

**НАУКОВИЙ ВІСНИК**

**Ужгородського університету**

ISSN 2414-0260

*серія*

**ХІМІЯ**

*випуск №1 (41)*

**2019**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**НАУКОВИЙ ВІСНИК  
УЖГОРОДСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
СЕРІЯ «ХІМІЯ»**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

---

---

**ISSN 2414-0260**

**Засновник і видавець: Державний вищий навчальний  
заклад «Ужгородський національний університет»**

*Виходить 2 рази на рік*

**Заснований у жовтні 1996 року**

**Випуск № 1 (41) 2019**

**Ужгород – 2019**

УДК 54  
Н 34



**Науковий вісник Ужгородського університету.  
Серія «Хімія». 2019, Випуск № 1 (41)**

Збірник наукових праць друкує статті, які містять теоретичні та практичні результати в галузі хімічних наук, охорони навколишнього природного середовища, а також методики викладання хімії та екології у вищій школі. Публікуються також огляди сучасного стану важливіших наукових проблем у галузі хімії, огляди наукових конференцій, які відбулися в ДВНЗ «УжНУ», а також матеріали присвячені ювілеям.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Головний редактор:** Барчій І.Є., д.х.н. (Україна)  
**Заступник головного редактора:** Сухарев С.М., д.х.н. (Україна)  
**Члени редколегії:** Антонович В.П., д.х.н. (Україна); Базель Я.Р., д.х.н. (Словаччина); Ворохта М., PhD (Чехія); Драбович Й., д.н. (Польща); Іщенко О.В., д.х.н. (Україна); Марійчук Р.Т., PhD (Словаччина); Мілюкін М.В., д.х.н. (Україна); Онисько М.Ю., к.х.н. (Україна); Онисько П.П., д.х.н. (Україна); П'ясецькі М., PhD (Польща); Переш Є.Ю., д.х.н. (Україна); Пехньо В.І., д.х.н., член-кореспондент НАН України (Україна); Сідей В.І., к.х.н. (Україна); Сливка М.В., к.х.н. (Україна); Студеняк Я.І., к.х.н. (Україна); Федорчук А.О., д.х.н. (Україна)  
**Технічний помічник редактора:** Стерчо І.П., к.х.н. (Україна)

**Свідоцтво про державну реєстрацію** КВ № 21056-10856Р від 07.11.2014 року (раніше КВ №7972 від 09.10.2003 року).

Збірник наукових праць «Науковий вісник Ужгородського університету. Серія хімія» внесений у Список наукових видань, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт (Наказ МОН України № 261 від 06.03.2015 р.; Постанова Президії ВАК України № 1-05/4 від 14.10.2009 р.). Всі статті підлягають незалежному рецензуванню.

*Рекомендовано до друку Вченою радою Державного вищого навчального закладу «Ужгородський національний університет» (Протокол № 6 від 30.05.2019 року) та редакційно-видавничою радою університету (Протокол № 5 від 27.05.2019 року).*

**Адреса засновника та видавця:** ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 88000, м. Ужгород, вул. Підгірна, 46. тел. (03122)33341, факс: (03122)34202; e-mail: official@uzhnu.edu.ua  
**Веб-сайт видання:** [www.visnyk-khim.uzhnu.edu.ua](http://www.visnyk-khim.uzhnu.edu.ua)

**Адреса редакції:**  
88000, м. Ужгород, вул. О. Фединця, 53/1  
тел./факс (+3803122)35091; e-mail: visnyk-khim@uzhnu.edu.ua

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2019

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCES  
OF UKRAINE  
STATE UNIVERSITY  
«UZHHOROD NATIONAL UNIVERSITY»**

**SCIENTIFIC BULLETIN OF THE  
UZHHOROD UNIVERSITY.**

**Series «Chemistry»  
(Sci. Bull. Uzhh. Univ. Ser. Chem.)**

***NAUKOVIJ VÌSNIK UŽGORODS'KOGO  
UNÌVERSITETU. Serìâ «Hìmiâ»***

**COLLECTION OF THE SCIENTIFIC WORKS**

---

---

**ISSN 2414-0260**

**Founder and publisher: State University  
«Uzhhorod National University»**

***Periodicity of 2 times per year***

**Founded in October, 1996**

**Issue № 1 (41) 2019**

**Uzhhorod – 2019**

*Scientific Bulletin of the Uzhhorod University.*  
*Series «Chemistry». 2019, Issue № 1 (41)*

*Naukovij visnik Užgorods'kogo univrsitetu.*  
*Seriâ Himiâ. 2019, Issue № 1 (41)*

The collection of scientific works publishes articles that contain theoretical and practical results in the field of chemical sciences and environmental protection. Topics: inorganic chemistry, material science, analytical chemistry, organic chemistry; physical and colloidal chemistry, ecology, environmental safety.

