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 Березнюк Орисі Павлівни «Фазові рівноваги, склоутворення і властивості проміжних фаз у системах $Cu(Ag)_2S$ – $Ge(Sn)S_2$ – $As(Sb)_2S_3$ (P_2S_5)» представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 102 Хімія

Актуальність теми дисертаційного дослідження.

Завдяки широким областям прозорості халькогенідних стекол, а також їхнім оптичним властивостям, 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 склоутворення у досліджуваних системах з метою 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 них важливе місце займають системи типу $A^I{}_2S$ – $B^{IV}S_2$ – $C^V{}_2S_3$, де A^I – Cu, Ag; B^{IV} – Ge, Sn; C^V – As, Sb. Ізоформульні сполуки $Cu(Ag)_8GeS_6$, Ag_8SnS_6 та $Cu(Ag)_2Ge(Sn)S_3$, що утворюються в цих системах є перспективними матеріалами для практичного використання в якості напівпровідників, нелінійних оптичних матеріалів, функціональних матеріалів електронної техніки та фотоелектричних елементів. Такі дослідження є надійною науковою основою одержання матеріалів із заданими властивостями і дозволяють прогнозувати області їхнього практичного застосування. Тому дисертаційна робота Березнюк Орисі Павлівни присвячена дослідженню фазових рівноваг, склоутворенню і властивостям проміжних фаз у системах $Cu(Ag)_2S$ – $Ge(Sn)S_2$ – $As(Sb)_2S_3$ (P_2S_5) є безумовно актуальною.

Про актуальність цієї проблематики додатково свідчить відповідність виконаного дослідження напрямкам науково-дослідних робіт кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки та у рамках держбюджетної теми «Ефективні матеріали для напівпровідникової техніки на основі халькогенідів та галогенідів металів» (№ ДР 0122U000942, 2022–2023 рр.).

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів

Дисертаційна робота Березнюк О. П. присвячена дослідженню фазових рівноваг, склоутворенню і властивостям проміжних фаз у системах $Cu(Ag)_2S$ – $Ge(Sn)S_2$ – $As(Sb)_2S_3$ (P_2S_5) складається з анотації двома мовами, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Вона викладена на 268 сторінках (з них – 183 сторінок основного тексту, 21 сторінка у додатках), містить 167 рисунків, 18 таблиць. Список використаних джерел нараховує 263 найменування.

У **вступі** авторка обґрунтувала актуальність теми дослідження, сформулювала мету роботи, визначила задачі, висвітлила наукову новизну та відповідність поставлених завдань рівню дисертації представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань хімічних наук. Також зазначено зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами та темами кафедри хімії та технологій Волинського національного університету імені Лесі Українки.

У **першому розділі** представлені літературні відомості про фазові рівноваги та властивості сполук у бінарних {Cu, Ag} – S, {Ge, Sn} – S, {P, As, Sb} – S, квазібінарних $A^I{}_2S$ – $B^{IV}S_2$, де A^I – Cu, Ag; B^{IV}– Ge, Sn, $A^I{}_2S$ – {P_2S_5, $C^V{}_2S_3$}, де A^I – Cu, Ag; C^V – As, Sb; $B^{IV}S_2$ – {P_2S_5, $C^V{}_2S_3$}, де B^{IV}– Ge, Sn; C^V – As, Sb і квазітернарних $A^I{}_2X$ – $B^{IV}X_2$ – $C^V{}_2X_3$, де A^I – Cu, Ag; B^{IV} – Ge, Sn; C^V – As, Sb; X – S, Se системах і кристалографічні характеристики сполук, що в них утворюються. Крім того наведено відомості про склоутворення в досліджуваних халькогенідних системах та зроблено огляд літератури щодо нелінійно-оптичних властивостей халькогенідних стекол. У розділі проаналізована необхідність та цінність детального дослідження систем $A^I{}_2S$ – $B^{IV}S_2$ – P_2S_5 ($C^V{}_2S_3$) у стабільному та метастабільному станах. Авторкою зроблені висновки і прогнозування щодо імовірності характеру взаємодії компонентів у досліджуваних системах, типу даграм стану та їхніх ізотермічних перерізів, способів утворення нових сполук та перспектив використання нових матеріалів у різних галузях техніки.

