фазового равновесия или диаграммы состояния. Они позволяют выбрать оптимальный состав, обладающий требуемыми свойствами для создания композиций. Кроме того, диаграммы состояния определяют изменение свойств компонентов вследствие состава и нарушения его стехиометрии. Фазовая диаграмма показывает, что образующиеся расплавы имеют переменную или постоянную фазы. Диаграмма состояния показывает, что получаемые сплавы представляют собой фазы переменного или постоянного составов. Перечисленная информация, получаемая из диаграммы состояния, имеет прикладное значение при разработке технологии синтеза новых материалов.

Представленная научная работа посвящена изучению взаимодействия одного из редких металлов - индия с элементами периодической таблицы (ПТ) Д.И. Менделеева и исследование области расслоения в системах In-S, In-Se и In-Te. Известно, что индий при сплавлении с некоторыми металлами периодической таблицы образует очень сложные диаграммы состояния, отражающие одновременно наличие промежуточных фаз, областей твердых растворов, расслоение в жидкой фазе, различных невариантных (эвтектических, эвтектоидных, перитектических, перитектоидных, кататектических) превращений. Несмотря на это, не все диаграммы состояния (ДС) двойных систем индия с элементами периодической таблицы построены, а которые есть порой вызывают сомнения в виду того, что при сплавлении некоторые исследователи использовали металлы невысокой технической чистоты. В связи с этим, они подлежат повторному анализу с применением более высокочистых исходных компонентов или новых методов статистико-термодинамических анализов, учитывающих свойства чистых компонентов, с цифризацией и использованием современных методов компьютерного моделирования.

Уровень научной разработки, теоретические и методологические основы исследования. Построение линии моновариантных кривых равновесия на ДС двухкомпонентных систем считается одной из важнейших и сложных задач физико-химического анализа. До настоящего времени для их построения используются различные физические и химические методы измерения вязкости, плотности, электропроводности расплавов, дифференциально-термический анализ и т.д.

Вышеупомянутые методы, по объективным причинам, являются недостаточно точными методами построения линии моновариантной кривой равновесия и создают большой объем работы и другие технические

недостатки. Ультразвуковой метод является одним из наиболее точных и продуктивных методов в современной науке.

Анализ литературы показал, что наряду с проведенными научными работами к началу наших исследований из 200 систем, в которых имеются область не смешиваемости, полностью построены только 8-10 перечисленных выше областей. Для остальных двухкомпонентных систем эта область показана только пунктирными линиями.

В связи с этим, целью предлагаемой научной работы является исследование состава, структуры и определение моновариантной кривой в системах In-S, In-Se и In-Te ультразвуковым методом. Скорость распространения ультразвука как свойство чрезвычайно чувствительна к изменению атомной структуры и неоднородным свойствам. Кроме того, с использованием статистических и термодинамических методов оценки типов взаимодействия между компонентами впервые построены ДС шести двойных систем индия с металлами Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, и на ее основе разработана технологическая схема ликвационной очистки индия от некоторых тугоплавких примесей. В ходе обсуждения и выводов диссертационной работы были использованы современные методы исследования структуры веществ и построения ДС.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью диссертационной работы являются исследование взаимодействия типов двойных системах индия с другими элементами ПТ, построение фазовых диаграмм этих, не до конца изученных или не изученных двойных систем, оценка некоторых термодинамических свойств двойных сплавов с участием индия, а также экспериментальное определение области расслоения в двойных системах индий с серой, селен, теллур и координаты критического распада в монотектическом равновесии.

Задача исследование:

- исследование типов взаимодействия In с элементами ПТ и выявление общих закономерностей их фазового равновесия;
- изучение взаимодействия в неизученных (не до конца изученных) бинарных систем In с использованием методов прогнозирования, а также их ДС. Разработка метода ликвации основного исследуемого металла от примесей металлов (тугоплавких);
- выявление термодинамических характеристик расплавов бинарных систем с участием индия;
- экспериментальное определение распада критических координат однородных расплавов на две гомогенные фазы в монотектическом равновесии двойных систем In-S, In-Se и In-Te с использованием современных методов физико-химического анализа;
- разработка для изучения расплавов и их ультразвуковых свойств высокотемпературного нагревателя;
- вычисление энергии Гиббса, активности и константы межчастичного взаимодействия (термодинамических параметров) сплавов In-S (Se, Te) с использованием теории регулярных растворов.

Объекты исследования: двойные системы индия с другими элементами таблицы Д.И. Менделеева и двухкомпонентные системы: In-S, In-Se, In-Te.

Тема исследования: взаимодействия индия с элементами периодической таблицы и исследование расслоения в системах индий-халькогены (S, Se, Te).

Научная новизна диссертации:

- определены впервые энергия взаимообмена, степень ближнего порядка и энергия связи (параметры взаимодействия) одноимённых (In-In, эл-эл (элемент) и разноимённых (In-эл) систем с элементами ПТ;

- осуществлены расчеты и построены впервые замкнутые диаграммы равновесия для 6 бинарных систем In с такими тугоплавкими металлами как: Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta;

- разработана технологическая схема ликвационного рафинирования In от некоторых тугоплавких примесей, на основании которых впервые построены диаграммы состояния индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh и Ta;

- разработано высокотемпературное нагревательное устройство для изучения расплавов тугоплавких металлов, в том числе индия с халькогенами (S, Se, Te), а также их ультразвуковых свойств;

- с применением методов физико-химического анализа впервые получены данные расчетно-экспериментального изучения координат критического распада гетерогенного расплава на две однородные фазы в области монотектического равновесия в бинарных системах индий-сера, индий-селен, индий-теллур;

- впервые найдены энергия Гиббса, активность, константы межчастичного взаимодействия (термодинамические параметры) сплавов систем индий-сера, индий-селен, индий-теллур и построены диаграммы их состояния.

Практическая и теоретическая ценность диссертации. Созданные диаграммы фазового равновесия и полученные в результате расчетов выражения термодинамических характеристик сплавов In способствуют снижению материальных затрат на эксперименты и повышению экономической эффективности процессов при разработке технологии очищения и очистки, синтезе новых сплавов и пополняют литературный справочный фонд новой информацией.

Основные положения, выносимые на защиту:

- данные по термодинамическому и статистическому прогнозам относительно типов взаимодействия In с жидкими и твердыми элементами ПТ;

- данные, полученные в результате применения построенных ДС, разработка технологии получения материалов с высокими антифрикционными свойствами в системах индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se и Te;

- результаты расчетов и построение полной ДС для двойных систем индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta;

- технология ликвационной очистки индия от некоторых тугоплавких примесей на основе двойных диаграмм состояния индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh и Ta;

- разработка высокотемпературного нагревателя для тугоплавких металлов, индия с серой, селен и теллур;

- данные по термодинамическим свойствам (активность, энергии Гиббса и констант межчастичного взаимодействия) сплавов систем индий-сера, индий-селен и индий-теллур.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается современными методами компьютерного моделирования и сифризации, импульсно-фазовом методе, их апробации на форумах, конференциях международного и республиканского уровней, публикации материалов в специализированных научных журналах.

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 02.00.04 - физическая химия (технические науки), особенно результаты научно-исследовательских работ пунктов 1, 2, 4 и 11.

1. Пункт 1 - «Экспериментальное определение и расчет параметров строения и пространственной структуры веществ» [глава III. § 3.3; 3.4].

2. Пункт 2 - «Экспериментальное определение термодинамических свойств веществ, расчет термодинамических функций простых и сложных систем, в том числе систем на основе методов статистической термодинамики, исследование термодинамики фазовых превращений и фазовых переходов» [глава II. § 2.1; 2.3; 2.4].