**EDITORIAL BOARD BY:**

**Editor-in-Chief:**

**Barchij I.**, Dr. Sci., Ukraine

**Deputies of Editor-in-Chief:**

**Sukharev S.**, Dr. Sci., Ukraine

**Members:**

**Antonovich V.**, Dr. Sci., Ukraine; **Bazel Ya.**, Dr. Sci., Slovak Republic; **Drabowicz J.**, Dr. hab., Poland; **Fedorchuk A.**, Dr. Sci., Ukraine; **Ischenko O.**, Dr. Sci., Ukraine; **Mariychuk R.**, PhD, Slovak Republic; **Milyukin M.**, Dr. Sci., Ukraine; **Onysko M.**, PhD, Ukraine; **Onysko P.**, Dr. Sci., Ukraine; **Pekhnyo V.**, Dr. Sci., Corresponding Member of Ukrainian National Academy of Sciences, Ukraine; **Peresh E.**, Dr. Sci., Ukraine; **Piasecki M.**, PhD, Poland; **Sidey V.**, PhD, Ukraine; **Slivka M.**, PhD, Ukraine; **Studeniyak Ya.**, PhD, Ukraine; **Vorokhta M.**, PhD, Czech Republic

**Technical Assistant Editors**

**Stercho I.**, PhD, Ukraine

**Certificate of state registration number KV 21056-10856R from 07.11.2014 (before KV 7972 from 09.10.2003).**

Papers published in **Scientific Bulletin of the Uzhhorod University. Series «Chemistry»** are considered as publications suitable for Doctoral and PhD thesis (Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine from 06.03.2015, № 261; Decree of the Presidium of HAC of Ukraine from 14.10.2009, № 1.05/4). All manuscripts are subject to independent reviewed.

*Recommended for printing of Academic Council State University «Uzhhorod National University» (protocol No. 6 from 30.05.2019) and Editorial and Publishing Council State University «Uzhhorod National University» (protocol No. 6 from 27.05.2019).*

**Address of founder and publisher:** State University «Uzhhorod National University», Pidhirna str. 46, Uzhhorod, 88000, Ukraine. Tel.: (03122)33341, fax: (03122)34202; *e-mail:* [official@uzhnu.edu.ua](mailto:official@uzhnu.edu.ua)

**Website edition:** [www.visnyk-khim.uzhnu.edu.ua](http://www.visnyk-khim.uzhnu.edu.ua)

**Address of release editing's:**

Fedencja str. 53/1, Uzhhorod, 88000, Ukraine  
tel./fax (+3803122)35091; *e-mail:* [visnyk-khim@uzhnu.edu.ua](mailto:visnyk-khim@uzhnu.edu.ua)

