

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора хімічних наук, провідного наукового співробітника кафедри неорганічної хімії Львівського національного університету імені Івана Франка МОН України

### **Бабіжецького Володимира Станіславовича**

на дисертаційну роботу Селезня Андрія Олеговича «Фазові рівноваги в системах  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge, Sn)Se_2$  та споріднених, кристалічна структура і властивості проміжних фаз» представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 102 Хімія

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження.**

Завдяки оптичним властивостям халькогенідів, їхній хімічній стійкості, матеріали з них застосовують в ІЧ-оптиці, оптоелектроніці, телекомунікаційних пристроях, лазерній техніці. У науковому і в прикладному аспектах важливим також є вивчення закономірностей взаємодії компонентів, визначення областей гомогенності, встановлення існування нових сполук, твердих розчинів та склоподібних сплавів. Вивчення фазових рівноваг у багатокомпонентних системах за участю складних речовин, встановлення меж існування твердих розчинів на їхній основі, виявлення нових сполук є одним із етапів систематичного дослідження взаємодії між халькогенідами. Серед складних систем важливе місце займають квазіпотрійні халькогенідні системи  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge, Sn)Se_2$  та споріднені. У багатьох аналогічних системах встановлено існування тетраарних сполук з Талієм та лужними металами, Аргентумом (Купрумом) різних мольних складів, як наприклад, 2:1:1:4 ( $Cu_2CdGeSe_4$ ,  $Ag_2FeSnS_4$ ,  $Li_2CdGe(Sn)Se_4$ ), 2:1:2:6 ( $Na_2CdGe_2Se_6$ ) та 2:1:3:8 ( $Cs_2CdGe_3Se_8$ ,  $Cu_2CdSn_3S_8$ ,  $Ag_2FeSn_3S_8$ ) властивості яких є анізотропні, які мають високу термічну стабільність, володіють оптичними властивостями та можуть використовуватись у якості деталей, складових частин для виготовлення світлодіодів, лазерних та оптичних установок, накопичувачів пам'яті та в інших областях нелінійно-оптичних застосувань. Тому дисертаційна робота Селезня Андрія Олеговича присвячена систематичному дослідженню фазових рівноваг в системах  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge, Sn)Se_2$  та споріднених, кристалічній структурі і властивостям проміжних фаз, що у них утворюються є безумовно актуальною.

Про актуальність цієї проблематики додатково свідчить відповідність виконаного дослідження напрямкам науково-дослідних робіт кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки відповідно до планів держбюджетних тем: «Нові складні халькогеніди та галогеніди для нелінійної оптики, термо- та оптоелектроніки: синтез, структура і властивості» (№ ДР 0117U002303, 2017–2019 рр.) та

«Синтез, структура та властивості нових тетраарних халькогенідів для термо- та оптоелектроніки» (№ ДР 0119U001192, 2019–2021 рр.).

### **Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів**

Дисертаційна робота Селезня А. О. присвячена дослідженню фазових рівноваг в системах  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge, Sn)Se_2$  та споріднених, кристалічній структурі і властивостям проміжних фаз, що у них утворюються складається з анотації двома мовами, вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Вона викладена на 176 сторінках (з них – 167 сторінок основного тексту, 9 сторінок у додатках), містить 95 рисунків, 30 таблиць. Список використаних джерел нараховує 167 найменувань.

У **вступі** автор обґрунтував актуальність теми дослідження, сформулювала мету роботи, визначив задачі, висвітлив наукову новизну та відповідність поставлених завдань рівню дисертації представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань хімічних наук. Обґрунтовано практичне значення одержаних результатів та представлено дані про їх апробацію, додається список публікацій, де вказується особистий внесок здобувача. Також зазначено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та темами кафедри неорганічної та фізичної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки.

