

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та природокористування

**СИНТЕЗ, ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ФАЗОВІ
РІВНОВАГИ ХАЛЬКОГЕНІДНИХ ТА ХАЛЬКОГАЛОГЕНІДНИХ
СИСТЕМ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ**

МОРОЗ Микола Володимирович – доктор хімічних наук, професор
кафедри Національного університету водного господарства та
природокористування

РЕФЕРАТ

Рівне – 2022

Актуальність роботи. Сучасний науково-технічний прогрес стимулює синтез нових матеріалів із заданим та керованим набором фізико-хімічних властивостей, а також покращення експлуатаційних характеристик вже існуючих. Для ефективного вирішення такої задачі необхідні дані про термодинамічні функції сполук та фазові рівноваги систем на їхній основі. Методи термодинаміки дозволяють найбільш раціональним шляхом дати відповіді на питання пов'язані з фазовими та хімічними перетвореннями речовин. Окрім того, комплексне вивчення фазових рівноваг і термодинамічних властивостей систем дозволяє не лише встановити невідомі раніше фази, але й визначити їх термодинамічну стійкість, межі області гомогенності, і, як наслідок, здійснити оптимізацію системи за допомогою термодинамічних моделей, що ґрунтуються на функціональній залежності енергії Гіббса від досліджуваних параметрів (температури, тиску, концентрації).

Перспективними з точки зору пошуку нових функціональних матеріалів є системи $\text{Ag}-B^{\text{II}}-X^{\text{VI}}$, $\text{Ag}-X^{\text{VI}}-Y^{\text{VII}}$, $\text{Ag}-B^{\text{II}}-D^{\text{IV}}-X^{\text{VI}}$, $\text{Ag}-B^{\text{II}}-X^{\text{VI}}-Y^{\text{VII}}$ та $\text{Ag}-D^{\text{IV}}-X^{\text{VI}}-Y^{\text{VII}}$ ($B^{\text{II}} = \text{Zn, Cd, Hg, Fe}$; $D^{\text{IV}} = \text{Ge, Sn, Pb}$; $X^{\text{VI}} = \text{S, Se, Te}$; $Y^{\text{VII}} = \text{Cl, Br, I}$). Багатоелементні кристалічні та склоподібні сплави таких систем можуть бути використані при виготовленні фотоелектричних елементів, приладів нелінійної оптики, світлодіодів, термоелектричних перетворювачів енергії, а також для застосування в медичному обладнанні та спінтроніці. Окрім того, частина сполук та стекол таких систем виявляє суто іонну або змішану (іонну та електронну) провідність, а тому може слугувати основою для розробки на їх основі конденсаторів високої ємності, ефективних твердотільних джерел живлення, функціональних датчиків тощо. Водночас, прикладні можливості срібловмісних халькогенідів та халькогалогенідів досі слабо реалізуються на практиці. Це значною мірою зумовлено відсутністю надійних комплексних даних про фазові рівноваги і термодинамічні властивості таких систем. Таким чином, розробка нових методів синтезу, встановлення фазового складу та фізико-хімічних властивостей багатоелементних халькогенідів та халькогалогенідів є актуальною науковою та науково-технічною задачею з практичним застосуванням в напівпровідниковому матеріалознавстві.

Метою роботи є визначення умов синтезу, термодинамічних властивостей, фазового складу та параметрів питомої іонної провідності халькогенідів та халькогалогенідів систем $Ag-B^{II}-X^{VI}$, $Ag-X^{VI}-Y^{VII}$, $Ag-B^{II}-D^{IV}-X^{VI}$, $Ag-B^{II}-X^{VI}-Y^{VII}$ та $Ag-D^{IV}-X^{VI}-Y^{VII}$ для створення на їх основі енергоефективних функціональних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети **вирішувались наступні завдання:**

- дослідити фазовий простір систем методами фізико-хімічного аналізу (ФХА) та електрорушійної сили (ЕРС), побудувати $T-x$ діаграми стану окремих перерізів;
- здійснити поділ концентраційного простору багатоелементних систем за участі досліджуваних сполук на окремі фазові області;
- з'ясувати рівняння сумарних потенціалвизначаючих реакцій за участі срібла та сполук, що формують окремі фазові області;
- здійснити низькотемпературний ($T < 600$ К) електрохімічний синтез рівноважного набору фаз із метастабільної суміші компонентів в позитивних електродах електрохімічних комірок (ЕХК), дослідити стабільність та відтворюваність в часі фізико-хімічних властивостей синтезованих матеріалів;
- встановити технологічні параметри синтезу наноструктур складу $B^{II}X^{VI}$;
- розрахувати основні термодинамічні функції (енергію Гіббса, ентальпію формування та ентропію) бінарних, тернарних та тетрарних сполук за результатами вимірювань температурних залежностей ЕРС електрохімічних комірок;
- визначити питому провідність кристалічних та склоподібних сплавів, встановити числа переносу (іонну та електронну складові) зразків.

Наукова новизна одержаних результатів

В роботі вперше:

- 1) методами фізико-хімічного аналізу з'ясовано механізми формування, температурні та концентраційні інтервали існування тетрарних сполук $Ag_2FeSn_3S_8$, Ag_2FeSnS_4 , $Ag_2CdSn_3S_8$, Ag_2ZnGeS_4 та $Ag_4HgSe_2I_2$;

- 2) в позитивних електродах електрохімічних комірок здійснено низькотемпературний ($T < 600$ K) синтез рівноважного набору фаз окремих ділянок концентраційного простору досліджуваних систем, що містять сполуки AgFeX_2 , Ag_2FeX_2 , $\text{Ag}_2\text{FeDSe}_4$, $\text{Ag}_2\text{FeGeTe}_4$, $\text{Ag}_{6,72}\text{Pb}_{0,16}\text{Ge}_{0,84}\text{S}_{5,20}$, $\text{Ag}_{6,48}\text{Pb}_{0,19}\text{Ge}_{0,81}\text{S}_{5,05}$, $\text{Ag}_7\text{SnSe}_5\text{Br}$, $\text{Ag}_{19}\text{Te}_6\text{Y}_7$, $\text{Ag}_{10}\text{Te}_4\text{Y}_3$, $\text{Ag}_5\text{Te}_2\text{Y}$, $\text{Ag}_{23}\text{Te}_{12}\text{Y}$ ($D = \text{Ge, Sn, Pb}$; $X = \text{S, Se, Te}$; $Y = \text{Cl, Br}$) та Ag_3TeBr з метастабільних сумішей простих речовин, або ж простих речовин та бінарних чи тернарних сполук;
- 3) виявлено особливість поліморфізму сполук AgFeSe_2 , AgFeTe_2 , $\text{Ag}_2\text{FeGeSe}_4$, $\text{Ag}_2\text{FeSnSe}_4$, $\text{Ag}_2\text{FePbSe}_4$ та $\text{Ag}_2\text{FeGeTe}_4$, які існують в двох температурних інтервалах T - x простору відповідних систем, розділених двофазною областю;
- 4) запропоновано підхід до з'ясування фазового стану (рівноважний чи метастабільний) окремих тернарних чи тетрарних неорганічних сполук за умов, коли існують кінетичні перешкоди досягненню стану термодинамічної рівноваги, який полягає у співставленні значень ЕРС електрохімічних комірок з різними співвідношеннями гетерофазних сумішей позитивних електродів при низькотемпературному синтезі фаз;
- 5) з'ясовано рівноважний фазовий склад низки ділянок багатоеlementних систем за $T < 600$ K шляхом порівняння стандартних значень енергій Гіббса ($\Delta_f G^\circ$) утворення сполук у межуючих фазових областях. Співпадіння значень $\Delta_f G^\circ$ розрахованих за принципово різними потенціалвизначаючими реакціями є доказом достовірності поділу концентраційного простору систем за участі досліджуваних сполук;
- 6) запропоновано модель дрейфового руху катіонів срібла та аніонів галогену в суперіонних сплавах.