3. Пункт 4 - «Теория растворов, межмолекулярных и межчастичных взаимодействий» [глава I. § 1.3; 1.4].

4. Пункт 11 - «Физико-химические основы процессов химической технологии» [глава II. § 2.2].

Личный вклад соискателя ученой степени. Он состоит из анализа литературы, планирования и проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также подготовки и публикации статей.

Апробация диссертационной работы. Основные результаты диссертационной работы были доложены и обсуждены на конференциях различного уровня: Международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности» ТГУ им. акад. М.С. Осими (Душанбе, 2021); Республиканской научно-практической конференции: «Современные проблемы естественных и математических наук и методика их преподавания в высших профессиональных учебных заведениях», посвященных «Двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук» и образования (2020-2040 годы)», 50-летию физического факультета и 90-летию ТГПУ им. С. Айни (Душанбе, 2021); Республиканской научно-практической конференции «Послание-путеводитель» ГМИТ (Бустон, 2022); I Международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященная памяти профессора Баситовой С.М., 80-летию со дня рождения и 60-летию научно-педагогической деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой О.А. ТНУ (Душанбе, 2022); IV международной научно-практической конференция «Наука и технологии» (Алматы, Казахстан, 2022); Международной научно-методической конференции «Роль естественных и математических наук и методов их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны», посвященная «Двадцатилетию развития естественно-математических наук в области науки и образования

(2020-2040 годы)», а также IV национальной стратегической цели – ускорение индустриализации страны» ТГПУ им. С. Айни (Душанбе, 2022); Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум», (Бурятия, Улан-Удэ, 2022); Международной научно-практической конференции «Междисциплинарность научных исследований как фактор инновационного развития» (Челябинск, 2022); Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук», ФМГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе (Душанбе, 2022); Республиканской научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной объявлению четвертой стратегической цели индустриализации страны на 2022-2026 годы, «Годам развития промышленности», 65-летию со дня основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященная памяти заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, доктора химических наук, профессора Лутфулло Солиева, ТГПУ им. С. Айни, (Душанбе, 2023); Республиканской научно-практической конференции на тему: «Роль использования достижений естественных, точных и математических наук в производстве», посвященной дню науки ТТК при ТГУ им. ак. М.С. Осими (Душанбе, 2023); Республиканской научно-практической конференции на тему: «Накши саноатикунонӣ дар пешрафти истехсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф», ТГПУ им. С. Айни (Душанбе, 2024).

Публикации по теме диссертации. На основе результатов диссертационной работы опубликовано 26 работ, в том числе: 1 статья в журнале из списка рецензируемых базы данных Scopus, 8 статей в журналах, включенных в список рецензируемых ВАК РТ и ВАК РФ, 3 статьи в других международных журналах, 1 патент РТ, 13 тезисов докладов конференций различного уровня.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общего описания работы, 3 глав, 12 разделов, 13 таблиц, 34 графика, выводов, содержит 120 наименований использованной литературы и приложения, составляет в целом 154 страниц компьютерного текста.

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Введение включает необходимость, практическую и теоретическую значимости работы, цель и задачи, научная новизна и структуры диссертации.

Первая глава в основном состоит из 4 разделов, в 1.1 анализируется и обобщается обзор литературы по изучению характеристик, распространению в природе, производстве индия, использованию его сплавов. Разделы 1.2, 1.3 и 1.4 связаны с оценкой уровня изученности двойных индиевых систем, статистической оценкой типов взаимодействия в них, невариантным балансам и прогнозированию образования химических соединений в системах индия с другими элементами таблицы Д.И. Менделеева.

Для жидких сплавов электроположительных и электроотрицательных элементов разделяют системы со стабильными интерметаллидами, т.к. несмешиваемость в них исключена. Для других систем сплавы анализируются методом статистических расчетов. При выявлении вероятности смешивания In с элементами ПТ в жидком состоянии, найдены значения температурных факторов, поверхностного натяжения и потенциала ионизации.

В жидком состоянии смешивание сплавов индия наблюдается в двойных системах с нижеследующими элементами: Li, K, Na, Cs, Rb, Ra, Be, Fr, Sr, Ba, Nd, Mg, La, Pm, Pr, Sm, Ce, Ac, Np, Pu, Am, Mn, Ag, Cu, Zn, Au, Tl, Sn, Al, As, Si, Cd, Ga, Ge, Pb, P, Sb, Te, S, Po, Bi и Se. Основные координатные точки этих элементов расположены близко к центру внутри дуги эллипса, описываются уравнением $n_T^2 = 0,37 n_{\sigma,u}^2$. Системы разделения, это системы индиевые (In) с элементами Ca, Gd, Sc, Dy, Y, Eu, Er, Tb, Ho, Tu, Yb, Lu, Th, Nb, Ta, Cr, Mo, Rh, W, Tc, Re, Os, Fe, Ru, Co, Ir, Ni, Pd, Pt и В.

Надежность расчета в жидком состоянии в двойных системах индия реализована с 92 % элементов ПТ. При этом использованы соответствующие уравнения.

Вероятность появления различных видов невариантных превращений (рис. 1) показана в области кривых линий. Кривая 2-это граница перитектических значений простых систем, описывается равенством $n_T = 0,55 n_v^2$. Индий образует с 39 элементами ПТ простые эвтектические и перитектические системы (см. рис. 1). Кривая 3-зоны с тугоплавкими соединениями, описывается равенством $n_T = 0,20 n_v^2$. Левая сторона тугоплавкие интерметаллические соединения и перитектические изменения. Кривая 3-зона элементов Li, Na, K, Sr, Ni, Cr, Mn, Ra, Fe, Cu, Co, Ga, Ba, Zn, Si, S, P и Se они образуют с индием системы конгруэнтных и эвтектических превращений.

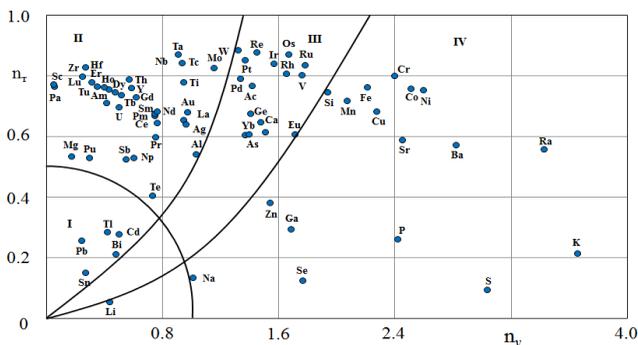


Рисунок 1. –График зависимости температурного фактора (n_T) от объема (n_v) для In с элементами таблицы Д.И. Менделеева

Во второй главе приведены сведения, по термодинамической оценке, типов взаимодействия In с элементами ПТ с учетом статистических прогнозов о типах взаимодействия In с изучаемыми системами методом термодинамического расчета.

Зависимость энергии взаимодействия между отдельными группами таблицы Д.И. Менделеева от заряда ядра атомов можно изобразить графически и установить новые законы. Разновидность типов фазовых диаграмм при различных температурах показывает взаимную растворимость элементов в жидком и твердом состояниях. Существующие закономерности можно объяснить, поскольку энергия обмена между компонентами является одним из лучших критериев растворимости в жидком и твердом состояниях. На рисунке 2 видно, что по значениям Q_{12} элементы делятся на два класса:

- 1) с обменной энергией $Q_{12} < 0$; [$H_{12} < 0.5 (H_{11} + H_{22})$];
- 2) с обменной энергией $Q_{12} > 0$; [$H_{12} > 0.5 (H_{11} + H_{22})$].