У **першому розділі** представлені дані проведеного аналізу літературних джерел. Тут представлено діаграми стану бінарних халькогенідних систем  $Tl-X$ ,  $B^{II}-X$ ,  $D^{IV}-X$ , а також квазібінарних  $Tl^2X-B^{II}X$ ,  $B^{II}X-D^{IV}X_2$  та  $Tl_2X-D^{IV}X_2$ , на основі яких утворені квазіпотрійні системи, що представлені халькогенідами Талію, *d*-елементів II групи ( $B^{II} - Zn, Cd$ ) та *p*-елементів IV ( $D^{IV} - Si, Ge, Sn$ ) груп періодичної системи елементів. Наведено інформацію про деякі кристалохімічні, фізико-хімічні параметри бінарних та тернарних сполук, що утворюють відповідні квазіпотрійні системи. Також приводиться інформація про відомі тетраарні халькогеніди у подібних системах з описом деяких властивостей. На основі аналізу літературних джерел приводяться висновки про можливість утворення тернарних, тетраарних сполук та твердих розчинів на їхній основі у цих системах.

У **другому розділі** описано характеристики вихідних речовин, методи синтезу зразків та методики експериментальних досліджень, що використовувались при виконанні дисертаційної роботи. Синтез полікристалічних зразків проводили прямим однотемпературним методом у печах шахтного типу СШОЛ із системою регулювання і підтримки температури. Дослідження проводились на експериментальних установках із використанням сучасних методів: диференційного термічного аналізу, рентгенофазового, мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізів. Визначення кристалічної структури проводили з використанням комплексу програм WinCSD та SHELX-2019. Мікроструктурний аналіз (МСА) зразків

проводили на мікротвердометрі Leica VMHT Auto. Морфологію сплавів, їхній якісний та кількісний склад досліджували на електронному мікроскопі Tescan Vega3 LMU із системою Oxford Instruments Aztec ONE, детектор X-Max<sup>N</sup>20. Дослідження спектрів поглинання та люмінісценції стекел проводили на установці з монохроматором МДР-206.

У **третьому розділі** містяться дані по дослідженню фазових рівноваг у квазіпотрійних системах  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{CdSe}-\text{Si}(\text{Ge}, \text{Sn})\text{Se}_2$ . У системі  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{CdSe}-\text{SiSe}_2$  вперше встановлено утворення двох нових тетраарних сполук:  $\text{Tl}_2\text{CdSiSe}_4$ , що кристалізується в тетрагональній ПГ  $I-42m$ , та  $\text{Tl}_2\text{CdSi}_3\text{Se}_8$  – у ромбічній ПГ  $P2_12_12_1$ . Також встановлено спосіб утворення тернарної сполуки  $\text{Tl}_2\text{Si}_2\text{Se}_5$ . Побудовано ізотермічний переріз даної системи при 570 К та окремі політермічні перерізи. Розчинність на основі компонентів цієї системи є незначна. У системі  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{CdSe}-\text{GeSe}_2$  вперше виявлено утворення двох нових тетраарних сполук  $\text{Tl}_2\text{CdGeSe}_4$  (ПГ  $I-42m$ ) та  $\text{Tl}_2\text{CdGe}_3\text{Se}_8$  (ПГ  $P2_12_12_1$ ). Побудовано ізотермічний переріз системи при 570 К та окремі політермічні перерізи. За результатами вивчення фазових рівноваг побудовано проекцію поверхні ліквідусу. Розчинність на основі компонентів цієї системи менша 5 мол. %. У системі  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{CdSe}-\text{SnSe}_2$  вперше виявлено утворення однієї нової тетраарної сполуки  $\text{Tl}_2\text{CdSnSe}_4$  (ПГ  $I-42m$ ). Побудовано ізотермічний переріз даної системи при 570 К, окремі політермічні перерізи, проекцію поверхні ліквідусу та просторові діаграми стану трьох підсистем:  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{CdSe}-\text{Tl}_4\text{SnSe}_4$ ,  $\text{Tl}_4\text{SnSe}_4-\text{CdSe}-\text{Tl}_2\text{SnSe}_3$  та  $\text{Tl}_2\text{SnSe}_3-\text{CdSe}-\text{SnSe}_2$ . Розчинність на основі  $\text{Tl}_4\text{SnSe}_4$  досягає 10 мол. % по перерізу, а на основі інших компонентів складає 2-3 мол. %.