Практичне значення одержаних результатів

1. Отримано комплекс даних щодо фазових рівноваг та термодинамічних властивостей халькогенідів і халькогалогенідів деяких перехідних металів. Такі дані можуть бути використані для розробки нових методів та вибору умов синтезу напівпровідникових матеріалів із заданим набором фізико-хімічних властивостей. Окрім того, результати розрахунків термодинамічних функцій сполук є основою для подальшого моделювання фазового простору

багатоелементних систем методом CALPHAD (*англ. CALculation of PHase Diagrams*).

2. Аргументовано доцільність використання як твердого електроліту електрохімічних комірок більш технологічно простих склоподібних матеріалів Ag_2GeS_3 , $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{Br}$ та $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{I}$ порівняно з кристалічними сполуками $\alpha\text{-AgI}$ і Ag_4RbI_5 .
3. Запропоновано метод визначення термодинамічної стійкості сполук за $T < 600$ К у спосіб використання їх як складових гетерофазної суміші позитивного електроду ЕХК.
4. На прикладі сполук AgFeSe_2 , AgFeTe_2 , $\text{Ag}_2\text{FeGeSe}_4$, $\text{Ag}_2\text{FeSnSe}_4$, $\text{Ag}_2\text{FePbSe}_4$ та $\text{Ag}_2\text{FeGeTe}_4$ показано, що низькотемпературний електрохімічний синтез у потенціалвизначаючих електрохімічних процесах є перспективним методом отримання таких матеріалів за відносно низьких температур ($T < 600$ К), що суттєво розширює перелік магнітних напівпровідників, які можуть представляти інтерес для сучасної електроніки.
5. Встановлено суперіонні властивості низки кристалічних та склоподібних сплавів. Матеріали з такими властивостями можуть бути використані при виготовленні функціональних матеріалів, що характеризуються більш ефективним енергоспоживанням.

Результати представлених досліджень Мороза М.В. ***впроваджені в навчальний процес*** на кафедрі хімії та фізики Національного університету водного господарства та природокористування, а також використовуються в роботі студентського наукового гуртка “Напівпровідникове матеріалознавство”.

Представлені в роботі результати претендент отримав у науково-дослідних лабораторіях Національного університету водного господарства та природокористування, Львівського національного університету імені Івана Франка, Університету Академія Або (*Åbo Akademi University*), Фінляндія та Університету Аалто (*Aalto University*), Фінляндія ***за тематикою українських та міжнародних науково-дослідних проєктів і грантів:***

- “Нанокompозитні та наноструктуровані системи з каталітичними властивостями” (№ реєстрації 0117U001235, Україна, 2017–2019 pp.);

- “Синтез, фізико-хімічні та термодинамічні властивості нанорозмірних та наноструктурованих матеріалів для електрохімічних систем” (№ реєстрації 0120U102184, Україна, 2020–2021 рр.);
- “Наукові та експериментальні основи виготовлення композитних оксидних, халькогенідних матеріалів з пролонгованим ресурсом експлуатації” (№ реєстрації 0121U109620, Україна, 2021 р.);
- ÅA-spets PCC (№ 28500189, Фінляндія, 2017–2018 рр.);
- FA-Daniel Lindberg (№ 28200177, Фінляндія, 2017–2018 рр.);
- Johan Gadolin Scholarship Programme (Åbo Akademi University, Фінляндія, 2017 р.).

Описані в роботі електрохімічні методи синтезу халькогенідних та халькогалогенідних сполук з використанням електрохімічних комірок дозволяють **значно спростити** процес отримання багатоелементних срібловмісних матеріалів, завдяки відносно простій та недорогій технології їх отримання. За своїми експлуатаційними характеристиками такі напівпровідникові матеріали є термодинамічно стабільними в температурному інтервалі їх практичного використання, характеризуються пролонгованим ресурсом експлуатації і **є кращими за відомі вітчизняні та світові аналоги**. Окрім того, синтезовані автором кристалічні ($\text{Ag}_3\text{Ge}_2\text{S}_5\text{Br}$, $\text{Ag}_7\text{SnSe}_5\text{Br}$) та склоподібні (Ag_2GeS_3 , $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{Br}$, $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{I}$, $\text{Ag}_3\text{Ge}_2\text{S}_5\text{Br}$) сплави за параметрами питомої провідності належать **класу суперіонних матеріалів**.

Основні результати

У роботі здійснено низькотемпературний ($T < 600$ К) синтез рівноважного набору фаз із метастабільних сумішей компонентів окремих частин концентраційного простору досліджуваних систем, розраховано термодинамічні функції бінарних, тернарних та тетрарних сполук і встановлено фазові рівноваги на їх основі. Термодинамічні властивості сполук і фазові рівноваги окремих частин рівноважного T - x простору систем досліджено методами ФХА та

методом вимірювання ЕРС. Для синтезу рівноважного набору фаз та подальших вимірювань ЕРС виготовляли ЕХК типу (А):



переріз котрої зображено на рис. 1. Вертикальними лініями в твердотільній комірці (А) позначено фізичні контакти між компонентами, Ag – лівий (негативний) електрод, TE – твердотільний Ag^+ -провідний електроліт (стекла Ag_2GeS_3 , $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{Br}$ або $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{I}$), PE – правий (позитивний) електрод, $\text{R}(\text{Ag}^+)$ – область просторового позитивного заряду із іонів Ag^+ у випадку нерівноважної суміші фаз PE. Комірку підключали до зовнішнього кола за допомогою інертних (графітових) електродів (IE).