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 поводились на експериментальних установках із використанням сучасних методів: диференційного термічного аналізу, рентгенофазового, мікроструктурного та рентгеноструктурного аналізів. Обробку дифрактограм та ідентифікацію сполук здійснювали комплексом програм PDWin 2.0 та FullProf. Визначення кристалічної структури проводили з використанням комплексу програм WinCSD та DBWS-9807. 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^{N}20. Дослідження спектрів поглинання та люмінісценції стекол проводили на установці з монохроматором МДР-208.

У **третьому розділі** представлено результати дослідження систем A^I_2S – $B^{IV}S2$ – P_2S_5, A^I_2S – $C^V_2S_3$ – $B^{IV}S_2$, де A^I – Cu, Ag; C^V – As, Sb; B^{IV} – Ge, Sn. У досліджених 12 квазіпотрійних системах $Cu(Ag)_2S$ – $Ge(Sn)S_2$ – P_2S_5, $Cu(Ag)_2S$ – $As(Sb)_2S_3$ – $Ge(Sn)S_2$ за температури 500 K ідентифіковано 7 бінарних та 28 тернарних сполук. Встановлено, що на обмежуючих сторонах при 500 K є п´ять тріангулюючих перерізів в системі Cu_2S – GeS_2 – P_2S_5, сім у Cu_2S – SnS_2 – P_2S_5, сім в Ag_2S – GeS_2 – P_2S_5, дев'ять в Ag_2S – SnS_2 – P_2S_5. Досліджена взаємодія між купрумо- та аргентумовмісними аргіродитними фазами від кімнатної до температур плавлення. За температури відпалу (500 K) в системі Cu_2S – As_2S_3 – GeS_2 встановлено дев'ять перерізів, Cu_2S – Sb_2S_3 – GeS_2 – п'ять перерізів, Cu_2S – As_2S_3 – SnS_2 – дев'ять перерізів, Cu_2S – Sb_2S_3 – SnS_2 – шість перерізів, Ag_2S – As_2S_3 – GeS_2 – п'ять перерізів, Ag_2S – Sb_2S3 – GeS_2 – вісім перерізів, Ag_2S – As_2S_3 – SnS_2 – вісім перерізів, Ag_2S – Sb_2S_3 – SnS_2 – дев'ять перерізів. Тетрарні фази виявлено в арсеновмісних системах складу $Cu_6As_4Ge(Sn)S_{11}$. У трьох аргентумовмісних системах виявлено однотипні тетрарні фази складу $Ag_{11}Sb_3GeS_{12}$ та $Ag_{11}As(Sb)_3SnS_{12}$. У результаті дослідження побудовано 14 політермічних квазібінарних перерізів: Cu_2S – GeS_2, Sb_2S_3 – GeS_2, Cu_3SbS_3 – Cu_2GeS_3, Sb_2S_3 – Cu_2GeS_3, Sb_2S_3 – SnS_2, Cu_3SbS_3 – Cu_2SnS_3, $CuSbS_2$ – Cu_2SnS_3, Sb_2S_3 – Cu_2SnS_3, Sb_2S_3 – Ag_2GeS_3, Ag_3SbS_3 – Ag_8SnS_6, $AgSbS_2$ – Ag_8SnS_6, Ag_3SbS_3 – Ag_2SnS_3, $AgSbS_2$ – Ag_2SnS_3, $AgSbS_2$ – SnS_2. На основі літературних даних і досліджених політермічних перерізів побудована поверхня ліквідуса в двох системах $Cu(Ag)_2S$ – Sb_2S_3 – SnS_2. В системі Cu_2S – Sb_2S_3 – SnS_2 існує 9 нонваріантних процеси, з яких 3 перитектичних і 6 евтектичних. В системі Ag_2S – Sb_2S_3 – SnS_2 є 9 нонваріантних процесів, з яких 2 перитектичних і 7 евтектичних. Встановлено, що великі області первинної кристалізації мають фази SnS_2 та $AgSbS_2$. Сполуки, що утворюються інконгруентно та твердофазно на обмежуючих сторонах в середині цих систем мають свої області первинної кристалізації. Наведені висновки із третього розділу підсумовують характер взаємодії компонентів у досліджуваних системах, способи утворення сполук, та типи процесів, які існують у цих системах.