## ЗМІСТ (CONTENTS)

<b>2019, Випуск № 1 (41)</b>	<b>Issue № 1 (41)</b>	<b>Стор.</b>
Стецьків А.О., Павлюк В.В. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ КОМПОНЕНТІВ У СИСТЕМІ Sm-Li-Co-Si ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 400°C <i>Stetskiv A., Pavlyuk V. INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF COMPONENT IN THE Sm-Li-Co-Si SYSTEM</i>		5-10
Барчій І.Є., Федорчук А.О., Павлюк В.В., Товт В.О., П'ясецькі М., Стерчо І.П. КРИСТАЛІЧНА БУДОВА ТА ХІМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК У ПРОМІЖНИХ СПОЛУКАХ СИСТЕМИ Tl <sub>2</sub> Se-In <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> Se <sub>4</sub> " <i>Barchiy I.E., Fedorchuk A.A., Pavlyuk V.V., Tovt V.A., Piasecki M., Stercho I.P. CRYSTAL STRUCTURE AND CHEMICAL BOND IN INTERMEDIATE COMPOUNDS OF Tl<sub>2</sub>Se-In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>Se<sub>4</sub>" SYSTEM</i>		11-19
Марчук О.В. СТРУКТУРНИЙ ТИП La <sub>2</sub> PbSi <sub>2</sub> S <sub>8</sub> <i>Marchuk O.V. La<sub>2</sub>PbSi<sub>2</sub>S<sub>8</sub> STRUCTURE TYPE</i>		20-24
Переш Є.Ю., Сідей В.І., Зубака О.В., Перец М.І. СПОЛУКИ A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>9</sub> (A – K, Rb, Cs; B – As, Sb, Bi; C – Cl, Br, I): ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ТА ПРОГНОЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ <i>Peresh E.Yu., Sidey V.I., Zubaka O.V., Perets M.I. THE A<sub>3</sub>B<sub>2</sub>C<sub>9</sub> (A – K, Rb, Cs; B – As, Sb, Bi; C – Cl, Br, I) COMPOUNDS: REGULARITIES AND PREDICTION OF SOME PROPERTIES</i>		25-31
Малаховська Т.О., Глух О.С., Погодін А.І., Філеп М.Й., Сабов М.Ю., Стасюк Ю.М., Барчій І.Є. ФІЗИКО-ХІМІЧНА ВЗАЄМОДІЇ В СИСТЕМІ Tl <sub>4</sub> PbTe <sub>3</sub> -Tl <sub>9</sub> BiTe <sub>6</sub> -TlBiTe <sub>2</sub> <i>Malakhovska T.O., Glukh O.S., Pogodin A.I., Filep M.J., Sabov M.Yu., Stasyuk, Yu M., Barchiy I.E. PHYSICO-CHEMICAL INTERACTION IN THE Tl<sub>4</sub>PbTe<sub>3</sub>-Tl<sub>9</sub>BiTe<sub>6</sub>-TlBiTe<sub>2</sub></i>		32-37
Сабов В.І., Поторій М.В., Кітик І.В., Філеп М.Й., Погодін А.І., Сабов М.Ю. ВЗАЄМОДІЯ КОМПОНЕНТІВ У СИСТЕМАХ AgSbP <sub>2</sub> Se <sub>6</sub> – AgSbSe <sub>2</sub> (Sb <sub>4</sub> (P <sub>2</sub> Se <sub>6</sub> ) <sub>3</sub> ) <i>Sabov V.I., Potorij M.V., Kityk I.V., Filep M.J., Pogodin A.I., Sabov M.Yu. INTERACTION IN THE AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub> (Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>) SYSTEM</i>		38-42
Філеп М.Й., Малаховська Т.О., Погодін А.І., Сабов М.Ю. ВСТАНОВЛЕННЯ КВАЗІБІНАРНИХ ПЕРЕРІЗІВ У ПОТРІЙНІЙ ВЗАЄМНІЙ СИСТЕМІ Tl <sub>2</sub> Se+SnTe↔Tl <sub>2</sub> Te+SnSe <i>Filep M.J., Malakhovska T.O., Pogodin A.I., Sabov M.Yu. DETERMINATION OF THE QUASI BINARY SECTIONS IN THE TERNARY RECIPROCAL SYSTEM Tl<sub>2</sub>Se+SnTe↔Tl<sub>2</sub>Te+SnSe</i>		43-48
Скрипинець Ю.В., Єгорова А.В., Войтюк О.Д., Антонович В.П. ЛЮМІНЕСЦЕНТНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ДОЛУТЕГРАВІРУ НАТРІЮ В ТАБЛЕТКАХ <i>Scrypynets Yu.V., Yegorova A.V., Voitiuk O.D., Antonovich V.P. LUMINESCENT DETERMINATION OF DOLUTEGRAVIR SODIUM IN TABLETS</i>		49-55
Сухарева О.Ю., Симканич О.І., Сухарев С.М. ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНОГО ВМІСТУ АЛЬДЕГІДІВ У СНІГОВОМУ ПОКРИВІ ЯК ІНДИКАТОРА СТАНУ ПОВІТРЯ МІСТ <i>Sukhareva O.Yu., Symkanich O.I., Sukharev S.M. DETERMINATION OF THE TOTAL ALDEHYDES CONTENT IN THE SNOW COVER AS AN INDICATOR OF URBAN AIR STATUS</i>		56-60
Волянська О.В., Мироняк М.О., Манзюк М.В., Лабяк О.В., Ніколенко М.В. МЕМБРАННИЙ ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ СЕНСОР ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕТОНІУ <i>Volnyanska O.V., Mironyak M.O., Manzyuk M.V., Labyak O.V., Nikolenko M.V. MEMBRANE POTENTIOMETRIC SENSOR FOR ETONIUM DETERMINATION</i>		61-67
Калініченко А.О., Арсеньєва Л.Ю. МАС-ЧУТЛИВИЙ СЕНСОРНИЙ МАСИВ ТА МЕТОД РЕГРЕСІЇ НА ЛАТЕНТНІ СТРУКТУРИ ДЛЯ ЕКСПРЕС-ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ МІКРООРГАНІЗМІВ КОВБАС <i>Kalinichenko A.A., Arseniyeva L.U. MASS-SENSITIVE SENSOR ARRAY AND PARTIAL LEAST SQUARES REGRESSION FOR RAPID DETERMINATION OF TOTAL MICROORGANISM NUMBER IN SAUSAGES</i>		68-75
Теличка В.С., Фізер О.І., Фізер М.М., Русин І.Ф., Лендел В.Г. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЛОКАЛІЗАЦІЇ ЗАРЯДУ У ЧЕТВЕРТИННИХ АМОНІЄВИХ КАТІОНАХ НА ПРИКЛАДІ ЦЕТИЛПІРИДИНІУ <i>Telychka V.S., Fizer O.I., Fizer M.M., Rusyn I.F., Lendel V.G. THEORETICAL INVESTIGATION OF CHARGE DELOCALIZATION IN QUATERNARY AMMONIUM CATIONS IN THE CASE OF CETYLPYRIDINIUM</i>		76-80

