

УДК: 546.55+546.86+546.18+546.23+544.016

<sup>1</sup>Сабов В.І., н.с.; <sup>1</sup>Барчій І.С., д.х.н., проф.; <sup>2</sup>П'ясецькі М., PhD, 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>1</sup>Сабов М.Ю., к.х.н., доц.

## ФОРМУВАННЯ КВАЗІБІНАРНИХ ПЕРЕРІЗІВ В СИСТЕМІ Ag – Sb – P – Se

<sup>1</sup>ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Кафедра неорганічної хімії,  
88000, м. Ужгород, вул. Підгірна 46;  
<sup>2</sup>Університет ім. Яна Длугоша,  
42200, Ченстохова, вул. Армії Крайової 13/15, Польща;  
e-mail: vitasabov@gmail.com

При вивченні природи фізико-хімічних взаємодій у системі Ag – Sb – P – Se основна увага приділялася системам на основі AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> за участю стабільних подвійних і потрійних сполук. Передбачалося, що перерізи на основі стабільних сполук будуть квазібінарними. Проте було доведено неквазібінарність систем Ag<sub>2</sub>Se – AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> та Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> – AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>. Останній перетинає дві квазітернарні системи Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub> – Se і Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – Se та проходить через три квазітетрарні системи. Квазітернарні та квазітетрарна системи утворені наступними квазібінарними перерізами: Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> – Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>, Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub>, Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> – Se, Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub>, Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Se, AgSbSe<sub>2</sub> – Se, Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, AgSbSe<sub>2</sub> – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – Se, AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>, AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>, AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Se. За попередніми даними, переріз Ag<sub>2</sub>Se – AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> перетинає одну квазітернарну (Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub> – Ag) та одну квазібінарну систему (Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – AgSbSe<sub>2</sub>). Проте не було враховано, що переріз Ag<sub>2</sub>Se – AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> перетинає квазібінарний переріз Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. Уточнюючий аналіз даних підтвердив, що перетин Ag<sub>2</sub>Se – AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> перетинає вищевказані квазітернарну та дві квазібінарні системи. Уточнюючий аналіз даних, щодо характеру взаємодії на перерізі Ag<sub>2</sub>Se – AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> підтвердила квазібінарність чотирьох систем (Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> – Ag<sub>2</sub>Se, Ag<sub>2</sub>Se – Ag, Ag<sub>2</sub>Se – AgSbSe<sub>2</sub> та Ag – AgSbSe<sub>2</sub>) та додатково системи AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> – Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub>. Таким чином, було встановлено квазібінарність сімнадцяти перерізів. Слід зазначити, що деякі з них були відомі в літературі. Перерізи Ag<sub>2</sub>Se – Ag та Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> – Se є частковими подвійних систем Ag – Se та Sb – Se відповідно, а перерізи Ag<sub>2</sub>Se – AgSbSe<sub>2</sub> та AgSbSe<sub>2</sub> – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> є частковими квазібінарного перерізу Ag<sub>2</sub>Se – Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub>. Примітно, що AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> не утворює квазібінарних перерізів із срібловмісними сполуками. Виняток становить Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>, який часто є кінцевим, іноді проміжним продуктом взаємодії AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> з іншими срібловмісними сполуками.

**Ключові слова:** фізико-хімічна взаємодія; квазібінарний розріз; фазовий склад.

Вивчення селенофосфатів з нелінійно оптичними, скінтіляційними, термоелектричними властивостями є цікавим з точки зору пошуку нових матеріалів. Зокрема, дослідження сполуки AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> довели її перспективність у якості елемента оптоелектронних пристроїв ІЧ області [1]. Сполука AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> формується у почетверній системі Ag–Sb–P–Se, в якій, окрім неї реалізується ще ряд бінарних та тетрарних фаз перспективних з точки зору їх практичного використання. Так, AgSbSe<sub>2</sub>, Sb<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> та Ag<sub>2</sub>Se володіють високими

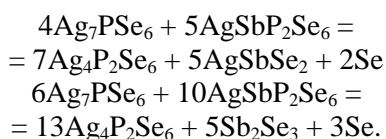
параметрами термоелектричної ефективності [2-5], Ag<sub>2</sub>Se та Ag<sub>7</sub>PSe<sub>6</sub> є суперіоніками зі змішаною електронно-іонною провідністю [6,7]. Ag<sub>4</sub>P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> та Sb<sub>4</sub>(P<sub>2</sub>Se<sub>6</sub>)<sub>3</sub> разом із згаданою вище AgSbP<sub>2</sub>Se<sub>6</sub> є представниками гексахалькогіподифосфатів, що проявляють різноманітні оптоелектричні та нелінійнооптичні властивості [8].

Можливість поєднання різних властивостей матеріалів в межах однієї системи спонукало дослідження характеру фізико-хімічної взаємодії у системах за участю стабільних тетрарної, тернарних та

бінарних фаз. Враховуючи те, що  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  плавиться конгруентно та займає місце всередині системи  $\text{Ag-Sb-P-Se}$ , основна увага приділялась системам на її основі за участю стабільних бінарних та тетраарних сполук [9-11]. Передбачалося, що перерізи за участю стабільних сполук будуть квазібінарними. Однак, було доведено неквазібінарність перерізів  $\text{Ag}_2\text{Se-AgSbP}_2\text{Se}_6$  та  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6\text{-AgSbP}_2\text{Se}_6$  [10, 11], що вказувало на складну взаємодію у системі  $\text{Ag-Sb-P-Se}$ . Складнощі викликало формування в процесі синтезу багатокомпонентних сумішей, визначення фазового складу яких ускладнювалося наявністю рефлексів на порошкограмах різних фаз при однакових кутах. У зв'язку з цим, доцільним стало узагальнити експериментальні дані щодо характеру фізико-хімічної взаємодії на перерізах системи  $\text{Ag-Sb-P-Se}$ . Це дозволило би встановити квазібінарні, квазітернарні та квазітетраарні системи в межах системи  $\text{Ag-Sb-P-Se}$ , що і стало метою цієї роботи.