У **четвертому розділі** проаналізовано особливості взаємодії компонентів та особливості склоутворення у досліджених квазіпотрійних системах Cu_2S – GeS_2 – P_2S_5 та Cu_2S – $As(Sb)_2S_3$ – GeS_2 які визначені при загартуванні за 1173 K. При зазначеній температурі області склоутворення в ґерманійвмісних системах прилягають до сторін GeS_2 – $As(Sb)_2S_3$ та GeS_2 – P_2S_5 і простягаються в усьому концентраційному інтервалі. Максимальний вміст Cu_2S, який

вдалось експериментально ввести до складу скла систем Cu_2S – GeS_2 – P_2S_5 та Cu_2S – $As(Sb)_2S_3$ – GeS_2 становить ~10-15 мол. %. У досліджених квазіпотрійних системах системах Cu_2S – $As(Sb)_2S_3$ – SnS_2 та Cu_2S – SnS_2 – P_2S_5 області склоутворення значно менші, порівняно з германієвмісними, і зосереджені на перерізах SnS_2 – $As(Sb)_2S_3$ та SnS_2 – P_2S_5. У системі Cu_2S – SnS_2 – As_2S_3 область склоутворення простягається від 75 до 100 мол. % As_2S_3 по перерізу SnS_2 – As_2S_3, розширюючись в середину концентраційного трикутника, включаючи при цьому ~15 мол. % Cu_2S. У системах Cu_2S – SnS_2 – Sb_2S_3 (P_2S_5) на обмежувальних сторонах SnS_2 – Sb_2S_3 (P_2S_5) концентраційного трикутника встановлено по дві області склоутворення незначної протяжності. У досліджених аргентумовмісних системах Ag_2S – GeS_2 – P_2S_5 та Ag_2S – $As(Sb)_2S_3$ – GeS_2, на відміну від купрумовмісних, області склоутворення займають майже весь концентраційний трикутник. що пов'язано зі збільшенням ковалентної складової хімічного зв'язку при переході від Cu_2S до Ag_2S. Область склоутворення в системі Ag_2S – GeS_2 – P_2S_5, прилягає до квазібінарної системи GeS_2 – P_2S_5, як і в купрумовмісній, проте значно розширюється в глибину концентраційного трикутника при вмісті 0-55 мол. % Ag_2S на перерізі Ag_2S – GeS_2. По обмежуючій стороні Ag_2S – P_2S_5 автори отримали стекла при вмісті 40-70 мол. % Ag_2S. В аналогічній станумовмісній системі область існування скла зосереджена на перерізі GeS_2 – P_2S_5 і вона є значно меншою. У системі Ag_2S – As_2S_3 – GeS_2 область склоутворення має значну протяжність, максимальний вміст Ag_2S, що входить до складу скла у системі становить 70 мол. %. На перерізі Ag_2S – GeS_2 у склоподібному стані отримали сполуку складу Ag_2GeS_3. Область склоутворення на обмежуючій стороні Ag_2S – As_2S_3 має більшу протяжність 0-70 мол. % Ag_2S. Область існування скла в аналогічній станумовмісній системі є меншою; при вмісті 30-100 мол. % As_2S_3 та за концентрацією паралельна до сторони Ag_2S – As_2S_3, вміст SnS_2 при цьому не перевищує 20 мол. %. У системі Ag_2S – Sb_2S_3 – GeS_2, подібно до арсеновмісної, спостерігається область склоутворення, яка займає велику частину концентраційного трикутника. У цій системі по перерізу Ag_2S – Sb_2S_3 при вибраному режимі гарту стекла не утворюються. Для окремих склозразків систем Ag_2S – $As(Sb)_2S_3$ – GeS_2 методом ДТА визначено фізико-хімічні характеристики: температуру розм'якшення (склування), температуру кристалізації і температуру плавлення. По ізоконцентраті 10 мол. % GeS_2 зі збільшенням вмісту Ag_2S характеристичні температури понижуються. При сталій концентрації Ag_2S (40 мол. %) зі збільшенням вмісту ґерманій (IV) сульфіду температура розм'якшення має тенденцію до зростання від 373 K до 573 K, також зростають значення температур кристалізації (464-694 K) та плавлення (602-809 K), як і в арсеновмісній системі. Проведені оптичні дослідження деяких склозразків систем Ag_2S – GeS_2 – {As_2S_3, Sb_2S_3, P_2S_5} оскільки, вони мають найбільш протяжні області існування скла. Дослідження фотолюмінесцентних властивостей сплавів складу 50 мол. % Ag_2S – (48-x) мол. % GeS_2 – 2 мол. % Nd_2S_3 – x мол. % Er_2S_3, де x=1, 2, 3, 4 проводили в