Григорка Г.В., Фізер М.М., Фізер О.І., Сливка М.В., Фаринюк Ю.І., Лендел В.Г. СИНТЕЗ, СПЕКТРАЛЬНЕ ТА ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ 5-(2-ГІДОКСИФЕНІЛ)-4-МЕТАЛІЛ-1,2,4-ТРИАЗОЛ-3-ТІОНУ	81-85
<i>Hryhorka H.V., Fizer M.M., Fizer O.I., Slivka M.V., Faryniuk Yu.I., Lendel V.G. TAUTOMERIC FORMS OF 5-(2-HYDROXYPHENYL)-4-METHYL-1,2,4-TRIAZOLE-3-THIONE: SPECTRAL AND THEORETICAL STUDIES</i>	
Кут М.М., Онисько М.Ю., Лендел В.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ АРИЛТЕЛУРТРИХЛОРИДІВ З 2-S-АЛКЕНІЛЬНИМИ ПОХІДНИМИ ХІНАЗОЛОНУ	86-89
<i>Kut M., Onysko M., Lendel V. INVESTIGATION OF INTERACTION OF 2-S-ALKENYL DERIVATIVE QUINASOLONE ARYLTELLURIUM TRICHLORIDES</i>	
Кут М.М., Онисько М.Ю., Лендел В.Г. ЕЛЕКТРОФІЛЬНА ЦИКЛІЗАЦІЯ 6-МЕТАЛІЛТІО-5-ФЕНІЛ-1,5-ДИГІДРО-4Н-ПІРАЗОЛО[3,4-d]ПІРИМІДІН-4-ОНУ <i>n</i> -МЕТОКСИФЕНІЛТЕЛУР-ТРИХЛОРИДОМ	90-93
<i>Kut M., Onysko M., Lendel V. ELECTROPHILE CYCLIZATION OF 6-METHALLYTHIO-5-PHENYL-1,5-DIGIDRO-4H-PYRAZOLO[3,4-d]PYRIMIDIN-4-ON BY p-METOXYPHENYLTELLURIUM TRICHLORIDE</i>	
Мільович С.С., Гомонай В.І., Фізер М.М., Сідей В.І. ІОНООБМІННА СОРБЦІЯ ІОНІВ ДЕЯКИХ МЕТАЛІВ НА КЛИНОПТИЛОЛІТІ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ТА ҐРУНТІВ. ТЕОРЕТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	94-99
<i>Milyovich S.S., Gomonaj V.I., Fizer M.M., Sidey V.I. ION-EXCHANGE SORPTION OF SOME METAL IONS ON CLINOPOTHYLOLITE FROM WATER SOLUTIONS AND SOILS. THEORETICAL CALCULATIONS AND EXPERIMENTAL STUDIES</i>	
Вашкеба Н.Б., Козьма А.А., Голуб Н.П., Голуб Є.О., Гомонай В.І. ТЕРМОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПІРОФОСФАТУ КАЛЬЦІЮ Ca <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub> : ПОРІВНЯННЯ РІЗНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ОДЕРЖАННЯ НОВИХ ДАНИХ	100-105
<i>Vashkeba N.B., Kozma A.A., Golub N.P., Golub E.O., Gomonaj V.I. THERMODYNAMIC PROPERTIES OF CALCIUM PYROPHOSPHATE Ca<sub>2</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: COMPARISON OF DIFFERENT RESULTS AND OBTAINING OF NEW DATA</i>	
Чундак С.Ю., Роман Л.Ю., Горбей В.І. МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ВОДИ РІЧКИ ЛЮТА	106-111
<i>Roman L.Yu., Chundak S.Yu., Gorbey V.I. ENVIRONMENTAL MONITORING OF THE LUTA RIVER WATER STATE</i>	
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ	112-115
ЗМІСТ	116-117

УДК: 546.544.016+546.55+546.86+546.18+546.23

<sup>1,2</sup>Сабов В.І., н.с.; <sup>2</sup>Поторій М.В., д.х.н., проф.; <sup>3</sup>Кітик І.В., д.ф.-м.н., проф.;  
<sup>1</sup>Філеп М.Й., к.х.н., с.н.с.; <sup>1</sup>Погодін А.І., к.х.н., с.н.с.; <sup>2</sup>Сабов М.Ю., к.х.н., доц.

## ВЗАЄМОДІЯ КОМПОНЕНТІВ У СИСТЕМАХ AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub> (Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>)

<sup>1</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», НДІ Фізики і хімії твердого тіла,  
88000, м. Ужгород, вул. Волошина 54;

<sup>2</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Кафедра неорганічної хімії,  
88000, м. Ужгород, вул. Підгірна 46;

<sup>3</sup>Faculty of Electrical Engineering, Czestochowa University Technology, Armii Krajowej  
17, PL-42201, Czestochowa, Poland  
e-mail: vitasabov@gmail.com

### Вступ

Система Ag–Sb–P–Se характеризується наявністю в ній ряду складних напівпровідникових фаз. Серед них AgSbSe<sub>2</sub>, що утворюється у системі Ag<sub>2</sub>Se – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> і відноситься до відомого класу напівпровідникових сполук Me<sup>I</sup>V<sup>C</sup>VI<sub>2</sub> (Me<sup>I</sup> – Tl, Cu, Ag; V<sup>C</sup> – Sb, Bi; C<sup>VI</sup> – S, Se, Te). AgSbSe<sub>2</sub> є вузькозонним напівпровідником, з високим коефіцієнтом термо-ЕРС та низькою теплопровідністю, кристалізується у структурному типі NaCl (просторова група (ПГ) *Fm-3m*), де позиції атомів металу статистично заповнюють атоми аргентуму та стибію, плавиться конгруентно при 883 К [1, 2]. Останні роки значний практичний інтерес викликають тверді розчини на основі AgSbSe<sub>2</sub>, оскільки модифікацією елементного складу, зокрема частковою заміною стибію на станум чи плюмбум або селен на телур вдається покращити термоелектричну потужність матеріалів та/або змінити температурний інтервал максимального термоелектричного ефекту [3-5].