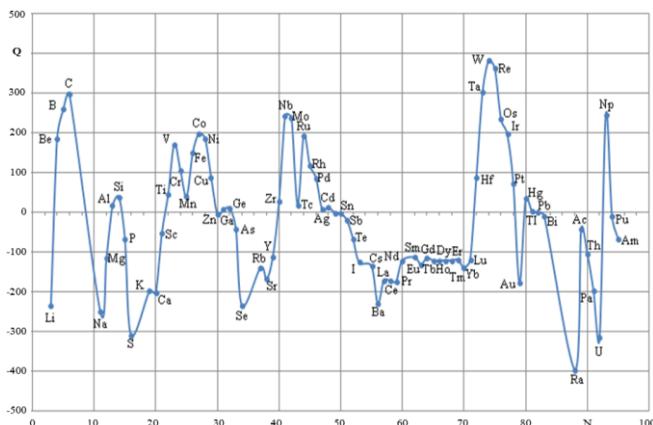


Рисунок 2. –Зависимость выражений обменной энергии (Q , кДж/г-ат.) индия с элементами периодической таблицы от их порядкового номера (N)

Отрицательное значение Q_{12} в механических смесях твердый растворов, области жидких растворов и интерметаллидных соединений в ДС In с элементами ПТ указывает на образование сплав в этих системах (рис. 3, а-е). В двухкомпонентных системах индия с элементами, если Q_{12} - больше нуля (рис. 3, ж и з) энергия взаимодействия между расщлаивающими компонентами жидком состоянии мала и образуются незначительное количество твёрдых растворов.

Несмотря на это, для оценки взаимодействия и прогнозирования ДС с расслоением использование значений обменной энергии оказалось недостаточным. Поэтому, для установления взаимодействия в таких системах был предложен другой, новый критерий-степень ближнего порядка (σ_{12}). Он использован для разграничения расслоения двойных систем индия с элементами ПТ. Его значения определяются с помощью уравнения: $(1 - \sigma) / (1 + \sigma) = \exp. (-\Delta H / K T)$, где: K -постоянная Больцману и $\Delta H = [0.5(H_{11} + H_{22})]$. Когда значения ΔH положительны, то σ_{12} принимает также положительные значения, следовательно, их значения близки. Когда ΔH и σ_{12} отрицательны, тогда взаимодействие 1-1 (In-In), 2-2 (эл-эл) частиц и взаимодействие 1-2 (In-эл.) пар невозможно.

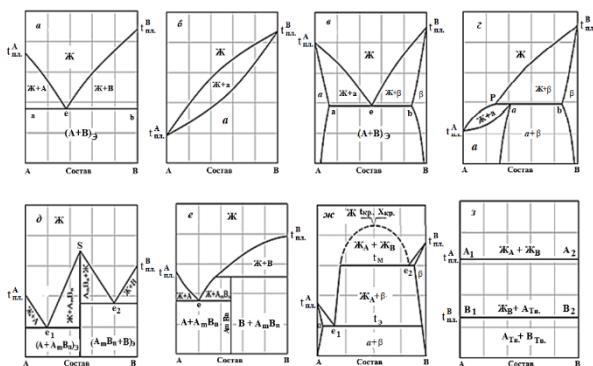


Рисунок 3. –Виды фазовых равновесий в бинарных системах: а-1-ый тип; б-2-ой тип; в, г-3-ий тип; д, е-4-ый тип; ж, з-5-ый тип.

В целях разработки технологического процесса очистки индия от тугоплавких примесей Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta был использован подход. Он основан на графическом построении ДС двойных систем In с ними. С учетом термодинамической оценки взаимодействий в системах In-ПМ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta) построены их ДС (рис. 4).

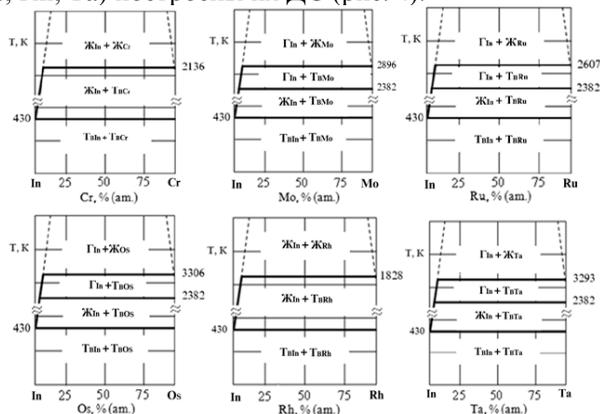
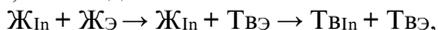


Рисунок 4 –Диаграммы состояния двойных систем In-ПМ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta)

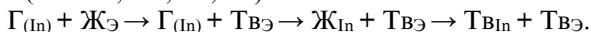
Представленные ДС показывает об отсутствии смешиваемости между компонентами в жидком и в твердом состояниях. В указанных системах при кристаллизации возможно существование ограниченных твердых растворов. В этом случае невариантные превращения вырождены, а образование интерметаллидов, в том числе промежуточных фаз маловероятно. На ДС на ординате температура плавления индия соответствует 430 К. Ординаты вторых компонентов соответствуют температурам 2136, 2946, 2507, 3306, 1828, 3293 К. Они указывают на температуры плавления тугоплавких элементов: Cr, Mo, Ru, Os, Rh и Ta. Температура 2382 К соответствует температуре кипения индия. Аллотропных превращений ни со стороны индия, ни со стороны вторых компонентов в системах не наблюдается.

Полученные результаты термодинамической оценки взаимодействия в малоизученных системах In-ПМ (Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta). Впервые диаграммы их состояния полностью построены. Они являются хорошим

теоретическим подспорьем при разработке технологии получения материалов с высокими антифрикционными свойствами. Такие материалы используются для ядерных энергетических установок атомной техники, а также сплавов в литейном и ювелирном деле. Кроме того, эти данные по определению вида взаимодействия открывают пути применения процесса ликвационного рафинирования от указанных тугоплавких примесей и получения индия высокой степени чистоты вплоть до 6N. Ниже приведены схемы ликвационного рафинирования индия от примесей типа Cr, Mo, Ru, Os, Rh и Ta. Из схем видно, что в системах In-Cr, In-Mo, In-Ru, In-Os, In-Rh и In-Ta может протекать ликвационно-кристаллизационное очищение. Этот процесс основан на изменении растворимости компонентов. По плотности образующихся фаз их можно разделить в жидком и твердом состояниях. Например, для систем In-Э (Э - Cr, Rh) такой процесс осуществляется по схеме, где: Тв - твердое; Ж - жидкое состояние и Г - газообразное состояния:



а для систем In-Э (Э - Mo, Ru, Os, Ta) по схеме:



Более подробно остановимся на процессах вакуумной выдержки и ликвационного рафинирования индия. В качестве исходного сырья (рис. 5) был использован электролитически рафинированный индий чистотой 99.998 % In. Плавка индия, и выдержка его в вакууме в течение одного часа позволили снизить на 2-3 порядка содержание примесей, у которых давление пара выше, чем у индия. Концентрация некоторых из них (Li, Na, Cs, Mg, Zn, Cd, Se, Te, As, Hg) становится ниже предела обнаружения использованных методов анализа. После завершения вакуумной выдержки, не прерывая хода технологического процесса рафинирования, приступили к следующему циклу очистки индия – ликвационному рафинированию расплавленного металла путем постепенного снижения температуры. Температуру нагрева с 873 К снижалась ступенчато до 323 К со следующими скоростями: 275.3-275.5 К/мин до температуры 673 К и 273.5 К/мин. до 473 К. При охлаждении жидкого индия тугоплавкие примеси стали постепенно выделяться в виде первичных кристаллов шликера, а жидкий индий всплыл на его поверхность, т.к. плотность кристаллов тугоплавких компонентов больше плотности индия. Затем, очищенный до 99.9999 % индий через фильтрацию разливался в стаканы из нержавеющей стали. Данные по химическому составу полученных образцов из индия различной степени чистоты приводится в работе.