інфрачервоному діапазоні 1000-1500 нм за кімнатної температури. Встановлено, що при збільшенні вмісту Er_2S_3 інтенсивність фотолюмінесценції зменшується. Це обумовлено тим, що при вищій концентрації ербію сусідні іони Nd^{3+} та Er^{3+} можуть обмінюватись енергією та домінуванням безвипромінюючих переходів в іонах Er^{3+} в стеклах систем Ag_2S – GeS_2 та Ag_2S – GeS_2 – Sb_2S_3, які леговані неодимом та ербієм.

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

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і висновків дисертаційного дослідження

Результати та висновки дисертації є достатньо **обґрунтованими**. Це зумовлено різносторонністю проведених експериментальних досліджень, а також вдало підібраних експериментальних методик. У формулюванні основних результатів та висновків авторка 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 авторки 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 авторки та представлення отриманих результатів на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому, що вперше:

– досліджено взаємодію компонентів у квазіпотрійних системах AI_2S – $B^{IV}S_2$ – P_2S_5, $A^I{}_2S$ – $C^V{}_2S_3$ – $B^{IV}S_2$, де A^I – Cu, Ag; C^V – As, Sb; B^{IV} – Ge, Sn при 500 K і побудовано відповідні ізотермічні перерізи діаграм стану (12 систем);

– побудовано 22 політермічних перерізи в системах Cu_2S – $Ge(Sn)S_2$ – P_2S_5, Cu_2S – As_2S_3 – SnS_2, Cu_2S – Sb_2S_3 – $Ge(Sn)S_2$, Ag_2S – $Ge(Sn)S_2$ – P_2S_5, Ag_2S – Sb_2S_3 – $Ge(Sn)S_2$;

– встановлено існування 7 нових сполук: $Cu_6As_4GeS_{11}$, $Cu_6As_4SnS_{11}$, ~SnP_4S_{12}, ~SnP_2S_7, $Ag_{11}As_3SnS_{12}$, $Ag_{11}Sb_3GeS_{12}$, $Ag_{11}Sb_3SnS_{12}$;

– у всіх досліджених квазіпотрійних системах встановлено існування обмежених твердих розчинів;

– визначено області склоутворення при загартуванні від 1173 K у квазіпотрійних системах $A^I{}_2S$ – $B^{IV}S_2$ – P_2S_5, $A^I{}_2S$ – $C^V{}_2S_3$ – $B^{IV}S_2$, де A^I – Cu, Ag; C^V – As, Sb; B^{IV} – Ge, Sn (12 систем), визначено характеристичні температури одержаних стекол (2 системи);

– досліджено оптичні властивості стекол систем $Ag_2S – GeS_2 – P_2S_5$, $Ag_2S – As(Sb)_2S_3 – GeS_2$ та фотолюмінесцентні властивості склозразків окремих складів із заміщенням тривалентного елемента на РЗМ (Er, Nd).

Практична цінність отриманих результатів

Отримані результати досліджень можуть бути використані для оптимізації технологічних умов при вирощуванні монокристалів тернарних та тетраних фаз, твердих розчинів на їх основі. Відомості про діаграми фазових рівноваг досліджених окремих перерізів і потрійних систем, області існування твердих розчинів, їхню структуру розширюють знання про взаємодію елементів у багатокомпонентних системах та становлять основу для пошуку нових перспективних матеріалів. Виявлені області існування стекол, їхні фізико-хімічні та оптичні властивості можуть становити інтерес для практичних застосувань у приладах для ІЧ-оптики. Халькогенідні стекла, леговані рідкісноземельними іонами металів, перспективні для застосування як оптичні сенсори, активні середовища у лазерній техніці, телекомунікаціях та для біохімічних досліджень.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні наукові результати дисертаційної роботи Березнюк О. П. відображено у 19-ти публікаціях дисертантки, (6 статей у наукових фахових виданнях, 1 стаття включена у міжнародну базу Scopus, 1 стаття в іноземному виданні та 11 публікацій в інших наукових виданнях та збірниках матеріалів 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. З огляду літератури не зрозуміло яким чином реалізується область гомогенностіі та поліморфне перетворення (концетраційний чи температурний поліморфізм) сполуки $Sn_2P_2S_6$ (розд. 1.2.3). Посилання на монографії 30-40 річної давності [14], [30], як на джерела повної інформації є невдалими (ст. 56).
2. Згідно назви розділу 1.4 очікується опис характеристик кристалічних структур, їхні спільні риси чи окремі особливості будови. Однак у цьому розділі грунтовно проведено опис типів зв’язку сполук на основі міжатомних віддалей, що відповідно вимагає корекції його назви.