Згідно літературних даних у системі Ag–Sb–P–Se також утворюються термічно стабільні сполуки AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> та Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>, які належать до сімейства селеногіподифосфатів. Для них характерним є утворення тернарних Me<sup>I</sup><sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>, Me<sup>II</sup><sub>2</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>, Me<sup>III</sup><sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub> та тетрарних Me<sup>I</sup>Me<sup>III</sup>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> сполук, де Me<sup>I</sup> – Ag, Cu, Tl; Me<sup>II</sup> – Ti, Sn, Pb; Me<sup>III</sup> – In, Sb, Bi. Об'єднуючим фактором для них є наявність селеногіподифосфатного [P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>]<sup>4-</sup> структур-

ного фрагменту та шарувата 2D-структура. Широка варіативність складових компонентів та особливості кристалічної структури зумовлюють наявність у них різноманітних фізичних властивостей, пов'язаних із такими явищами як спонтанна поляризація, магнітні, іонного транспорту [6]. Сполука AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> плавиться конгруентно при 741 К [7]. Стосовно її кристалічної структури є певні незгодженості в літературі. Згідно [8] вона кристалізується в моноклінній сингонії, ПГ *C2/m* з параметрами ґратки: *a*=6.20(2) Å, *b*=10.73(3) Å, *c*=6.90(2) Å, β=107.34<sup>0</sup>(9). У літературі, також є відомості щодо ромбоєдричної модифікації (ПГ *R-3*, *a* = 6.601(1) Å, *c* = 39.742(3) Å) [7]. Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub> плавиться конгруентно при 653 К, кристалічна структура належить до моноклінної сингонії (ПГ *P2<sub>1</sub>/c*, параметри елементарної комірки: *a*=20.7770(40) Å, *b*=7.4935(5) Å, *c*=9.4949(8) Å, β=90.91.25(1)) [9].

Слід також відмітити, що в науковому і практичному аспекті викликає інтерес поєднання різноманітних фізичних властивостей у функціональних матеріалах. Це досягається одержанням як гомогенних фаз шляхом варіювання стехіометричного складу (тверді розчини), так гетерогенних фаз – варіювання фазового складу (композити, зокрема евтектичні суміші).

Враховуючи сказане, метою даного дослідження було встановити умови співіснування фаз у системах на основі сполук AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> та AgSbSe<sub>2</sub>(Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>).



### Експериментальна частина

Синтез вихідних сполук здійснювали з елементарних речовин високої чистоти: срібло (99.999 мас.%), сурма (99.999 мас.%), фосфор (99.999 мас.%) та селен (99.999 мас.%), взятих у стехіометричному співвідношенні. Синтез проводився у вакуумованих до 0.13 Па кварцових ампулах традиційним однотемпературним методом. Температура синтезу була на 40-50 К вище температури плавлення найбільш тугоплавкого компоненту, включаючи продукти взаємодії. Нагрів здійснювали із швидкістю 80 К за годину. При температурі 670 К робили невелику витримку до повного зв'язування фосфору та селену. Гомогенізуючий відпал проводили при температурі 573 К протягом 120 годин. Ідентифікацію вихідних компонентів здійснювали методами диференціального термічного (ДТА) (хромель/алюмелева комбінована термопара, швидкість нагрівання та охолодження 600 К/год.) та рентгенівського фазового (РФА) (ДРОН 4-07, випромінювання  $\text{Cu K}\alpha$ , швидкість сканування кута  $2\theta$  - 0.02 град., експозиція 0.5 с) аналізів. Результати ДТА та РФА підтвердили ідентичність потрібних вихідних компонентів.

Синтез сплавів здійснювали аналогічним методом. Максимальна температура синтезу становила 900 К. Нагрів проводили безперервно, із швидкістю 100 К за годину. Відпал здійснювали при 573 К протягом 240 годин. Зразки загартовували при 273 К.

### Результати та обговорення

Зразки систем  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  –  $\text{AgSbSe}_2(\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3)$  досліджували термографічно та методом порошкової дифрактометрії. Зазначимо, що інтерпретація порошкограм була ускладнена деякими факторами. Шаруватість структури  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  та  $\text{AgSbSe}_2$  приводить до того, що у зразків із їх високим вмістом, рефлексії, що відповідають площинам спайності подавляють менш інтенсивні, а схильність до скоутворення  $(\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3)$  спричиняє високий фон на порошкограмах. Однак, незважаючи на це, поєднання методів ДТА та РФА дало

зможу визначити характер взаємодії у системах  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  та  $\text{AgSbSe}_2(\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3)$ .