Контроль содержания макро- и микрокомпонентов в образцах проводился на рентгеновском флуоресцентном микроспектрометре «Спектротрикс» производства Германии и спектральном квантометре «SpectroLab M». Разработанные процессы и технологическая схема ликвационного рафинирования от тугоплавких примесей, а также полученный особо чистый индий рекомендуются для внедрения в производство. Для этого рассчитан предварительный годовой экономический эффект от производства одной тонны индия составляет в

ценах 2024 года - 1833900 сомони (один миллион восемьсот тридцать три тысячи девятьсот сомони).

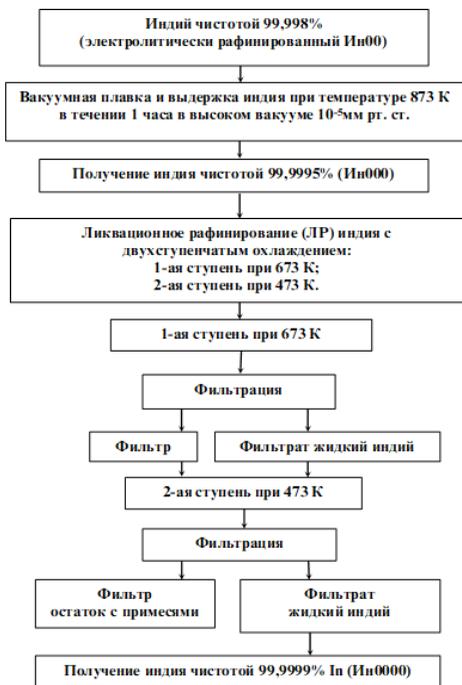


Рисунок 5. – Технологическая схема вакуумной выдержки и ликвационного рафинирования при получении индия высокой степени чистоты

Диаграммы состояния двойных систем In-Э (где Э-S, Se, Te) построены. В них устанавливаются зоны жидких, твердых растворов, эвтектического (эвтектоидного, перитектоидного и перитектоидного для двойных систем In с Se, Te) и монотектического равновесия. Индий и эти элементы также образуют халькогениды - химические соединения, обладающие полупроводниковыми свойствами и широко

используемые в электронной технике.

Экспериментально определены стандартные термодинамические свойства сплавов In в системах с халькогенами (S, Se, Te) по химическим соединениям. Однако, сведения о термодинамических свойствах указанных систем отсутствуют, а важен характер взаимодействия In с халькогенами в жидком состоянии при монотектической температуре. Термодинамические свойства являются основой для изучения других физико-химических свойств. **Таблица 1.** – Расчеты констант межчастичного взаимодействия и уравнений коэффициента активности компонентов в системах индий-халькогены

Система	Т _м , К	Состав фаз, ат. доли		Q ₁	Q ₂	Уравнения
		x ₂ '	x ₂ ''			
In-S	911	0.070	0.370	13317	-40107	$\ln f_{In} = 7.05 (1-x_{In})^2 - 10.59 (1-x_{In})^2$ $\ln f_S = -8.83 (1-x_S)^2 + 10.59 (1-x_S)^2$
In-Se	793	0.070	0.290	-863	-58841	$\ln f_{In} = 8.79 (1-x_{In})^2 - 17.85 (1-x_{In})^2$ $\ln f_{Se} = -17.98 (1-x_{Se})^2 + 17.85(1-x_{Se})^2$
In-Te	696	0.039	0.312	-15659	-88104	$\ln f_{In} = 12.52 (1-x_{In})^2 - 30.45 (1-x_{In})^2$ $\ln f_{Te} = -33.16 (1-x_{Te})^2 + 30.45 (1-x_{Te})^2$

На рисунке 6 показаны результаты расчетов по уравнениям. Видно, что составы богатых In; с тепловой мощностью и максимумом при $x_2=0,25; 0,35$ и $0,38$ равны $-3099; -8831$ и -16445 Дж/г-ат. Растворение In происходит в зоне, богатой серой, с теплопоглощением $+847$ Дж/г-ат.

В диссертации использованы уравнения субрегулярных теорий растворов, учитывающие неаддитивности энергии бинарного раствора к сплавам систем индий-халькогены (S, Se Te). При этом, константы взаимодействия частиц индия с халькогенами определялись по их диаграммам состояния. Для расчета свободной энергии Гиббса и концентрационной зависимости коэффициентов активности для сплавов систем In-S, In-Se и In-Te получены уравнения. Рассчитанные термодинамические свойства компонентов показывают альтернативное асимметричное отклонение свойств компонентов от зак. Рауля.

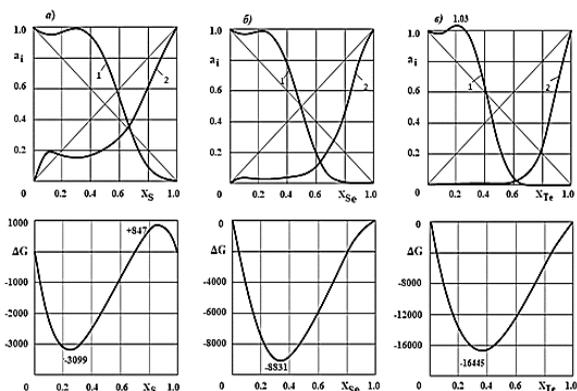


Рисунок 6. –Зависимость термодинамической активности (a_i) и свободной энергии Гиббса (ΔG , Дж./г-ат.) в системах In 1-халькоген: 2 от концентрации: 2-го компонента: а) In-S; б) In-Se; в) In-Te

Большое значение имеет определение констант взаимодействия частиц индия с халькогенами: S, Se и Te, которые экспериментально не исследованы. На основе экспериментальных данных можно показать возможность получения постоянных значений по несмешивающейся (расплаивания) области на ДС. Из условий равенства химических потенциалов компонентов в пределе равновесия, при монотектической температуре, путем одновременного решения уравнений рассчитывались значения констант межчастичного взаимодействия. Полученные результаты расчетов и исходные данные сведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения констант межчастичного взаимодействия (Q_1 и Q_2) в системах индия с халькогенами (S, Se, Te), имеющими ограниченные зоны растворимости в жидком состоянии

Система	T_m, K	Границы растворимости, ат. доли		Q_1	Q_2
		x_2'	x_2''		
In-S	911	0.0700	0.3700	14009	-35076
In-Se	793	0.0700	0.2900	3844	-47914
In-Te	696	0.0390	0.3120	1500	-50854

Подробно рассмотрим расчет на ДС системы In-S, из которой видно, что $x_2'=0,0700$; $x_2''=0,3700$ мольной доли и $T_M=911$ К, следовательно, получаем $Q_1 = 14009$ и $Q_2 = -35076$ Ч/г-ат. Располагая межчастичными значениями констант взаимодействия, можно найти координаты начала критического разделения в системе индий-сера. Расчеты показывают, что начало критического разделения на ДС индий-сера соответствует $T_{кр.}=1079$ К и $x_{кр.}=0,1999$ мольной доли. Аналогичные расчеты были проведены для In-Se и In-Te системы (см. табл. 3).