У **четвертому розділі** наведено результати дослідження фазових рівноваг у споріднених квазіпотрійних системах. Зокрема, у системі  $\text{Tl}_2\text{S}-\text{CdS}-\text{GeS}_2$  вперше встановлено утворення нових тетраарних халькогенідів  $\text{Tl}_2\text{CdGe}_2\text{S}_6$  (ПГ  $R3$ ) та  $\text{Tl}_2\text{CdGe}_3\text{S}_8$  (ПГ  $P2_12_12_1$ ). Побудовано ізотермічний переріз системи при 570 К. Розчинність на основі  $\text{Tl}_2\text{S}$  сягає 10 мол. %  $\text{CdS}$ , на основі інших компонентів незначна. У системі  $\text{Tl}_2\text{S}-\text{CdS}-\text{SnS}_2$  вперше встановлено утворення двох нових тетраарних сполук  $\text{Tl}_2\text{CdSn}_2\text{S}_6$  ( $P6_3/mmc$ ) та  $\text{Tl}_2\text{CdSn}_3\text{S}_8$ . Побудовано ізотермічний переріз системи при 570 К. Розчинність на основі вихідних компонентів є 2-3 мол. %. У системі  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{ZnSe}-\text{GeSe}_2$  вперше виявлено нову тетраарну сполуку  $\text{Tl}_2\text{ZnGe}_3\text{Se}_8$ . Побудовано ізотермічний переріз системи при 570 К та два політермічні перерізи. Розчинність на основі  $\text{CdSe}$  становить 10 мол. %, на основі  $\text{Tl}_4\text{GeSe}_4$  та  $\text{Tl}_2\text{GeSe}_3$  – 5 мол. %, на основі інших компонентів менше 3 мол. %. У системі  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{ZnSe}-\text{SnSe}_2$  вперше виявлено нову тетраарну сполуку  $\text{Tl}_2\text{ZnSnSe}_4$ . Побудовано ізотермічний переріз даної системи при 570 К та два політермічні перерізи. Розчинність на основі  $\text{CdSe}$  досягає 10 мол. %, на основі  $\text{Tl}_4\text{SnSe}_4$  – 5 мол. %, а на основі інших компонентів є менше 3 мол. %. Вперше досліджено характер взаємодії в системі  $\text{Tl}_2\text{Te}-\text{SiTe}_2$  та встановлено утворення чотирьох нових тернарних сполук  $\text{Tl}_{18}\text{SiTe}_{11}$ ,  $\text{Tl}_4\text{SiTe}_4$ ,  $\text{Tl}_2\text{SiTe}_3$  та  $\text{Tl}_2\text{Si}_2\text{Te}_5$ . Сполука  $\text{Tl}_2\text{SiTe}_3$  виступає компонентом

квзіподвійних систем  $Tl_2SiTe_3-Cd(Hg)Te$ , у яких вперше встановлено утворення тетрарних сполук  $Tl_2CdSiTe_4$  та  $Tl_2HgSiTe_4$ , що мають при 470 К область гомогенності до 5 мол. % зі сторони тернарної сполуки.

У **п'ятому розділі** наведено результати розшифрування кристалічної структури знайдених десяти тетрарних сполук методами порошку та монокристалу: п'яти складу 2:1:1:4  $\{Tl_2CdSiSe_4, Tl_2CdGeSe_4, Tl_2CdSnSe_4, Tl_2CdSiTe_4, Tl_2HgSiTe_4$  (ПГ  $I-42m$ ) $\}$ , двох складу 2:1:2:6  $\{Tl_2CdGe_2S_6$  (ПГ  $R3$ ) та  $Tl_2CdSn_2S_6$  (ПГ  $P6_3/mmc$ ) $\}$  і трьох складу 2:1:3:8  $\{Tl_2CdGe_3S_8$  та  $Tl_2CdD_3Se_8$  ( $D = Si, Ge$ ; ПГ  $P2_12_12_1$ ) $\}$ . Наведено дані про розташування атомів сполук в елементарній комірці та їхнє координаційне оточення. У цьому розділі також наведено інформацію про властивості отриманих нових халькогенідів, підтвердження якісного та кількісного складу, результати розшифрування електронної структури, параметри оптичних властивостей для нових тетрарних сполук та запропоновано їхнє можливе практичне застосування.