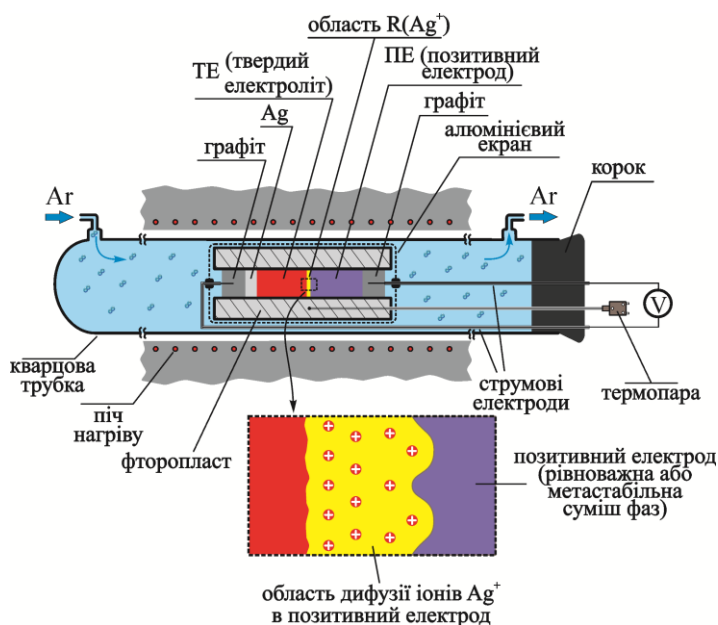


Рис. 1. Схема твердотільної електрохімічної комірки для вимірювань ЕРС та її розміщення в печі нагріву

З метою пошуку нових функціональних матеріалів методами ФХА та ЕРС досліджено фазові рівноваги в субліквідусному та субсолідусному інтервалах $T-x$ простору окремих ділянок систем $\text{Ag}-\text{B}^{\text{II}}-\text{D}^{\text{IV}}-\text{X}^{\text{VI}}$, $\text{Ag}-\text{B}^{\text{II}}-\text{X}^{\text{VI}}-\text{Y}^{\text{VII}}$ та $\text{Ag}-\text{D}^{\text{IV}}-\text{X}^{\text{VI}}-\text{Y}^{\text{VII}}$. Зокрема, вперше встановлено, що в умовах вакуумного ампульного синтезу тетрарні сполуки $\text{Ag}_2\text{FeSnS}_4$ та $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ виділяються за перитектичною реакцією взаємодії розплаву та $\epsilon\text{-FeS}$ при 922 та 1031 К, відповідно. $\text{Ag}_2\text{FeSnS}_4$ є фазою постійного складу та зазнає структурних змін при 820 та 867 К. $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ характеризується незначною областю гомогенності.

Температура її поліморфного перетворення становить 818 (зі сторони ϵ -FeS) і 831 К (зі сторони 'Ag₂Sn₃S₇'), рис. 2.

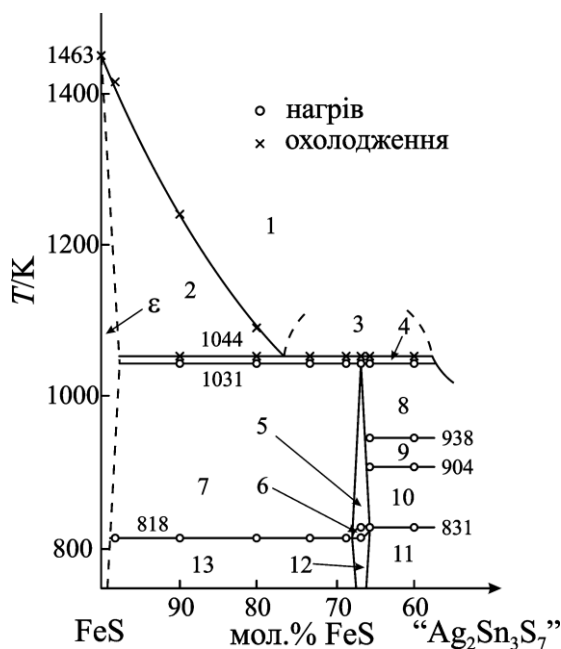


Рис. 2. Фазова діаграма політермічного перерізу FeS–'Ag₂Sn₃S₇' системи Ag₂S–FeS–SnS₂: 1 – L; 2 – L + ϵ (FeS); 3 – L₁ + L₂; 4 – L + ϵ (FeS); 5 – α -Ag₂FeSn₃S₈; 6 – α + β -Ag₂FeSn₃S₈; 7 – ϵ (FeS) + α -Ag₂FeSn₃S₈; 8 – L + α -Ag₂FeSn₃S₈; 9 – L + SnS₂ + α -Ag₂FeSn₃S₈; 10 – SnS₂ + α -Ag₂FeSn₃S₈ + Ag₄Sn₃S₈; 11 – SnS₂ + β -Ag₂FeSn₃S₈ + Ag₄Sn₃S₈; 12 – β -Ag₂FeSn₃S₈; 13 – ϵ (FeS) + β -Ag₂FeSn₃S₈.

Високотемпературні модифікації сполук AgFeSe₂, AgFeTe₂, Ag₂FeGeSe₄, Ag₂FeSnSe₄, Ag₂FePbSe₄ та Ag₂FeGeTe₄ розпадаються в процесі ізотермічного відпалу за $T < 600$ К. Вперше в електрохімічних комірках синтезовано сполуки AgFeS₂, Ag₂FeS₂, Ag₂FeSe₂ і Ag₂FeTe₂ та низькотемпературні модифікації AgFeSe₂, AgFeTe₂, Ag₂FeSnS₄, Ag₂FeSn₃S₈, Ag₂FeGeSe₄, Ag₂FeSnSe₄, Ag₂FePbSe₄ та Ag₂FeGeTe₄. Встановлено поділ рівноважного концентраційного простору систем Ag–Fe–{Ge, Sn, Pb}–{S, Se, Te} в околі тернарних та тетрарних сполук за $T < 600$ К. Особливістю T - x простору таких систем є існування високо- та низькотемпературних модифікацій тернарних та тетрарних сполук в двох температурних інтервалах, розділених двофазною ділянкою.

На відміну від халькогенідних систем, формування рівноважного набору фаз окремих частин концентраційного простору халькогалогенідної системи Ag–

Te–AgBr із фазово нерівноважних сумішей Ag, Te та AgBr потребує нижчих температур та коротших проміжків часу. Так, при 500 К час досягнення рівноважного стану в позитивних електродах електрохімічних комірок не перевищує 7 год. В частині Ag_2Te –Te–AgBr фазової діаграми системи Ag–Te–AgBr виявлено сім трифазних ділянок за участі сполук $\text{Ag}_{19}\text{Te}_6\text{Br}_7$, Ag_3TeBr , $\text{Ag}_5\text{Te}_2\text{Br}$, $\text{Ag}_{10}\text{Te}_4\text{Br}_3$ та $\text{Ag}_{23}\text{Te}_{12}\text{Br}$. Низькотемпературне формування рівноважного набору фаз в кожній із ділянок забезпечували катіони срібла як малі центри зародження фаз та просторовий позитивний заряд, як каталізатор їх подальшого росту. Співвідношення компонентів ПЕ в кожній із областей визначали за рівняннями сумарних потенціалвизначаючих реакцій. Розрахунок термодинамічних функцій сполук здійснено у такій послідовності: $\text{Ag}_{19}\text{Te}_6\text{Br}_7 \rightarrow \text{Ag}_3\text{TeBr} \rightarrow \text{Ag}_{10}\text{Te}_4\text{Br}_3 \rightarrow \text{Ag}_5\text{Te}_2\text{Br} \rightarrow \text{Ag}_{23}\text{Te}_{12}\text{Br}$. Встановлено, що перераховані тернарні сполуки, за виключенням $\text{Ag}_5\text{Te}_2\text{Br}$, є термодинамічно стабільними за $T < 600$ К.