Сравнение экспериментальных и расчетных значений координат начала разделения однородного раствора по уравнениям показывает их хорошее согласие. По некоторым значениям Q_1 и Q_2 можно наблюдать значительную асимметрию термодинамических свойств систем индий-сера, индий-селен и индий-теллур.

Таблица 3. Экспериментальные и расчетные значения начала критического отрыва и его координаты ($x_2^{кр.}$, части ат. и $T_{кр.}$, К)

Система	Начало критического расслоения			
	$x_2^{кр.}$, эксп.	$x_2^{кр.}$, расч.	$T_{кр.}$, эксп.	$T_{кр.}$, расч.
In-S	0.2000	0.1999	1024	1079
In-Se	0.1735	0.1609	1183	930
In-Te	0.1835	0.1544	1076	904

Третья глава посвящена ультразвуковым свойствам расплавов металлов и полупроводников, даны методические основы определения акустических свойств жидких расплавов.

Для измерения ультразвуковых свойств и скорости ультразвука в расплавах применялись стандартные электронные приборы. Например, осциллограф-СІ-70 с приставкой блока усиления (дифференциального). Кроме того, имеющий генератор синусоидных сигналов высокой частоты-Г4-102А, а также цифровой частотомер-ЧЗ-34А. При изменении фазы можно наблюдать их интерференцию в импульсном сигнале. Частота измеряется электронным частотомером.

Изучена скорость распространения ультразвука в тугоплавких металлах, результаты использованы для создания нагревателя, так как наиболее достоверные данные можно получить, измеряя несколько ультразвуковых параметров одновременно. Нами разработан высокотемпературный нагреватель, предназначенный для исследования ультразвуковых свойств расплавов, защищенный авторским свидетельством [10-А].

Измерения заключаются в определении длины волны, которая при заданной частоте позволяет определить скорость ультразвука по уравнению $\vartheta_s = f \cdot \lambda$. Продвигая верхнюю часть кварцевого стержня вниз на расстояние $n\lambda$, на экране осциллографа наблюдаем погасание сигнала. После регистрации общего местоположения $\Delta h = n\lambda$ и задания частоты f скорость распространения ультразвука определяется соотношением $\vartheta_s = f \cdot \Delta h / n$, которое аналогично следующему уравнению: $\vartheta_s = f \cdot \lambda$. где: $\lambda = \frac{\Delta h}{n}$.

Для приготовления образцов в качестве исходного материала стали использовать индий (In-000) и селен-«о.с.ч.». Образцы были смешаны и упакованы в кварцевые ампулы, которые были вакуумированы до 10^{-4} Па.

При температуре плавления индия и селена мы сохранили образцы в течение двух часов, осуществили основной синтез при температуре 950 К в течение трех часов путем интенсивного механического перемешивания и, наконец, охладили его в воздухе, одновременно встряхивая ампулы, пока образцы не затвердеют. Измерения проводились в аргоновой среде высокой чистоты в диапазоне частот 1-3 МГц. На рисунке 7 показаны экспериментальные результаты зависимости скорости ультразвука (ϑ_s) от высоты (h) столба жидкости исходного состава образца $In_{0,83}Se_{0,17}$ при различных температурах. Известно, что при 930 и 917 К (линии 1, 2) на характеристиках ϑ_s - h прямые параллельны - это говорит о том, что скорость распространения ультразвука (ϑ_s) не зависит от высоты. При 910 К в ϑ_s - h характеристика (линия 3) наблюдается скачок скорости. Далее, в 903 и 893 К, значение $\Delta\vartheta_s$ постоянно увеличивается (рис. 8, линии 4 и 5), что указывает на увеличение интервала концентрации в образце при падении температуры. Температура ϑ_s - h характеристика линия 3 (910 К) может считаться близкой к её критическому значению, так как её величина, разделенная на слой, определена очень четко.

Мы исследовали эти экспериментальные результаты для различных концентраций и в результате получили общую кривую, ограничивающей области раслаивания (рис. 8).

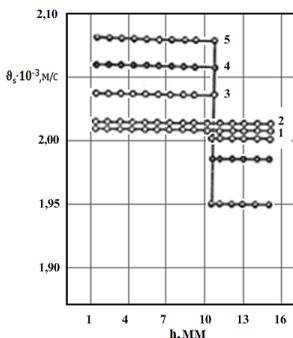


Рисунок 7. –Измерения скорости ультразвука в сплаве $In_{0,83}Se_{0,17}$ от высоты столба жидкости. (1-5 - 930, 917, 910, 903, 893 К)

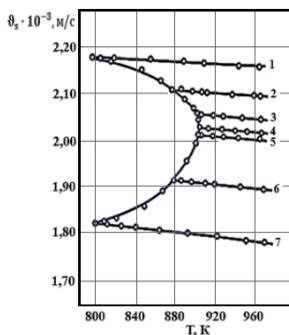


Рисунок 8. –Зависимость скорости ультразвука от концентрации в расплаве индий-селен. Политермы 1-7 (4, 10, 15, 17, 20, 25, 30 % ат. Se)

На рисунке 8 показано, что в $T > T_{кр.}$ все политермы имеют отрицательный наклон к положению температуры. Понятно, что при $T > T_{кр.}$ после критической температуры образуется гомогенный раствор. Такое поведение характерно для металлов. Как видно из рисунка, никаких аномальных событий в данной системе обнаружено не было. Они линейно убывают с ростом температуры, начиная с температуры разделения. Согласно данным, представленным на рисунке 8, в системе In-Se была

построена моновариантная кривая расслаивания жидкости и представлена как часть диаграммы фазовых равновесий на рисунке 9.

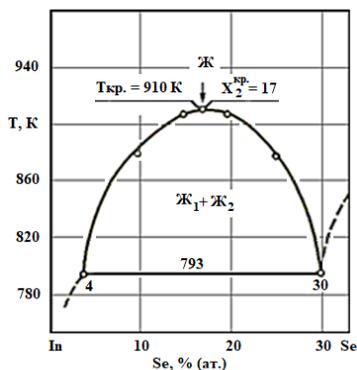


Рисунок 9. Фрагмент фазовых диаграммы системы индий-селен в области расслоения расплавов в жидком состоянии

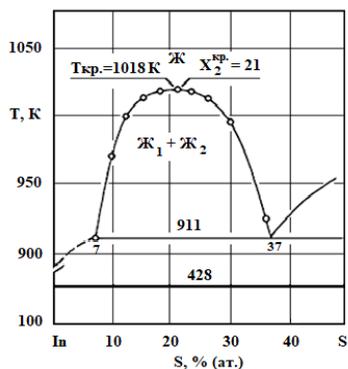


Рисунок 10. Фрагмент фазовых диаграммы системы индий-сера в области расслоения сплавов в жидком состоянии

На рисунке 10 показана фазовая диаграмма системы индий-сера в зоне разделения расплавов на два слоя. Согласно полученным практическим данным, купол расслаивания в этой системе является достаточно симметричным и опирается с монотектическими точками в 7 и 37 % ат. S.

В системе индий-теллур этот метод используется для изучения зависимости температуры от (θ_s-h) - характеристика в сплавах, содержащих - 6, 11, 13, 18, 18.35, 22, 26, 29 % ат. Те. Мы использовали теллур марки ТА-1. Результаты проведенного исследования показаны на рисунке 11.