**Висновки** наведені після експериментальних розділів і відображають отримані результати проведених досліджень.

### **Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження**

Результати та висновки дисертації є **обґрунтованими**. Це зумовлено різносторонністю проведених експериментальних досліджень, а також вдало підібраних експериментальних методик. У формулюванні основних результатів та висновків автор долучає відповідну кількісну та якісну фізичну інтерпретацію виявлених закономірностей. **Достовірність** результатів дисертації забезпечена використанням сучасних експериментальних методик і підходів, надійного сучасного експериментального обладнання, порівнянням даних автора з відповідними результатами інших науковців. Отримані результати є достатньо переконливими, науково обґрунтованими, а їхній аналіз проведений з урахуванням останніх даних фахової наукової літератури. Додатковим підтвердженням обґрунтованості та достовірності наукових результатів є посилання на наукові публікації автора та представлення отриманих результатів на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

**Наукова новизна** дисертаційної роботи полягає в тому, що вперше:

– вивчено фазову взаємодію в квзіпотрійних  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge, Sn)Se_2$  та споріднених  $Tl_2S-CdS-Ge(Sn)S_2, Tl_2Se-ZnSe-Ge(Sn)Se_2$  системах і по перерізах  $Tl_2SiTe_3-Cd(Hg)Te$ ;

- побудовано 28 політермічних перерізів: двадцять у системах  $Tl_2Se-CdSe-Si(Ge, Sn)Se_2$ , два з яких  $Tl_2Se-SiSe_2$  та  $Tl_2Se-CdSe$  уточнено, та ще вісім у споріднених  $Tl_2Se-ZnSe-Ge(Sn)Se_2$  системах та по двох квазібінарних телуридних  $Tl_2SiTe_3-Cd(Hg)Te$ ;
- побудовано проекції поверхні ліквідусу для систем  $Tl_2Se-CdSe-Ge(Sn)Se_2$  та просторові діаграми стану трьох підсистем  $Tl_2Se-CdSe-Tl_4SnSe_4$ ,  $Tl_2Se-CdSe-Tl_2SnSe_3$  та  $Tl_2Se-CdSe-SnSe_2$ ;
- встановлено існування 17 нових сполук: п'яти тернарних  $Tl_2Si_2Se_5$ ,  $Tl_{18}SiTe_{11}$ ,  $Tl_4SiTe_4$ ,  $Tl_2SiTe_3$ ,  $Tl_2Si_2Te_5$  та дванадцяти тетрарних  $Tl_2ZnSnSe_4$ ,  $Tl_2CdSiSe_4$ ,  $Tl_2CdGeSe_4$ ,  $Tl_2CdSnSe_4$ ,  $Tl_2HgSiTe_4$ ,  $Tl_2CdSiTe_4$ ,  $Tl_2CdGe_2S_6$ ,  $Tl_2CdSn_2S_6$ ,  $Tl_2CdGe_3S_8$ ,  $Tl_2ZnGe_3Se_8$ ,  $Tl_2CdSi_3Se_8$ ,  $Tl_2CdGe_3Se_8$ ; сполуки  $Tl_2CdSiTe_4$  ( $Tl_2HgSiTe_4$ ) мають при 470 К область гомогенності до 5 мол. % зі сторони тернарної сполуки;
- розшифровано кристалічну структуру десяти нових халькогенідів: методом монокристалу для  $Tl_2CdGe_3S_8$  (ПГ  $P2_12_12_1$ ) та методом порошку ще для 9 нових халькогенідів, з яких п'ять складу 2:1:1:4 ( $Tl_2CdSiSe_4$ ,  $Tl_2CdGeSe_4$ ,  $Tl_2CdSnSe_4$ ,  $Tl_2CdSiTe_4$ ,  $Tl_2HgSiTe_4$ ) належать до тетрагональної сингонії, ПГ  $I-42m$ ; два складу 2:1:2:6 належать до тригональної  $Tl_2CdGe_2S_6$  (ПГ  $R3$ ) та гексагональної  $Tl_2CdSn_2S_6$  (ПГ  $P6_3/mmc$ ) сингоній, ще два складу 2:1:3:8  $Tl_2CdD_3Se_8$  ( $D = Si, Ge$ ) кристалізуються в ромбічній сингонії, ПГ  $P2_12_12_1$ ;
- на основі тетрарних сполук  $Tl_2BSiTe_4$  ( $B = Hg, Cd$ ) по перерізах  $Tl_2SiTe_3-Hg(Cd)Te$  встановлено існування областей гомогенності до 5 мол. % зі сторони тернарної сполуки та встановлено механізм їх утворення, а саме – заміщення;
- одержано монокристал сполуки  $Tl_2CdSnSe_4$  та полікристали сполук  $Tl_2CdGeSe_4$ ,  $Tl_2CdD_3Se_8$  ( $D = Si, Ge$ ); досліджено їхні оптичні та фотоелектричні властивості;
- для сполук  $Tl_2CdDSe_4$  ( $D = Ge, Sn$ ),  $Tl_2CdD_3Se_8$  ( $D = Si, Ge$ ) вперше проведено вимірювання електронної структури та встановлено, що домінуючим в них є ковалентний полярний зв'язок.