Електролітичним методом синтезовано наноструктури складу $B^{\text{II}}X^{\text{VI}}$. Встановлено, що хімічний склад електроліту та його температура суттєво впливають на фазовий склад отриманих зразків. Методами Вільямсона-Холла та Шеррера визначено розміри отриманих нанокристалів. Досліджено вплив температури електроліту на фазовий склад отримання зразків.

На постійному струмі зондовим методом визначено складові питомої провідності низки срібловмісних кристалічних та склоподібних сплавів. Для досліджень виготовляли електрохімічні комірки з різними за складом струмовими електродами. За параметрами питомої провідності та енергії активації носіїв заряду синтезовані кристалічні ($\text{Ag}_3\text{Ge}_2\text{S}_5\text{Br}$, $\text{Ag}_7\text{SnSe}_5\text{Br}$) та склоподібні (Ag_2GeS_3 , $\text{Ag}_3\text{GeS}_3\text{Br(I)}$, $\text{Ag}_3\text{Ge}_2\text{S}_5\text{Br}$) сплави належать до класу суперіонних матеріалів.

За результатами побудованих T - x діаграм стану, а також вимірювань ЕРС електрохімічних комірок здійснено поділ концентраційних просторів низки тернарних та тетрарних халькогенідних та халькогалогенідних систем на окремі фазові області. Просторове положення встановлених фазових областей відносно точки Ag використано для з'ясування рівнянь сумарних потенціалвизначаючих

реакцій розкладу та синтезу срібловмісних сполук. Методом вимірювання ЕРС електрохімічних комірок вперше розраховано енергії Гіббса, ентальпії утворення та ентропії понад тридцяти тернарних та тетрарних сполук. Розрахунки термодинамічних характеристик проведені у різних (суміжних) фазових областях. Співпадіння в межах похибки експерименту значень енергій Гіббса конкретних сполук в межуючих фазових областях є свідченням об'єктивності розрахованих величин термодинамічних функцій сполук та достовірності триангуляції концентраційного простору, що відповідає умовам їх існування.

Таким чином, науково-технічна (прикладна) цінність представленої роботи пов'язана з широким спектром функціональних властивостей сполук і твердих розчинів, які утворюються в досліджуваних системах, що обумовлює значні перспективи застосування матеріалів на їх основі у різних галузях науки і техніки, зокрема при виготовленні економічно ефективних твердотільних хімічних джерел електричної енергії.

Публікації. До представленої роботи включено **73** публікації, з них розділ монографії у закордонному видавництві – **1**; статті – **43** (у закордонних журналах з імпаکت-фактором, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних *Scopus* та *Web of Science* – **36**, наукові статті у фахових виданнях України – **6**, наукова стаття у закордонному виданні – **1**), тези доповідей на всеукраїнських та міжнародних конференціях – **29**. Кількість посилань на публікації автора, що представлені в роботі, складає **130** (згідно з даними *Web of Science*), **161** (*Scopus*), **203** (*Google Scholar*); *h*-індекс – **8** (*Web of Science*), **8** (*Scopus*); **9** (*Google Scholar*).

:Микола МОРОЗ

Перелік наукових публікацій

д.х.н. Мороза Миколи Володимировича, які увійшли до роботи

”Синтез, термодинамічні властивості та фазові рівноваги халькогенідних та халькогалогенідних систем різного функціонального застосування”, поданої на здобуття премії Президента України для молодих вчених 2022 року

Розділ монографії у закордонному видавництві:

1. Tesfaye F. Chapter 3. The fast silver ion conducting solid-state electrolytes for deriving thermodynamic data / F. Tesfaye, **M. Moroz**, O. Reshetnyak, D. Lindberg, P. Taskinen, L. Hupa // Aamir Shahzad (Ed.). Thermophysical Properties of Complex Materials. – London : IntechOpen, 2020. – P. 27–45. Doi: 10.1007/978-3-030-36556-1_23.

Статті у журналах з імпаکت-фактором, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних SCOPUS та/або Web of Science:

1. **Moroz M.** Non-activation synthesis and thermodynamic properties of ternary compounds of the Ag–Te–Br system / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, S. Prokhorenko, O. Reshetnyak // Thermochim. Acta. – 2021. – Vol. 698. – P. 178862(1–7). Doi: 10.1016/j.tca.2021.178862.
2. **Moroz M.** The equilibrium phase formation and thermodynamic properties of functional tellurides in the Ag–Fe–Ge–Te system / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, N. Yarema, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // Energies. – 2021. – Vol. 14, Is. 5. – P. 1314(1–15). Doi: 10.3390/en14051314.
3. **Moroz M.** Thermodynamic examination of quaternary compounds in the Ag–Fe–(Ge, Sn)–Se systems by the solid-state EMF method / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, B. Rudyk, L. Soliak, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // J. Lee, S. Wagstaff, A. Anderson, F. Tesfaye, G. Lambotte, A. Allanore (Eds.). The Minerals, Metals & Materials Series (MMMS). – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2021. – P. 271–283. Doi: 10.1007/978-3-030-65253-1_24.
4. Lysytsya A. V. Physical Properties of Zinc Compounds Obtained by Electrolytic Method / A. V. Lysytsya, **M. V. Moroz**, B. D. Nechyporuk, B. P. Rudyk, B. F. Shamsutdinov // Phys. Chem. Solid State. – 2021. – Vol. 22, No. 1. – P. 160–167. Doi: 10.15330/pcss.22.1.160-167.
5. **Moroz M.** Solid-state electrochemical synthesis and thermodynamic properties of selected compounds in the Ag–Fe–Pb–Se system / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, Yu. Kogut, O. Perviznyk, S. Prokhorenko, O. Reshetnyak // Solid State Sci. – 2020. – Vol. 107. – P. 106344(1–9). Doi: 10.1016/j.solidstatesciences.2020.106344.
6. **Moroz M.** Thermodynamic Properties of Layered Tetradymite-like Compounds of the Ag–Ge–Sb–Te System / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // J. Lee, S. Wagstaff, G. Lambotte, A. Allanore, F. Tesfaye (Eds.) [The Minerals, Metals & Materials Series (MMMS)]. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2020. – P. 275–287. Doi: 10.1007/978-3-030-36556-1_23.
7. Danilevska N.B. The effect of chemical composition and electrolyte temperature on the size and structure of cadmium sulfide nanocrystals obtained by the electrolytic method / N.B. Danilevska, **M.V. Moroz**, B.D. Nechyporuk, S.H. Haievska, M.Yu. Novoseletskyi, M.V. Prokhorenko, N.P. Yarema, V.O. Yukhymchuk, Fiseha Tesfaye, O.V. Reshetnyak // J. Nano- Electron. Phys. – 2020. – Vol. 12, No 4. – P. 04035(1–6). Doi: 10.21272/jnep.12(4).04035.
8. **Moroz M.** Thermal stability and thermodynamics of the Ag₂ZnGeS₄ compound / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // G. Lambotte, J. Lee, A. Allanore, S. Wagstaff (Eds.). The Minerals, Metals & Materials Series (MMMS). – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2019. – P. 215–226. Doi: 10.1007/978-3-030-05728-2_20.
9. Tasfaye F. High-temperature oxidation of bismuth- and antimony-based sulfosalts / F. Tesfaye, D. Sukhomlinov, D. Lindberg, **M. Moroz**, P. Taskinen, L. Hupa // Miner.