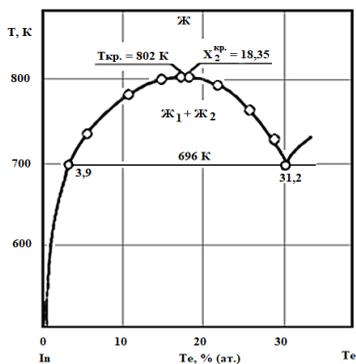


Рисунок 11. – Фрагмент диаграмма фазового равновесия системы индий-теллур с положением линии моновариантного равновесия жидкость-жидкость с

С помощью ультразвукового метода была изучена область расслаивания расплавов в системе индий-теллур. Установлены координаты критической точки: температура 802 ± 2 К, состав 18.35 % ат. Те и остальное индий. Купол расслаивания симметричен, как видно из рисунка 11.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. С применением термодинамических и статических критериев установлены типы взаимодействия в ранее неизученных (малоизученных) двойных системах индия. Впервые рассчитаны и построены замкнутые диаграммы состояния для 6-ти двойных систем In с такими переходными металлами как: Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta [18-A], [24-A].

2. Получены индий и его сплавы с нужными показателями физических, химических, технологических и механических свойств, построены их ДС, которые необходимы при разработке технологий модифицирования, легирования, рафинирования. Получены данные по расслаивающимся двойным системам индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta, S, Se и Te, являющиеся ценным источником при разработке технологии получения материалов с высокими антифрикционными свойствами для ядерно-энергетических установок атомной техники [10-A], [12-A], [17-A], [23-A].

3. Разработано высокотемпературное нагревательное устройство для изучения расплавов тугоплавких металлов, в том числе индия с халькогенами (S, Se, Te), а также их ультразвуковых свойств, которое защищено авторским свидетельством [10-A], [15-A].

4. Расчетным и экспериментальными методами для 3-х двойных систем индия с халькогенами ПТ (S, Se, Te) установлено существование областей расслаивания, впервые определены координаты неинвариантных превращений и узловых точек на их ДС. Из построенных двойных ДС с применением теории регулярных растворов при температуре монотектического равновесия определены энергия Гиббса, активность, константы межчастичного взаимодействия сплавов указанных систем [2-A], [3-A], [4-A], [5-A], [6-A], [7-A], [12-A], [13-A], [14-A], [16-A], [19-A], [20-A], [21-A], [25-A].

5. По построенным двойным ДС индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh и Ta предложены технологические параметры процесса ликвационного рафинирования индия от тугоплавких примесей. Показано увеличение чистоты индия при его поэтапном охлаждении от 673 до 473 К, что позволило разработать технологическую схему его получения различной степени чистоты эта технология получения особо чистого индия рекомендуется для внедрения в производство, так как рассчитанный годовой экономический эффект по ценам 2024 года из 1 т чистого индия составляет 1833900 сомони (один миллион восемьсот тридцать три тысячи девятьсот таджикских сомони) [9-A], [26-A].

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Комплекс проведенных расчетно-экспериментальных исследований дал возможность установить критические координаты температуры гомогенной плавки на две гомергенные фазы. Данная информация может быть использована при разработке технологии получения материалов с высокими антифрикционными свойствами, необходимых в ядерной технике.

Полученные данные могут быть использованы в качестве основы для банка акустических, термодинамических, теплофизических и упругих данных, которые будут иметь важное значение в различных областях науки и техники, а также для изучения критических явлений двойных металлических систем, представленных в диссертации.

Основные содержания научные работы изложено в следующих публикациях:

Статьи в рецензируемых научных журналах

[1-А]. **Джафаров, А.С.** Особенности характера температурной зависимости скорости распространения ультразвука расплавов металлов и полупроводников за куполом расщепления / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, А.Н. Мирзозода, Т.Дж. Джураев // Теоретический и научно-практический журнал «Кишоварз» Таджикского аграрного университета им. Ш. Шохтемур, 2021. – №2 (91). – С. 108-110.

[2-А]. **Джафаров, А.С.** Исследование двойных систем с особыми температурными точками / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров // Док. национальной Академии наук Таджикистана, 2021. – Т. 64. – №7-8. – С. 442-448.

[3-А]. **Джафаров, А.С.** Определение линии монвариантного равновесия в расплавах систем индий-халькогены (сера, селен и теллур) / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров**, Т.Дж. Джураев // «Политехнический Вестник», серия Инженерные исследования ТТУ им. акад. М. С. Осими, 2021. – №4 (56). – С. 35-40.

[4-А]. **Джафаров, А.С.** Фазовые равновесия в системе In-Te / **А.С. Джафаров** // Доклады национальной Академии наук Таджикистана, 2022. – Т. 65. – №3-4. – С. 233-239.

[5-А]. **Джафаров, А.С.** Термодинамические активности и свободная энергия Гиббса компонентов в сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев // «Политехнический Вестник». Серия: Инженерные исследования Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими, 2022. – №2 (58). – С. 90-94.

[6-А]. **Джафаров, А.С.** Поведение акустических параметров вблизи критических точек системы жидкость-жидкость / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров**, Рустами Т., Т.Дж. Джураев, // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава, 2022. – №2/2 (99). – С. 71-77.

[7-А]. **Джафаров, А.С.** Скорость распространения ультразвука как структурно-чувствительный характеристик для изучения молекулярно-кинетические свойства расплавов металлов и полупроводников / К.Б. Нуров, Т.Дж. Джураев, А.Н. Мирзозода, **А.С. Джафаров**, Рустами Т. // Вестник Таджикского национального университета: Серия естественных наук, 2023. – №1. – С. 160-169.

[8-А]. **Джафаров, А.С.** Закономерности изменения энергии взаимодействия индия с элементами периодической таблицы (ПТ) от их порядкового номера

/ Т.Дж. Джураев, А.С. Джафаров, К.Б. Нуров, М. Тошев // Чебышевский сборник (Scopus), 2023. – Т. 24. – №5 (91). – С. 266-273.

[9-A]. Джафари А.С. Разработка технологической схемы ливационного рафинирования индия от некоторых тугоплавких примесей / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, А.С. Джафари // Вестник Таджикского технологического университета: Технология и химия, 2024. – №1 (56) – С. 41-47.

Изобретение:

[10-A]. Джафаров, А.С. Устройство для нагрева исследуемого образца из металла или полупроводника / **Джафаров А.С.**, Нуров К.Б., Джураев Т.Дж., Тошов М.А, Мирзозода А.Н., Мухаббатов Х.К. РТ №ТJ 1321 от 23.05.2022 г.

Статье в других журналах:

[11-A]. Jafarov, A.S. Investigation of the region of examination of melts in systems In-B^{VI} (B^{VI} -S, Se, Te) by the acoustic method / К.В. Nurov, Т.Д. Dzhuraev, А.С. Jafarov // Austrian Journal of technical and natural sciences», Vienna, 2022. – №3-4. – P. 44-51.

[12-A]. Джафаров, А.С. Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах полупроводниковых соединений Sb₂Se₃ и Bi₂Se₃ / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров // Международный научно-практический журнал Endless light in science. Казахстан, 2022. – С. 133-137.

[13-A]. Джафаров, А.С. Исследование двухкомпонентные монотектические системы ультразвуковым методом / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров // Международный научный журнал «Национальная Ассоциация Ученых» г. Екатеринбург, 2022. – Т. 2. – №82. – С. 60-66.