### **Практична цінність отриманих результатів**

Результати дослідження фазових рівноваг систем та перерізів, на яких утворюються знайдені нами нові сполуки та тверді розчини на їх основі можна застосовувати для росту та коригування технології росту монокристалів, для прогнозування складу, структури та властивостей нових сполук, що утворюються в близьких за складом та властивостями системах при їх ідентифікації, для керування фізичними параметрами при створенні нових матеріалів з наперед заданими властивостями, що можуть бути деталями для детекторів ІЧ-випромінювання, датчиків, фото-перетворювачів, оптичних аналізаторів та інших промислових виробів. Одержані результати можуть бути використані в якості навчального та довідкового

матеріалу для кристалохімії, хімії та фізики напівпровідників, матеріалознавства та інших споріднених дисциплін.

### **Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.**

Основні наукові результати дисертаційної роботи Селезня А. О. відображено у 27-ми публікаціях дисертанта, (5 статей у наукових фахових виданнях що входять до журналів ВАК та відображених у Scopus та Web of Science, та 22 тезах доповідей національних та міжнародних наукових конференцій.).

Дисертаційна робота написана логічно, представлення результатів є високої якості (особливо фазові рівноваги, проекції ліквідусу, політермічні перерізи), інтерпретація експериментальних досліджень проведена на високому науковому рівні, її зміст і оформлення відповідає існуючим вимогам.

### **Зауваження та побажання**

1. У розділі “Огляд літератури” доцільно було привести підрозділ із структурними особливостями кристалічних структур, що утворюються у розглянутих системах. На діаграмах стану бажано вказувати назви відповідних сполук, що у них утворюються та привести їхні їхні кристалографічні характеристики у таблицях.
2. У Розділі 2 не вказана точність вимірювань температури. У відповідних розділах наведені усереднені значення складів сполук однак без стандартних відхилень, що ускладнює оцінку отриманих результатів. З якої кількості вимірювань ЕДС отримано усереднені склади сполук?
3. У розділі 3.1.7 автор стверджує, що на ізотермічному перерізі системи  $Tl_2Se-CdSe-SiSe_2$  при 570 К наявні тверді розчини на основі  $Tl_2Se$ ,  $CdSe$ ,  $SiSe_2$ ,  $Tl_4SiSe_4$ ,  $Tl_2SiSe_3$ ,  $Tl_2Si_2Se_5$ ,  $Cd_4SiSe_6$ ,  $Tl_2CdSiSe_4$  та  $Tl_2CdSi_3Se_8$ . Яка їхня протяжність? На рис. 3.12 це важко побачити. Які типи твердих розчинів утворюються у цій системі?
4. На рисунках 3.1, 3.5, 3.13, 3.15, 3.27 та інших представлені склад зразків та їхні дифрактограми. У відповідних розділах тексту вказуються ці рисунки, як результати РФА. Чи визначені склади зразків і вміст фаз у них відповідними розрахунками дифрактограм?
5. Не завжди бралось до уваги, що при зображенні ізотермічного перерізу тернарних систем необхідно, щоби лінії, які обмежують дві фази у вершині трикутника однофазової області сходилися у одній точці. Трьохфазна ділянка може дотикатися до однофазної лише у одній точці.
6. У розділі 4.5.2, рисунок 4.16 представлено як “Зміна параметрів ґратки зразків системи  $Tl_2SiTe_3 - CdTe$ ”. Підпис підібраний некоректно, оскільки параметри ґратки відносяться до кристалічних параметрів сполук, а не систем. До яких структурних типів відносяться ВТМ і НТМ фази  $Tl_2SiTe_3$  (розд. 4.6.1)?