10. Danilevska N.B. Synthesis of $Zn_{1-x}Cd_xS$ nanocrystals by electrolytic method / N.B. Danilevska, **M.V. Moroz**, A.V. Lysytsya, B.D. Nechyporuk, M.V. Prokhorenko, B.A. Tatoryn, F. Tesfaye // *J. Nano- Electron. Phys.* – 2019. – Vol. 11, No 1. – P. 01015(1–5). Doi: 10.21272/jnep.11(1).01015.
11. Tesfaye F. Thermochemical data of selected phases in the $FeO_x-FeSO_4-Fe_2(SO_4)_3$ system / F. Tesfaye, I-H. Jung, M-K. Paek, **M. Moroz**, D. Lindberg, L. Hupa // G. Lambotte, J. Lee, A. Allanore, S. Wagstaff (Eds.) [The Minerals, Metals & Materials Series (MMMS)]. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2019. – P. 227–240. Doi: 10.1007/978-3-030-05728-2_21.
12. **Moroz M.** Phase equilibria and thermodynamics of selected compounds in the Ag–Fe–Sn–S system / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // *J. Electron. Mater.* – 2018. – Vol. 47, Is. 9. – P. 5433–5442. Doi: 10.1007/s11664-018-6430-3.
13. **Moroz M.** Thermodynamic properties of magnetic semiconductors $Ag_2FeSn_3S_8$ and Ag_2FeSn_4 determined by the EMF method / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // G. Lambotte, J. Lee, A. Allanore, S. Wagstaff (Eds.). The Minerals, Metals & Materials Series (MMMS). – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland AG, 2018. – P. 87–98. Doi: 10.1007/978-3-319-72131-6_8.
14. **Moroz M.** Determination of the thermodynamic properties of the $Ag_2CdSn_3S_8$ and Ag_2CdSn_4 phases in the Ag–Cd–Sn–S system by the solid-state electrochemical cell method / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // *J. Chem. Thermodyn.* – 2018. – Vol. 118. – P. 255–262. Doi: 10.1016/j.jct.2017.12.001.
15. **Moroz M.** Thermodynamic properties of superionic phase $Ag_4HgSe_2I_2$ determined by the EMF method / M. Moroz, F. Tesfaye, M. Prokhorenko, S. Prokhorenko, O. Reshetnyak // *J. Phase Equilib. Diffus.* – 2018. – Vol. 39, Is. 1. – P. 11–16. Doi: 10.1007/s11669-017-0602-3.
16. Danilevska N.B. Growth of Zinc Compound Nanocrystals from Different Electrolytes / N.B. Danilevska, A.V. Lysytsya, **M.V. Moroz**, B.D. Nechyporuk, N.Yu. Novoselets'kyi, B.P. Rudyk // *Tech. Phys.* – 2018. – Vol. 63, No. 3. – P. 411–415. Doi: 10.1134/S1063784218030076.
17. **Moroz M.V.** Thermodynamic Properties of $AgIn_2Te_3I$ and $AgIn_2Te_3Br$, Determined by the EMF Method / M.V. Moroz, M.V. Prokhorenko, S.V. Prokhorenko, M.V. Yatskov, O.V. Reshetnyak // *Russ. J. Phys. Chem. A.* – 2018. – Vol. 92, No. 1. – P. 19–23. Doi: 10.1134/S0036024418010168.
18. **Moroz M.V.** Electrochemical determination of thermodynamic properties of saturated solid solutions of Hg_2GeSe_3 , Hg_2GeSe_4 , $Ag_2Hg_3GeSe_6$, and $Ag_{1.4}Hg_{1.3}GeSe_6$ compounds in the Ag–Hg–Ge–Se system / M.V. Moroz, M.V. Prokhorenko, O.V. Reshetnyak, P.Yu. Demchenko // *J. Solid State Electrochem.* – 2017. – Vol. 21, Is. 3. – P. 833–837. Doi: 10.1007/s10008-016-3424-z.
19. **Moroz M. V.** Thermodynamic study of phase equilibrium of superionic alloys of $Ag_3SBr_{1-x}Cl_x$ system in the concentration range 0.0–0.4 and temperature range 370–395 K / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko, S. V. Prokhorenko, O. V. Reshetnyak // *Arch. Thermodyn.* – 2017. – Vol. 38, Is. 1. – P. 27–38. Doi: 10.1515/aoter-2017-0002.
20. **Moroz M. V.** Thermodynamic properties of saturated solid solutions of the phases Ag_2PbGeS_4 , $Ag_{0.5}Pb_{1.75}GeS_4$ and $Ag_{6.72}Pb_{0.16}Ge_{0.84}S_{5.20}$ of the Ag–Pb–Ge–S system determined by EMF method / M. V. Moroz, P. Yu. Demchenko, M. V. Prokhorenko, O. V. Reshetnyak // *J. Phase Equilib. Diffus.* – 2017. – Vol. 38, Is. 4. – P. 426–433. Doi: 10.1007/s11669-017-0563-6.
21. **Moroz M. V.** Thermodynamic properties of saturated solid solutions of Ag_7SnSe_5Br and Ag_8SnSe_6 compounds in the Ag–Sn–Se–Br system measured by the EMF method /