Тезисы докладов конференции:

[14-A]. Джафаров, А.С. Исследование области ограниченной растворимости в жидком состоянии в бинарных системах индия с селеном и теллуrom / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Т.Дж. Джураев, М.Т. Тошев, Х.К. Мухаббатов // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности» (9-10 декабря 2021 г.). – Душанбе: ТТУ им. ак. М.С. Осими, 2021. – С. 85-90.

[15-A]. Джафаров, А.С. Основные проблемы в технике высокотемпературных акустических экспериментов с расслаиванием компонентов в жидком состоянии / К. Б. Нуров, А. Н. Мирзозода, Рустами Т., А. С. Джафаров // Маводди конференсияи илмїи табиатшиносїи риїзи ва методикаї таълими онхо дар муассисаҳои таҳсилоти олиї касбїи бахшида ба Бистсолаї омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносїи, дақиқ ва риїзи дар соҳаї илму маориф (солҳои 2020-2040), 50-солагии факултети физика ва 90-солагии ДДОТ ба номи С. Айни (9 юни соли 2021). – Душанбе, 2021. – С. 133-136.

[16-A]. Джафаров, А.С. Исследование области расслаивания расплавов в системах In - B^{VI} (B^{VI} - S, Se, Te) / К.Б. Нуров, А.С. Джафаров, Т.Дж. Джураев // Материалы республиканская научно-практическая конференция

«Послание-путеводитель» (29 февраля 2022 г.). – Бустон: ГМИТ, 2022. – С. 43-47.

[17-А]. Джафаров, А.С. Прогноз образования интерметаллических соединений в бинарных системах индия с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, Р.А. Наимов, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 85-88.

[18-А]. Джафаров, А.С. Расчет энергии межчастичного взаимодействия и координат критического расслоения в системах индий-халькогены (S, Se и Te) / Т.Дж. Джураев, **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров, М.Т. Тошев // Сборник статей первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития исследований в области химии координационных соединений и аспекты их применения», посвященной памяти профессора Баситовой Саодат Мухаммедовны, 80-летию со дня рождения и 60-летию педагогической и научно-исследовательской деятельности доктора химических наук, профессора Азизкуловой Онаджон Азизкуловны (30-31 марта 2022 г.). – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 239-241.

[19-А]. Джафаров, А.С. Исследование области ограниченной растворимости в системах In- B^{VI} (B^{VI} -S, Se, Te) / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Наука и технология» (15-16 мая 2022 г.). – Казахстан, 2022. – С. 179-187.

[20-А]. Чафаров, А.С. Тадқиқоти системаҳои дучузъа бо нуқтаҳои ҳарорати махсус / **А.С. Чафаров** // Материалы международной научно – методической конференции. «Роль естественно-математических наук и методики их преподавания в процессе ускорения индустриализации страны» посвященной «Двадцатилетию изучения и развития естественно математических и точных дисциплин в области науки о образования (2020-2040 гг.)», а также четвертая цель национальной стратегии – ускорение индустриализации страны. (14 июля соли 2022). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2022. – С. 153-156.

[21-А]. Джафаров, А.С. Исследование диаграммы с ограниченной растворимостью в жидком состоянии / **А.С. Джафаров**, К.Б. Нуров // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «IV Байкальский материаловедческий форум» (1-7 июля 2022 г.). – Бурятия, г. Улан-Удэ, 2022. – 69 с.

[22-А]. Джафаров, А.С. Исследование температурной зависимости скорости распространения ультразвука в расплавах селенида сурьмы и висмута / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Международная научно-практическая конференция «Междисциплинарность научных исследований

как фактор инновационного развития» (7 августа 2022 г.). – Челябинск, 2022. – С. 8-15.

[23-А]. **Джафаров, А.С.** Акустические исследования фазовых переходов и критических явлений в металлических и полупроводниковых жидкостях / К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Республиканской научно-практической конференции на тему: «Актуальные проблемы и перспективы развития естественных и точных наук» (28-29 октября 2022 г.). – Душанбе: филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе, 2022. – С. 136-143.

[24-А]. **Джафаров, А.С.** Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграмм фазовых равновесий в системах индия с бором, углеродом и ниобием / Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров, **А.С. Джафаров** // Республиканская научно-практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорг. химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док. хим. наук, проф. Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. –С. 48-51.

[25-А]. **Джафаров, А.С.** Расчет термодинамической активности и свободной энергии Гиббса компонентов в двойных сплавах индия с халькогенами (S, Se и Te) в жидком состоянии / **А.С. Джафаров** // Республиканская научно-практическая конференция на тему «Современное состояние и перспективы физико-химического анализа», посвященной провозглашению четвертой стратегической цели-индустриализации страны, 2022-2026 годы «Годами развития промышленности», 65-летию основания кафедры «Общая и неорганическая химия» и посвященной памяти Заслуженного деятеля науки и техники Таджикистана, док. хим. наук, профессора Лутфулло Солиева (15-16 марта 2023 г.). – Душанбе: ТГПУ им. С.Айни, 2023. –С. 82-89.

[26-А]. **Джафари, А.С.** Раванди тозакунии ликватсионии индий аз гашҳои мушкилгудоз / **А.С. Джафари**, Т.Д. Джураев // Маводи конференсияи илмӣ-амалии ҷумҳуриявӣ дар мавзӯи «Нақши саноатикунонӣ дар пешрафти истеҳсолот» бахшида ба «Солҳои рушди саноат» (солҳои 2022-2026) ва «Бистсолаи омӯзиш ва рушди фанҳои табиатшиносӣ, дақиқ ва риёзӣ дар соҳаи илму маориф» (солҳои 2020-2040) (23 майи соли 2024). – Душанбе: ДДОТ ба номи С.Айни, 2024. – С. 109-114.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба диссертатсияи Чаъфарӣ Амиршо Сайобид дар мавзуи «Таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои ҷадвали даврӣ ва таҳқиқи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои индий-халкогенҳо (S, Se, Te)» барои дарёфти дараҷаи илмӣ н.и.т. аз рӯи ихтисоси 02.00.04 - химияи физикӣ

Калимаҳои калидӣ: таъсири мутақобила, элементҳои ҶД, ба қабатҳо ҷудошавӣ, фаза, маҳлули саҳт, ҳолати моеъ ва саҳт, энергияи Гиббс, индий, халкогенҳо, ғашҳои мушқилгудоз, эвтектика, перитектика, монотектика, ҳалшавандагӣ, диаграммаи ҳолат, пайвастагӣ.

Объекти тадқиқот: системаҳои дучандаи индий бо дигар элементҳои ҷадвали Д. И. Менделеев ва системаҳои дукомпонентаи In-S, In-Se, In-Te.

Мақсади таҳқиқот: омӯзиши таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои ҷадвали Д.И. Менделеев ва таҳқиқи ба қабатҳо ҷудошавӣ дар системаҳои индий-халкогенҳо (S, Se, Te).

Усулҳои таҳқиқот: усулҳои муосири моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ барои пешгӯӣ ва ҳисоб кардани таъсири мутақобилаи индий бо элементҳои ҶД дар ҳолати моеъ ва саҳт, усули импульсӣ-фазаӣ барои муайян намудани соҳаи ба қабатҳо ҷудошавӣ, координатаҳои таназзули критикӣ дар мувозинати монотектикӣ дар системаҳои бо ҳам омехтанашаванда.