Система  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  –  $\text{AgSbSe}_2$  належить до евтектичного типу із граничними твердими розчинами на основі вихідних компонентів. Розчинність на основі  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  близько 5 мол.%, а на основі  $\text{AgSbSe}_2$  близько 8 мол.%, що підтверджується даними РФА (рис. 1).

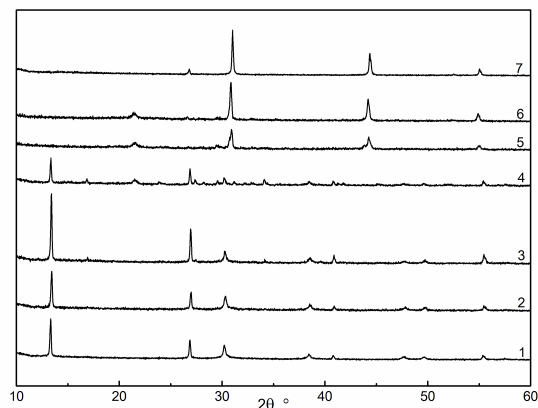


Рис. 1. Дифрактограми системи  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  –  $\text{AgSbSe}_2$ :

1 –  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 2 – 95 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 3 – 90 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 4 – 50 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 5 – 10 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 6 – 5 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 7 –  $\text{AgSbSe}_2$ .

Гілки первинної кристалізації у системі перетинаються у точці евтектики із координатами 724 К, ~33 мол.%  $\text{AgSbSe}_2$  (рис. 2).

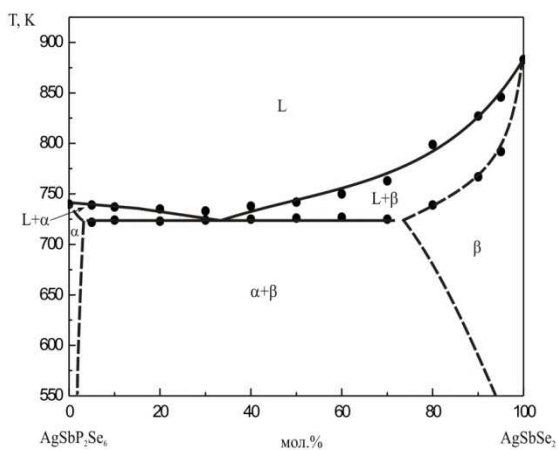


Рис. 2. Фазова діаграма системи  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  –  $\text{AgSbSe}_2$ .

Область гомогенності вихідної сполуки  $\text{AgSbSe}_2$  із зростанням температури сильно розширюється і при евтектичній температурі складає до 30 мол.%, тоді, як для  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  таке не спостерігається. Більша розчинність

стороннього компонента в  $\text{AgSbSe}_2$  пов'язана із особливостями її кристалічної структури. Незважаючи на те, що структура  $\text{AgSbSe}_2$  високосиметрична (кубічна сингонія, ПГ  $Fm\bar{3}m$ ), щодо заповнюваності позицій вона є розупорядкованою, адже атоми металів займають одну кристалографічну позицію. У свою чергу, будь-яке розупорядкування у кристалічній структурі збільшує схильність до формування твердих розчинів на основі таких структур.

У системі  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ , аналогічно до попередньої, було синтезовано 13 зразків разом із вихідними сполуками. Одержані зразки являли собою компактні злитки із досить тьмяним металевим блиском. Результати РФА синтезованих зразків показали, що у всіх зразках, крім вихідних сполук, наявні системи рефлексів двох фаз, що відповідають  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  та  $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$  (рис. 3).

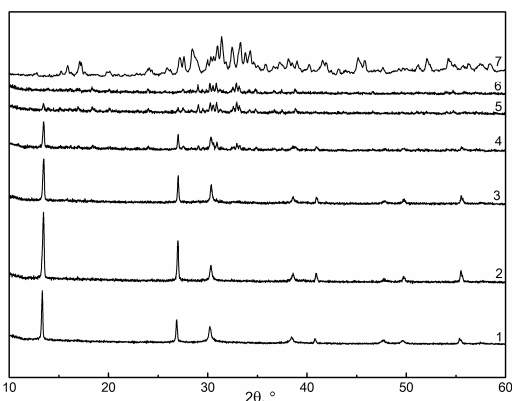


Рис. 3. Дифрактограми системи  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ :

1 –  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 2 – 95 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 3 – 90 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 4 – 50 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 5 – 10 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 6 – 5 мол.%  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ ; 7 –  $\text{AgSbSe}_2$ .