- M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko, P. Yu. Demchenko, O. V. Reshetnyak // *J. Chem. Thermodyn.* – 2017. – Vol. 106. – P. 228–231. Doi: 10.1016/j.jct.2016.12.004.
22. Danilevska N.B. The influence of technological modes of the physical properties of zinc oxide nanocrystals derived electrolyte method / N.B. Danilevska, **M.V. Moroz**, B.D. Nechyporuk, N.Yu. Novoseletskyy, B.P. Rudyk // *J. Phys. Stud.* – 2016. – V. 20, No 3. – P. 3601(1-5) Doi: 10.30970/jps.20.3601.
 23. Danilevska N.B. The Influence of Technological Modes on the Physical Properties of Cadmium Sulfide Nanocrystals Derived by the Electrolyte Method / N.B. Danilevska, **M.V. Moroz**, B.D. Nechyporuk, N.E. Novoseletskiy, V.O. Yukhymchuk // *J. Nano-Electron. Phys.* – 2016. Vol. 8, No 2. – P. 02041(5pp). Doi: 10.21272/jnep.8(2).02041.
 24. **Moroz M.V.** Phase Equilibria and Thermodynamic Properties of Saturated Solid Solutions Based on the Compounds BiSeI, Bi₁₉Se₂₇I₃, and BiI₃ in the Ag–Bi–Se–I System / M.V. Moroz, M.V. Prokhorenko // *Inorg. Mater.* – 2016. – V. 52, N. 8. – P. 765–769. Doi: 10.1134/S0020168516080136.
 25. **Moroz M.V.** Phase Equilibria and the Thermodynamic Properties of Saturated Solid Solutions of BiTeI, Bi₂TeI, and Bi₄TeI_{1.25} Compounds of the AgI–Bi–Bi₂Te₃–BiTeI System / M.V. Moroz, M.V. Prokhorenko // *Russ. J. Phys. Chem. A.* – 2016. – V. 90, N. 7. – P. 1301–1305. Doi: 10.1134/S0036024416070219.
 26. Danilevska N.B. Receiving and Study of Nanostructured ZnO and ZnS / N.B. Danilevska, **M.V. Moroz**, B.D. Nechyporuk, B.P. Rudyk // *J. Nano-Electron. Phys.* – 2016. Vol. 8, No 1. – P. 01006(4pp). Doi: 10.21272/jnep.8(1).01006.
 27. **Moroz M.V.** Phase Equilibrium and Thermodynamic Properties of Silver-Saturated Compounds BiSI and Bi₁₉S₂₇I₃ of the AgI–Bi–Bi₂S₃–BiSI System / M.V. Moroz, M.V. Prokhorenko // *Russ. J. Electrochem.* – 2016. – V. 52, N. 4. – P. 392–395. Doi: 10.1134/S102319351604008X.
 28. **Moroz M. V.** Measurement of the thermodynamic properties of saturated solid solutions of compounds in the Ag–Sn–Se system by the EMF method / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko // *Russ. J. Phys. Chem. A.* – 2015. – Vol. 89, No. 8. – P. 1325–1329. Doi: 10.1134/S0036024415080221.
 29. **Moroz M. V.** Phase equilibria and thermodynamic properties of phases in the Ag–Cd–Sn–Se system / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko // *Inorg. Mater.* – 2015. – Vol. 51, No. 8. – P. 799–805. Doi: 10.1134/S0020168515080130.
 30. **Moroz M. V.** Determination of Thermodynamic Properties of Ag₃SBr Superionic Phase Using EMF Technique / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko, S. V. Prokhorenko // *Russ. J. Electrochem.* – 2015. – Vol. 51, No. 9. – P. 886–889. Doi: 10.1134/S1023193515090098.
 31. Prokhorenko M.V. Measuring the Thermodynamic Properties of Saturated Solid Solutions in the Ag₂Te–Bi–Bi₂Te₃ System by the Electromotive Force Method / M.V. Prokhorenko, **M.V. Moroz**, P.Yu. Demchenko // *Russ. J. Phys. Chem. A.* – 2015. – V. 89, N. 8. – P. 1330–1334. Doi: 10.1134/S0036024415080269.
 32. **Moroz M. V.** Determination of thermodynamic properties of saturated solid solutions of the Ag–Ge–Se system using EMF technique / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko // *Russ. J. Electrochem.* – 2015. – Vol. 51, Is. 7. – P. 697–702. DOI: 10.1134/S1023193515070046.
 33. **Moroz M. V.** Phase Relations in PbSe–PbTe Alloys of the Ag–Pb–Se–Te System Studied by EMF Measurements / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko // *Inorg. Mater.* – 2015. – Vol. 51, N. 4. – P. 302–306. Doi: 10.1134/S0020168515040081.
 34. **Moroz M. V.** Thermodynamic properties of phases of the Ag–Ge–Te system / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko, B. P. Rudyk // *Russ. J. Electrochem.* – 2014. – Vol. 50, No. 12. – P. 1177–1181. Doi: 10.1134/S1023193514120039.
 35. **Moroz M. V.** Ag_{0.225}Ge_{0.260}S_{0.515}–AgBr glasses / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko, V. M. Moroz // *Inorg. Mater.* – 2014. – V. 50. N. 5. – P. 532–536. Doi: 10.1134/S0020168514050124.
 36. **Moroz M. V.** Thermodynamic properties of the intermediente phases of the Ag–Sb–Se system / M. V. Moroz, M. V. Prokhorenko // *Russ. J. Phys. Chem. A.* – 2014. – V. 88, N. 5. – P. 742–746. Doi: 10.1134/S0036024414050203.

Наукові праці у фахових виданнях України:

1. **Мороз М. В.** Термодинамічні властивості срібловмісних сполук системи Ag–Fe–Sn–S, отриманих низькотемпературним твердофазним синтезом / М. В. Мороз, О. В. Решетняк, П. Ю. Демченко, М. В. Прохоренко, Л. В. Соляк, Б. П. Рудик, О. Б. Перевізник, С. В. Прохоренко // Укр. хім. журн. – 2020. – Т. 86, № 11. – С. 34–50. Doi: 10.33609/2708-129X.86.11.2020.34-50.
2. **Мороз М.** Термодинамічні властивості сполуки AgSnTe₂ / М. Мороз, П. Демченко, М. Прохоренко, С. Прохоренко, О. Перевізник, Б. Рудик, Л. Соляк, О. Решетняк // Вісник Львів. ун-ту. Серія хім. – 2020. – Вип. 61, Ч. 2. – С. 383–393. Doi: 10.30970/vch.6102.383.
3. **Мороз М.В.** Рівноважний фазовий стан суперіонних сплавів системи Ag₃SBr_{1-x}Cl_x в концентраційному 0 ≤ x ≤ 0.5 та температурному 465–490 К інтервалах / М.В. Мороз, О.Г. Миколайчук, Б.П. Рудик, Б.Д. Нечипорук, Л.В. Соляк // Вісник Львів. ун-ту. Серія фіз. – 2016. – Вип. 51. – С. 21–29.
4. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості насичених твердих розчинів фаз Ag₇GeS₅I та Ag₈GeS₆(I) системи Ag–Ge–S–I визначені методом ЕРС / М.В. Мороз // Укр. хім. журн. – 2016. – Т. 82, № 7. – С. 64–70.
5. **Moroz M.** Ag₃Ge₂S₅Br: Synthesis, structure and ionic conductivity / M. Moroz, P. Demchenko, V. Romaka, R. Serkiz, L. Akselrud, R. Gladyshevskii, O. Mykolaychuk // Chem. Met. Alloys. – 2014. – V. 7, Is. 3/4. – P. 139–148.
6. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості проміжних фаз системи Ag–Bi–Se в інтервалі температур 535–578 К / М.В. Мороз, О.Г. Миколайчук, М.В. Прохоренко, В.М. Мороз // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15, № 2. – С. 272–275.