7. У висновках до 4 розділу не згадані і не обговорені досліджені споріднені системи  $\text{Tl}_2\text{Te}-\text{CdTe}-\text{SiTe}_2$  та  $\text{Tl}_2\text{Te}-\text{HgTe}-\text{SiTe}_2$ . Яка подібність, чи відмінність систем із  $\text{Te}$  до систем із  $\text{Se}$ ?
8. Автор вживає некоректне представлення хімічних формул:  $\text{Tl}_2\text{CdSi}(\text{Ge}, \text{Sn})\text{Se}_4$ ,  $\text{Tl}_2\text{CdHg}(\text{Cd})\text{Te}_4$  (розділ 5). Оскільки тут йдеться про окремі сполуки  $\text{Tl}_2\text{CdSiSe}_4$ ,  $\text{Tl}_2\text{CdGeSe}_4$  та  $\text{Tl}_2\text{CdSnSe}_4$ , тому коректно писати їхню загальну формулу наприклад таким чином:  $\text{Tl}_2\text{CdDSe}_4$  ( $D = \text{Si}, \text{Ge}, \text{Sn}$ ) і відповідно  $\text{Tl}_2\text{BSiTe}_4$  ( $B = \text{Cd}, \text{Hg}$ ).
9. Чим обумовлене різне представлення сполуки  $\text{TlCd}_{0,5}\text{GeS}_3$  (розд. 5.3) та  $\text{Tl}_2\text{CdGe}_2\text{S}_6$  (розд. 4.11). У табл. 5.5 склад статистичної суміші зафіксовано і він у сумі складає 0,834. На основі яких даних був встановлений саме такий розподіл?
10. При розгляді кристалічних структур (розд. 5.3, 5.4, 5.5) не вказані міжатомні віддалі для  $\text{S}$ . Які характерні міжатомні віддалі для атомів  $\text{S}$  і яке їхнє координаційне оточення?
11. За значеннями XPS ступені окиснення атомів  $\text{Cd}$  і  $\text{Sn}$  у  $\text{Tl}_2\text{CdSnSe}_4$  значно менші ніж  $+2$  і  $+4$ . Як це корелюється із результатами розрахунку кристалічної структури?
12. Автором представлені висновки після розділів 1, 3, 4 і 5. У роботі був би бажаний ще один розділ із обговоренням та відображенням стислого підсумку усіх найбільш важливих наукових та практичних результатів отриманих у цілому дисертаційному дослідженні та їхня загальна спорідненість і взаємозв'язок із цим напрямом досліджень халькогенідних систем.

### **Академічна доброчесність**

Порушень академічної доброчесності в представленому тексті дисертації і наукових публікаціях, які висвітлюють основні результати дослідження не виявлено.

### **Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам.**

Аналіз дисертації та опублікованих праць дає підстави для висновку про те, що дослідження Селезня Андрія Олеговича є завершеним, цілісним та самостійним, результати якого можуть бути використані для оптимізації технологічних умов при вирощуванні монокристалів, створення нових матеріалів для ІЧ-оптики, оптичних сенсорів, активних середовищ у лазерній техніці. Результати дисертаційної роботи достатньо повно викладені в опублікованих працях. Вважаю, що дисертаційна робота Селезня Андрія Олеговича на тему «Фазові рівноваги в системах  $\text{Tl}_2\text{Se}-\text{CdSe}-\text{Si}(\text{Ge}, \text{Sn})\text{Se}_2$  та споріднених, кристалічна структура і властивості проміжних фаз» за актуальністю, змістом, рівнем наукової новизни, практичним значенням та характером висновків відповідає вимогам затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» і затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня

доктора філософії», а її автор – Селезень Андрій Олегович, заслугоує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 102 «Хімія».

Офіційний опонент: доктор хімічних наук,  
провідний науковий співробітник  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка



В. С. Бабіжецький

Підпис д. х. н. Бабіжецького В. С. засвічую:  
Учений секретар  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка, доцент



О. С. Грабовецька