Рефлекси, що відповідали б стороннім фазам на дифрактограмах зразків системи  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$  не виявлено. На термограмах зразків всередині системи спостерігались по два ендотермічних ефекти. При цьому, температура низькотемпературного ендотермічного ефекту практично не змінювалась у всьому концентраційному інтервалі (5 – 95 мол.%), що свідчило про евтектичний характер взаємодії (рис. 4). Відсутність чіткого ендотермічного ефекту, що відповідає ліквідусу системи у зразках збагачених  $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$  (90 та 95 мол.%

$\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ ) пов'язано із близькістю температур ліній солідусу та ліквідусу на цій ділянці діаграми стану.

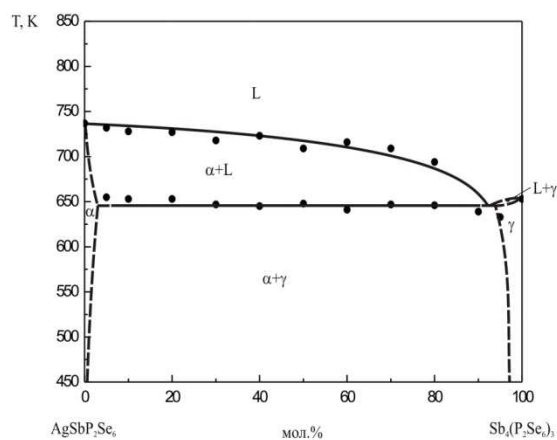


Рис. 4. Фазова діаграма системи  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ .

Нонваріантна евтектична точка знаходиться зі сторони  $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ , координати її становлять 646 К, ~96 мол.%  $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$  (рис. 4).

Області розчинності на основі вихідних компонентів при температурі відпалу не перевищують 5 мол.%.

## Висновки

Методами ДТА та РФА досліджено синтезовані із відповідних вихідних компонентів зразки систем  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2(\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3)$ . Встановлено, що обидві системи відносяться до евтектичного типу із граничними твердими розчинами на основі вихідних компонентів. При температурі відпалу (573 К) значима розчинність спостерігається у системі  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$ , особливо зі сторони  $\text{AgSbSe}_2$  (близько 8 мол.%). Встановлено координати нонваріантних евтектичних процесів, що становлять 724 К, ~33 мол.  $\text{AgSbSe}_2$  (система  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ) та 646 К, ~96 мол.%  $(\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$  (система  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ ).

## Список використаних джерел

1. Лазарев В.Г., Беруль С.И., Салов А.В. Тройные полупроводниковые соединения в системах  $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{V}}\text{C}^{\text{VI}}$ . Москва: Наука, 1982.
2. Abdelghany A., Elsayed S.N., Abdelwahab D.M., Abou El Ela A.H., Mousa N.H. Electrical conductivity and thermoelectric power of  $\text{AgSbSe}_2$  in

the solid and liquid state. *Mater. Chem. Phys.* 1996, 44, 277–280.

3. Wojciechowski K., Schmidt M., Tobola J., Koza M., Olech A., Zybala R. Influence of Doping on Structural and Thermoelectric Properties of AgSbSe<sub>2</sub>. *Journal of Electronic Materials.* 2010, 39(9), 2053–2058.

4. Schmidt Maksymilian, Zybala Rafal, Wojciechowski Krzysztof T. Structural and Thermoelectric Properties of AgSbSe<sub>2</sub>-AgSbTe<sub>2</sub> System. *Ceramic Materials.* 2010, 62(4), 465–470.

5. Ragimov S.S., Saddinova A.A. Transport properties of (AgSbSe<sub>2</sub>)<sub>0.9</sub>(PbTe)<sub>0.1</sub>. *Azerbaijan Journal of Physics.* 2016, XXII(4), 13–15.

6. Susner M.A., Chyashnavichyus M., McGuire M.A., Ganesh P., Maksymovych P. Metal Thio- and

Selenophosphates as Multifunctional van der Waals Layered Materials. *Advanced Materials.* 2017, 29, 1602852.

7. Seidlmayer Stefan. Strukturchemische Untersuchungen an hexachalkogenohypodiphosphaten und verwandten Verbindungen. *Dissertation.* 2009, 301 p.

8. Galdamez A., Manriquez V., Kasaneva J., Avila R.E. Synthesis, characterization and electrical properties of quaternary selenodiphosphates: AMP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> with A=Cu, Ag and M=Bi, Sb. *Materials Research Bulletin.* 2003, 38, 1063–1072.

9. Ruck M. Darstellung und Kristallstruktur der Hexaselenodiphosphate(IV) von Antimon und Bismut. *Zeitschrift fuer Anorganische und Allgemeine Chemie.* 1995, 621, 1344–1350.

Стаття надійшла до редакції: 09.04.2019.

## INTERACTION IN THE AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub> (Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>) SYSTEM

<sup>1</sup>Sabov V.I., <sup>2</sup>Potorij M.V., <sup>3</sup>Kityk I.V., <sup>1</sup>Filep M.J., <sup>1</sup>Pogodin A.I., <sup>2</sup>Sabov M.Yu.