Наукова стаття у закордонному виданні:

1. Tesfaye F. An overview of advanced chalcogenide thermoelectric materials and their applications / F. Tesfaye, **M. Moroz** // J. Electron. Res. Appl. – 2018. – Vol. 2, Is. 2. – P. 28–41. Doi: 10.26689/jera.v2i2.337.

Тези доповідей на вітчизняних та міжнародних конференціях

1. **Moroz M.** Non-activation synthesis and thermodynamic properties of nanoscale ternary compounds of the Ag–Te–Br system / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, O. Pereviznyk, S. Prokhorenko, O. Reshetnyak // Ist international research and practice conference “Nanoobjects and Nanostructuring” (N&N–2020): Book of Abstracts, 20–23 of September 2020. – Lviv, 2020. – P. 59.
2. **Мороз М.В.** Вплив температури електроліту на отримання нанокристалів сполук цинку / М.В. Мороз, Б.Д. Нечипорук, М.Ю. Новоселецький, Б.П. Рудик, О. Сидорчик // Матеріали X міжнародної наукової конференції “Релаксаційні, нелінійні, акустооптичні процеси і матеріали”, 25–29 червня 2020 р. – Луцьк-Світязь, 2020. – С. 80–83.
3. **Мороз М. В.** Термодинамічні властивості сполуки AgSnTe₂ / М. В. Мороз, О. В. Решетняк // Звітна наукова конференція Львівського національного університету імені Івана Франка за 2019 рік. Секція хімічних наук, підсекція фізичної та колоїдної хімії: Тези доповідей. Львів, 3–7 лютого 2020 р. Присвячено 25-річчю наукової школи «Фізико-хімія полімерів» кафедри фізичної та колоїдної хімії / О. В. Решетняк, О. М. Герцик (ред.). – Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка, 3–7 лютого 2020. – Львів, 2020. – С. 5–6.
4. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості рівноважної з Ge суперіонної сполуки Ag₃TeBr / М.В. Мороз, О.В. Решетняк, П.Ю. Демченко, О.Б. Перевізник, Б.П. Рудик, Л.В. Соляк // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів та молодих вчених Фізика, електроніка, електротехніка – 2020, 20-24 квітня 2020 р. – Суми, 2020. – С. 69.

5. **Мороз М.В.** Вплив хімічного складу і температури електроліту на розмір та структуру нанокристалів сульфїду кадмію, отриманих електролітичним методом / М.В. Мороз, Б.Д. Нечипорук, М.Ю. Новоселецький, М.В. Прохоренко, О.В. Решетняк // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів та молодих вчених Фізика, електроніка, електротехніка – 2020, 20-24 квітня 2020 р. – Суми, 2020. – С. 46.
6. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості сполуки AgSnTe_2 / М.В. Мороз, О.В. Решетняк // Звітна наукова конференція Львівського національного університету імені Івана Франка за 2019 рік. Секція хімічних наук, підсекція фізичної та колоїдної хімії: Тези доповідей. Львів, 3–7 лютого 2020 р. Присвячено 25-річчю наукової школи «Фізико-хімія полімерів» кафедри фізичної та колоїдної хімії / О.В. Решетняк, О.М. Герцик (ред.). – Львів: Малий видавничий центр хімічного та фізичного факультетів ЛНУ імені Івана Франка, 2020. – С. 5–6.
7. **Moroz M.** Thermodynamic Properties of Layered Tetradymite-like Compounds of the Ag–Ge–Sb–Te System / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // 149th Annual Meeting & Exhibition TMS 2020, 23-27 of February 2020. – San Diego (USA), 2020. – P. 382.
8. Tesfaye F. The Fast Silver Ion Conducting Solid-state Electrolytes for Deriving Thermodynamic Data / F. Tesfaye, **M. Moroz**, D. Lindberg, P. Taskinen, L. Hupa // CALPHAD XLVIII Conference on Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, June 2nd - June 7th 2019. – Singapore, 2019. – P. O36.
9. **Moroz M.** Thermodynamic properties of the AgInSe_2 and $\text{AgIn}_2\text{Se}_3\text{Br}$ compounds determined by the EMF method / M. Moroz, F. Tesfaye, M. Prokhorenko, D. Lindberg, L. Solyak, O. Mykolaychuk, O. Reshetnyak, L. Hupa // Proceeding of the Physics of disorder systems conference, Journal of Physical Studies. – 2019. Vol. 23, No. 2. – P. 2998(2-3).
10. **Мороз М.** Термодинамічні властивості сполук In_2Te_5 , AgIn_5Te_8 та AgInTe_2 , визначені методом вимірювання електрорушійної сили / М. Мороз, О. Решетняк // XVII наукова конференція “Львівські хімічні читання – 2019”, 2–5 червня 2019. Львів, 2019. – С. 3139.
11. Гаєвська С.Г. Вплив електроліту і термічної обробки на фізичні властивості нанокристалів сполук цинку / С.Г. Гаєвська, **М.В. Мороз**, Б.Д. Нечипорук, Б.П. Рудик // Матеріали III міжнародної наукової конференції “Актуальні проблеми фундаментальних наук”, 01-05 червня 2019. – Луцьк, 2019. – С. 87–90.
12. **Мороз М.В.** Фазовий склад сплавів системи $\text{Ag}_2\text{Se}-\text{In}_2\text{Se}_3$ в частині $\text{AgIn}_5\text{Se}_8-\text{In}_2\text{Se}_3$ / М.В. Мороз, Б.П. Рудик, Б.Д. Нечипорук, Л.В. Соляк, П.Ю. Семенюк // Науково-технічна конференція Фізика, електроніка, електротехніка - 2019, 23-26 квітня 2019. – Суми, 2019. – С. 58.
13. **Мороз М.В.** Використання методу електрорушійних сил для визначення термодинамічних властивостей сполук GeV_4Te_7 , GeV_2Te_4 та $\text{Ge}_3\text{V}_2\text{Te}_6$ / М.В. Мороз, М.В. Прохоренко, М.В. Яцков, О.В. Решетняк // Науково-технічна конференція Фізика, електроніка, електротехніка - 2019, 23-26 квітня 2019. – Суми, 2019. – С. 56–57.
14. Tesfaye F. Thermochemical Data of Selected Phases in the $\text{FeO}_x-\text{FeSO}_4-\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ System / F. Tesfaye, In-H. Jung, M-K. Paek, **M. Moroz**, D. Lindberg, L. Hupa // 148th Annual Meeting & Exhibition TMS 2019, 10-14 of March 2019. – San Antonio (USA), 2019. – P. 106.
15. **Moroz M.** Thermal Stability and Thermodynamics of the $\text{Ag}_2\text{ZnGeS}_4$ / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // 148th Annual Meeting & Exhibition TMS 2019, 10-14 of March 2019. – San Antonio (USA), 2019. – P. 237.
16. Tesfaye F. Thermodynamic investigation of selected metal sulfates for controlling fouling and slagging during combustion / F. Tesfaye, **M. Moroz**, D. Lindberg, L. Hupa, In-H. Jung // 23rd International conference on Fluidized Bed Conversion (FBC), 13-17 of May 2018. – Seoul, South Korea, 2018. – P. C1070–1077.
17. **Moroz M.** Determination of the thermodynamic properties of the $\text{Ag}_7\text{SnSe}_5\text{I}$ superionic phase by the solid-state electrochemical cell method / M. Moroz, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // VIII Український з'їзд з електрохімії