3. При використанні характеристик елементів, наприклад їхніх ковалентних радіусів, краще посилатися на сучасні публікації (напиклад Chem. Eur. J. 15 (2009) 186-197) в яких врахований актуальний стан досліджень та скориговані значення цих характеристик.

4. У експериментальній частині не вказано у якій формі використовувалися елементи для проведення синтезів – у вигляді порошку чи кусків і як при цьому запобігали уникненню забруднення продуктами реакції поверхні P, Cu, Ag із киснем та вологою атмосфери? Яка причина зважування вихідних речовин з точністю ±0,00005 г, особливо у випадках приготування зразків із леткими компонентами P, Sb?

5. Для наведених дифрактограм доцільно вказувати чи відмічати на них поряд із хімічним складом, також і фазовий склад:

а) У тексті стверджується, що на Рис 3.4, дифрактограма, яка містить 30 мол.% P_2S_5 є двофазна, натомість видно лише відбиття від GeS_2. На дифрактограмах зразків які містять 60, 80, 90 мол.% GeS_2 не видно дуже сильного відбиття [002] цієї фази. Яким чином встановлена двофазність зразка?

б) На дифрактограмі Рис. 3.98 , що містить 50 мол.% $AgGeS_3$ наявні додаткові сильні відбиття при ~ 32° та 34° кута 2Θ, приналежність яких до $AgGeS_3$ та Sb_2S_3 згідно рисунку є сумнівною. Чи можливо, що це дифракційні піки іншої фази, а не двофазний зразок?

6. Чи можна вважати зразок двофазним, коли на дифрактограмі зафіксовано відбиття трьох фаз, як це стверджується на ст. 149? У тексті стверджується, що кристалічні структури фаз $Ag_{7.1}Sn_{0.1}P_{0.9}S_6$ (ПГ $P2_13$) та $Ag_{7.5}Sn_{0.5}P_{0.5}S_6$ (ПГ F-43m), вивчені методом порошку, є окремими складами твердого розчину на основі сполуки Ag_8SnS_6 (ПГ F-43m). Чи можна вважати сполуки $Ag_{7.1}Sn_{0.1}P_{0.9}S_6$ та $Ag_{7.5}Sn_{0.5}P_{0.5}S_6$ відповідно складами одного і того ж твердого розчину?

7. Методом ЕДРС встановлена двохфазна ділянка $Ag_4P_2S_7$ + SnP_2S_7. Чому на рис. 3.85 ця рівновага не відображена суцільною лінією? Чи розглядалась можливість приналежності сполуки приблизного складу SnP_2S_7 до структурного типу SnP_2S_6 близького за складом?

8. На спектрах люмінісценції (рис. 4.23, 4.25) видно різке зменшення інтенсивності спектру емісії при зміні вмісту Er_2S_3 між 2 і 3 мол.%. Цього однак не спостерігається при зміні вмісту Er_2S_3 між 1 і 2 та між 3 і 4 мол.%. Чим викликане таке явище?

9. У роботі представлені висновки після розділів 1, 3 і 4. У роботі був би бажаний ще один розділ із висновками у якому був би відображений стислий підсумок усіх найбільш важливих наукових та практичних результатів отриманих у цілому дисертаційному дослідженні.

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 Березнюк Орисі Павлівни 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 Березнюк Орисі Павлівни на тему «Фазові рівноваги, склоутворення і властивості проміжних фаз у системах $Cu(Ag)_2S$ – $Ge(Sn)S_2$ – $As(Sb)_2S_3$ (P_2S_5)» за атуальністю, 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 авторка – Березнюк Орися Павлівна, заслуговує 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