Навгони илмӣ таҳқиқот:

- бори аввал параметрҳои боҳамтаъсиркунии энергияи мубодила, энергияи пайвастшавии заррачаҳои ҳамном (In-In, элемент-элемент), гуногунном (In-элемент) бо элементҳои ҶД ҳисоб карда шуданд;

- диаграммаҳои ҳолатии сарбаст барои 6 системаи дучандаи индий бо металлҳои мушқилгудози Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta бори аввал сохта шудаанд;

- семаи технологӣ ва раванди тозакунии ликватсионии In аз баъзе ғашҳои мушқилгудоз дар асоси диаграммаҳои ҳолатии дучандаи индий бо Cr, Mo, Ru, Os, Rh ва Ta тартиб дода шудааст;

- таҳияи дастгоҳи гармкунаки баландҳарорат барои ғудохтани металлҳои мушқилгудоз, аз ҷумла индий бо халкогенҳо (S, Se, Te) ва ченкунии ҳосиятҳои ултраакустикунии ғудохта;

- бо истифода аз усулҳои таҳлили физикию химиявӣ бори аввал натиҷаҳои таҳқиқи ҳисобӣ ва таҷрибавии координатҳои таназзули критикии ғудохтаи гетерогенӣ ба ду фазаи гомогенӣ дар минтақаи мувозинати монотектикӣ дар системаҳои дучандаи индий-сулфур, индий-селен, индий-теллур ба даст оварда шуданд;

- маротибаи аввал энергияи Гиббс, фаъолнокӣ, константаҳои боҳамтаъсиркунии байнизарраҳои (ҳосиятҳои термодинамикӣ) дар ҳӯлаҳои системаҳои индий-сулфур, индий-селен, индий-теллур муайян гардида, ДХ-ашон сохта шуданд.

Дараҷаи истифода: маълумоте, ки оид ба ҳодисаҳои критикии системаҳои дучандаи металлӣ, нимметаллӣ ва нимноқилӣ мавҷуданд, ҳангоми инкишофи минбаъдаи назарияҳо доир ба ҳодисаҳои критикӣ истифода кардан мумкин аст.

Соҳаи истифодабарӣ: Ин маълумотро ҳангоми коркарди технологияи ба даст овардани материалҳои дорои ҳосиятҳои баланди зиддифриксионӣ барои истифодаи нерӯгоҳҳои электрикии ядрои ва техникаи атомӣ, инчунин, технологияи тозакунии ликватсионӣ ва ҳосил кардани ҳӯлаҳои нав мумкин аст.

АННОТАЦИЯ

диссертации Джафари Амиршо Сайобид на тему «Взаимодействие индия с элементами периодической таблицы и исследование расслоения в системах индий-халькогены (S, Se, Te)» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 02.00.04 - физическая химия

Ключевые слова: взаимодействия, элементы ПТ, расслаивание, фаза, твердый раствор, жидкое и твердое состояние, энергия Гиббса, индий, халькогены, тугоплавкие примесей, эвтектика, перитектика, монотектика, растворение, диаграмма состояния, соединения.

Объект исследования: двойные системы индия с другими элементами таблицы Д. И. Менделеева и двухкомпонентные системы In-S, In-Se, In-Te.

Цель исследования: изучить взаимодействия индия с элементами таблиц Д.И. Менделеева и исследования расслаивания расплавов в системах индий-халькогены (S, Se, Te).

Методы исследования: современные методы компьютерного моделирования и цифровизации для прогнозирования и расчета взаимодействия индия с элементами ПТ в жидком и твердом состоянии, импульсно-фазный метод определения области, разделенной на слои, координаты критических точек в фазовом равновесии в не смешивающихся системах.

Научная новизна исследования:

- определены впервые энергия взаимообмена, степень ближнего порядка и энергия связи (параметры взаимодействия) одноимённых (In-In, эл-эл (элемент) и разноимённых (In-эл) систем с элементами ПТ;

- осуществлены расчеты и построены впервые замкнутые диаграммы равновесия для 6 бинарных систем In с такими тугоплавкими металлами как: Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta;

- разработана технологическая схема ликвационного рафинирования In от некоторых тугоплавких примесей, на основании которых впервые построены диаграмм состояния индия с Cr, Mo, Ru, Os, Rh и Ta;

- разработано высокотемпературное нагревательное устройство для изучения расплавов тугоплавких металлов, в том числе индия с халькогенами (S, Se, Te), а также их ультразвуковых свойств;

- с применением методов физико-химического анализа впервые получены данные расчетно-экспериментального изучения координат критического распада гетерогенного расплава на две однородные фазы в области монотектического равновесия в бинарных системах индий-сера, индий-селен, индий-теллур;

- впервые найдены энергия Гиббса, активность, константы межчастичного взаимодействия (термодинамические параметры) сплавов систем индий-сера, индий-селен, индий-теллур и построены диаграммы их состояния.

Степень использования: имеющаяся данные о критические явления металлических, полуметаллических и полупроводниковых бинарных систем, может быть использовано при дальнейшем развитии теорий о критических явлениях.

Сфера применения: эти данные можно использовать при разработке технологии получения материалов с высокими антифрикционными свойствами для использования ядерных установок и атомной технике, технологии ликвационной очистки и синтеза новых сплавов.

ANNOTATION

dissertation of Ja'fari Amirsho Sayobid on the theme "Interaction of indium with elements of the periodic table and the study of stratification in the systems indium-chalcogenes (S, Se, Te)" for the degree of candidate of nechnical Sciences in specialty 02.00.04 - physical chemistry

Key words: interactions, PT elements, delamination, phase, solid solution, liquid and solid states, Gibbs energy, indium, chalcogenes, refractory impurities, eutectics, peritectics, monotectics, dissolution, diagram of state, compounds.

Object of study: double systems of indium with other elements of the table of D.I. Mendeleev and two-component systems In-S, In-Se, In-Te.

Purpose of the study: to investigate the interactions of indium with elements of the table of D.I. Mendeleev and the study of melt delamination in the systems of indium-chalcogenes (S, Se, Te).

Research Methods:

- modern methods of computer modeling and digitalization for predicting and calculating the interaction of indium with elements of the periodic table in liquid and solid states;

- pulse-phase method for determining the area divided into layers, coordinates of critical points in phase equilibrium in non-miscible systems.

Scientific novelty of the study:

- the interchange energy, the degree of near-order, and the binding energy (interaction parameters) of homonymous (In-In, el-el (element) and dissimilar (In-el) systems with PT elements were determined for the first time;

- calculations have been carried out and closed equilibrium diagrams have been constructed for the first time for 6 binary systems of In with such refractory metals as: Cr, Mo, Ru, Os, Rh, Ta;

- technological scheme of liquation refining of In from some refractory impurities has been developed, on the basis of which state diagrams of indium with Cr, Mo, Ru, Os, Rh and Ta have been constructed for the first time;

- a high-temperature heating device was developed for studying melts of refractory metals, including indium with chalcogenes (S, Se, Te), as well as their ultraacoustic properties;

- using the methods of physicochemical analysis for the first time the data of calculation-experimental study of coordinates of critical decomposition of heterogeneous melt into two homogeneous phases in the region of monotectic equilibrium in binary systems indium-sulfur, indium-selenium, indium-tellurium were obtained;

- Gibbs energy, activity, interparticle interaction constants (thermodynamic parameters) of alloys of indium-sulfur, indium-selenium, and indium-tellurium systems were found for the first time and their state diagrams were constructed.

Extent of use: available data on the critical phenomena of metallic, semi-metallic and semiconductor binary systems, can be used in the further development of theories on critical phenomena.

Scope of application: these data can be used in the development of technology for obtaining materials with high antifricition properties for the use of nuclear facilities and nuclear engineering, technology of liquation purification and synthesis of new alloys