та VI Науково-практичний семінар студентів, аспірантів і молодих учених “Прикладні аспекти електрохімічного аналізу”: Збірник наукових праць. Частина 1. 4-7 червня 2018. – Львів, 2018. – С. 118–120.

18. **Moroz M.** Thermodynamic Properties of Magnetic Semiconductors $\text{Ag}_2\text{FeSn}_3\text{S}_8$ and $\text{Ag}_2\text{FeSnS}_4$ Determined by the EMF Method / **M. Moroz**, F. Tesfaye, P. Demchenko, M. Prokhorenko, D. Lindberg, O. Reshetnyak, L. Hupa // 147th Annual Meeting & Exhibition TMS 2018, 11-15 of March 2018. – Phoenix (USA), 2018. – P. 181.
19. **Moroz M.** Thermodynamic Properties of Superionic Phase $\text{Ag}_4\text{HgSe}_2\text{I}_2$ Determined by EMF Method / **M. Moroz**, F. Tesfaye, M. Prokhorenko, O. G. Mykolaychuk, O. Reshetnyak // Joint Conferences on Advanced Materials and Technologies: The 14th Conference on Functional and Nanostructured Materials – FNMA’17; The 7th International Conference on Physics of Disordered Systems – PDS’17: Abstract Book / Ihor Shtablayvi and Jarosław Rybicki (Eds.), 25–29 September 2017. – Lviv & Yaremche, 2017. – P. 111–112.
20. **Мороз М.В.** Іонна Ag^+ електропровідність та термодинамічні властивості магнітного напівпровідника AgFeTe_2 / **М.В. Мороз**, **М.В. Прохоренко**, **Б.П. Рудик**, **Б.Д. Нечипорук**, **Л.В. Соляк** // Науково-технічна конференція Фізика, електроніка, електротехніка, 17-21 квітня 2017. – Суми, 2017. – С. 35–36.
21. **Moroz M.** Calculation of thermodynamic functions of saturated solid solution of $\text{AgIn}_2\text{Te}_3\text{I}$ compound in the Ag-In-Te-I system / **M. Moroz**, **S. Prokhorenko**, **M. Prokhorenko**, **O. Reshetnyak** // International Conference on Semiconductor Nanostructures for Optoelectronics and Biosensors, EPJ Web of Conferences. – 2017. V. 133. – P. 04002 (1–2).
22. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості насичених твердих розчинів фаз $\text{Ag}_7\text{SnSe}_5\text{Br}$ та Ag_8SnSe_6 системи Ag-Sn-Se-Br визначені методом ЕРС / **М.В. Мороз**, **М.В. Прохоренко**, **С.В. Прохоренко**, **Б.П. Рудик**, **Б.Д. Нечипорук** // Матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених та студентів “Фізика і хімія твердого тіла: стан, досягнення і перспективи”, 28-29 жовтня 2016. – Луцьк, 2016. – С. 50–53.
23. **Рудик Б.П.** Електролітичне отримання ZnO / **Б.П. Рудик**, **М.В. Мороз** // Матеріали VIII міжнародної наукової конференції “Релаксаційні, нелінійні й акустооптичні процеси та матеріали”, 1-4 червня 2016. – Луцьк-Світязь, 2016. – С. 165–168.
24. **Moroz M.V.** Thermodynamic properties of $\text{Ag}_7\text{GeSe}_5\text{I}$ and $\text{Ag}_{6.69}\text{GeSe}_5\text{I}_{0.69}$ superionic compounds determined by a solid electrolyte EMF method / **M.V. Moroz**, **O.V. Reshetnyak**, **S.V. Prokhorenko** // Conference: Systems, Control and Information Technology, book of abstracts, 20-21 may 2016. – Warsaw, 2016. – P. 44.
25. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості насиченого твердого розчину суперіонної сполуки Ag_2ZnI_4 системи Ag-Zn-Se-I / **М.В. Мороз**, **М.В. Прохоренко**, **Б.П. Рудик**, **Б.Д. Нечипорук**, **Л.В. Соляк** // Науково-технічна конференція Фізика, електроніка, електротехніка, 18-22 квітня 2016. – Суми, 2016. – С. 47.
26. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості суперіонної фази Ag_3SBr / **М.В. Мороз**, **М.В. Прохоренко**, **Б.П. Рудик**, **Б.Д. Нечипорук**, **Л.В. Соляк** // Науково-технічна конференція Фізика, електроніка, електротехніка, 20-25 квітня 2015. – Суми, 2015. – С. 34.
27. **Рудик Б.П.** Методи визначення розмірів наночастинок оксиду цинку аналізом рентгенівського профілю / **Б.П. Рудик**, **М.В. Мороз** // Матеріали Міжнародної інтернет-конференції молодих учених та студентів “Актуальні проблеми фундаментальних і прикладних досліджень”, 27-28 січня 2015. – Луцьк, 2015. – С. 111–113.
28. **Мороз М.В.** Умови формування Ag_2GeSe_3 в $T-x$ просторі Ag-Ge-Se / **М.В. Мороз**, **М.В. Прохоренко** // Науково-технічна конференція Фізика, електроніка, електротехніка, 21-26 квітня 2014. – Суми, 2014. – С. 47.
29. **Мороз М.В.** Термодинамічні властивості проміжних фаз системи $\text{Ag}_2\text{Te-Bi-Bi}_2\text{Te}_3$ / **М.В. Мороз**, **М.В. Прохоренко**, **Л.В. Соляк** // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Шевченківська весна – 2014”, 25-28 березня 2014. – Київ, 2014. – С. 162–163.