<sup>1</sup>*Uzhhorod National University, Research institute of physics and chemistry of solid states, 88000, Uzhhorod, Voloshyna str. 54;*

<sup>2</sup>*Uzhhorod National University, Department of inorganic chemistry, 88000, Uzhhorod, Pidhirna str. 46;*

<sup>3</sup>*Faculty of Electrical Engineering, Czestochowa University Technology, Armii Krajowej 17, PL-42201, Czestochowa, Poland  
e-mail: vitasabov@gmail.com*

The purpose of the study was to determine the interaction in the systems based on the compounds AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> and AgSbSe<sub>2</sub> (Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>). To achieve the goal, 13 samples were synthesized in the AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub>(Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>) systems. Synthesis was carried out in evacuated up to 0.13 Pa quartz ampoules. The initial materials were pre-synthesized AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>, AgSbSe<sub>2</sub> and Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>. Their synthesis was carried out from high purity elementary components taken in a stoichiometric ratio. The maximum temperature of synthesis was 40-50 K above the melting point of components, including the products of interaction. Homogenizing annealing was conducting at the temperature 573 K for 120 hours. The identification was carried out by differential thermal analysis (DTA) and X-ray powder diffraction (XRD) (DRON 4.07, Cu K $\alpha$  radiation). Synthesis of alloys was carried out in a similar way. The maximum temperature of the synthesis was 900 K. Annealing was carried out at 573 K for 240 hours. The obtained samples were investigated by DTA and XRD methods. The AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub> system belongs to the eutectic type with boundary solid solutions based on the starting components. The solubility on the AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> side is about 5 mol.%, and on AgSbSe<sub>2</sub> – about 8 mol.%. The primary crystallization lines in the system intersect at the eutectic point with coordinates 724 K, ~ 33 mol.% AgSbSe<sub>2</sub>. The homogeneity region of AgSbSe<sub>2</sub> with increasing temperature is strongly expanding and at an eutectic temperature up to 30 mol.%, whereas this is not observed for AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>. The synthesized samples in AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub> system were compact ingots with a rather dim metallic shine. The indexing of the X-ray powder diffractograms show that two phases AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> and Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub> are exist in the system. On the thermograms of samples two endothermic effects were observed. The temperature of the low-temperature endothermic effect practically did not

change in the whole concentration range (5 – 95 mol.%), which indicated the eutectic interaction. Invariant eutectic point is located on the side of  $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ , its coordinates are 646 K, ~ 96 mol.%  $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ . The solubility areas based on the initial components at annealing temperature do not exceed 5 mol%.

**Keywords:** differential thermal analysis; X-ray powder diffraction; eutectic type system; boundary solid solution; eutectic point.

### References

1. Lazarev V.G., Berul S.I., Salov A.V. Troynye poluprovodnikovye soyedineniya v sistemakh  $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{V}}\text{C}^{\text{VI}}$ . Moskva: Nauka, 1982 (in Russ.).
2. Abdelghany A., Elsayed S.N., Abdelwahab D.M., Abou El Ela A.H., Mousa N.H. Electrical conductivity and thermoelectric power of  $\text{AgSbSe}_2$  in the solid and liquid state. *Mater. Chem. Phys.* 1996, 44, 277–280.
3. Wojciechowski K., Schmidt M., Tobola J., Koza M., Olech A., Zybala R. Influence of Doping on Structural and Thermoelectric Properties of  $\text{AgSbSe}_2$ . *Journal of Electronic Materials.* 2010, 39(9), 2053–2058.
4. Schmidt Maksymilian, Zybala Rafal, Wojciechowski Krzysztof T. Structural and Thermoelectric Properties of  $\text{AgSbSe}_2$ - $\text{AgSbTe}_2$  System. *Ceramic Materials.* 2010, 62(4), 465–470.
5. Ragimov S.S., Saddinova A.A. Transport properties of  $(\text{AgSbSe}_2)_{0.9}(\text{PbTe})_{0.1}$ . *Azerbaijan Journal of Physics.* 2016, XXII(4), 13–15.
6. Susner M.A., Chyasnovichyus M., McGuire M.A., Ganesh P., Maksymovych P. Metal Thio- and Selenophosphates as Multifunctional van der Waals Layered Materials. *Advanced Materials.* 2017, 29, 1602852.
7. Seidlmayer Stefan. Strukturchemische Untersuchungen an hexachalkogenohypodiphosphaten und verwandten Verbindungen. *Dissertation.* 2009, 301 p.
8. Galdamez A., Manriquez V., Kasaneva J., Avila R.E. Synthesis, characterization and electrical properties of quaternary selenodiphosphates:  $\text{AMP}_2\text{Se}_6$  with  $\text{A}=\text{Cu}, \text{Ag}$  and  $\text{M}=\text{Bi}, \text{Sb}$ . *Materials Research Bulletin.* 2003, 38, 1063–1072.
9. Ruck M. Darstellung und Kristallstruktur der Hexaselenodiphosphate(IV) von Antimon und Bismut. *Zeitschrift fuer Anorganische und Allgemeine Chemie.* 1995, 621, 1344–1350.