Перш за все необхідно зазначити, що оскільки фазовий склад у всіх системах визначався для відпалених у твердому стані зразків, то встановлені квазібінарні, квазітернарні та квазітетраарні системи, однозначно є такими у підсолідусній частині відповідних систем.

За результатами комплексного дослідження у всьому концентраційному інтервалі встановлено неквазібінарність перерізу  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ . Згідно [11] переріз перетинає дві квазітернарні системи  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Se}$  та  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ . Квазітернарність їх доведено фазовим аналізом зразків складу, що відповідають точкам перетину перерізу  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  і систем  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Se}$  та  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ , синтезованих із  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6$  та  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ . У відповідних точках перетину відбуваються наступні хімічні реакції:



Інші зразки перерізу виявилися чотирифазними, у кожному із яких окрім трьох складних сполук було виявлено селен.

Тому логічно було припустити, що названі квазітернарні системи є системоформуючими та розділяють наступні квазітетраарні системи:  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Se}$ ;  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ ;  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ . Перераховані квазітетраарні системи формуються відповідними квазібінарними перерізами (рис. 1).

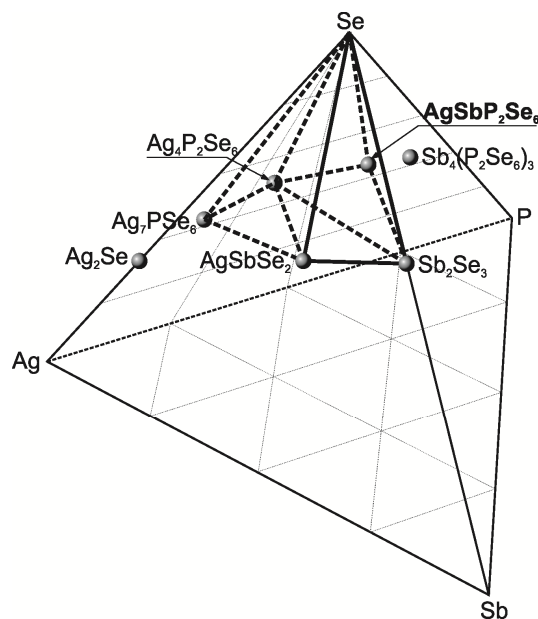
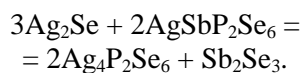
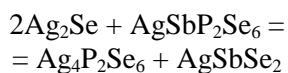
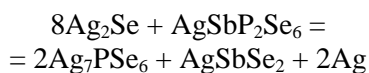


Рис. 1. Квазібінарні системи  $\text{Ag-Sb-P-Se}$  встановлені за даними [11].

Отже, в результаті було підтверджено квазібінарність дванадцяти перерізів системи  $\text{Ag-Sb-P-Se}$ :  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6$ ,  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ,  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{Se}$ ,  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ,  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Se}$ ,  $\text{AgSbSe}_2 - \text{Se}$ ,  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{AgSbSe}_2 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ ,  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6$ ,  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Se}$ , що формують названі вище квазітернарні та квазітетраарні системи.

При дослідженні перерізу  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  було встановлено, що він також не є квазібінарним та перетинає одну квазітернарну ( $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Ag}$ ) та одну квазібінарну систему ( $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ) [10]. Однак, не враховано те, що система  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  також перетинає систему  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ , яка згідно [11] є квазібінарною. Уточнюючий аналіз даних підтвердив, що переріз  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  перетинає вище наведені квазітернарну та дві квазібінарні системи.

У точках перетину перерізу  $Ag_2Se - AgSbP_2Se_6$  із  $Ag_7PSe_6 - AgSbSe_2 - Ag$  квазітернарною та  $Ag_4P_2Se_6 - AgSbSe_2$  і  $Ag_4P_2Se_6 - Sb_2Se_3$  квазібінарними системами відбуваються відповідні хімічні реакції:



Система  $Ag_7PSe_6 - AgSbSe_2 - Ag$  є спільною гранню двох квазітернарних систем, а саме  $Ag_7PSe_6 - AgSbSe_2 - Ag_2Se - Ag$  та  $Ag_7PSe_6 - AgSbSe_2 - Ag_4P_2Se_6 - Ag$ , система  $Ag_4P_2Se_6 - AgSbSe_2$  спільним ребром квазітетраної системи  $Ag_7PSe_6 - AgSbSe_2 - Ag_4P_2Se_6 - Ag$  та квазітернарної  $AgSbSe_2 - Ag_4P_2Se_6 - Sb_2Se_3$ , а система  $Ag_4P_2Se_6 - Sb_2Se_3$  спільною гранню двох квазітернарних систем  $AgSbSe_2 - Ag_4P_2Se_6 - Sb_2Se_3$  та  $AgSbP_2Se_6 - Ag_4P_2Se_6 - Sb_2Se_3$ .

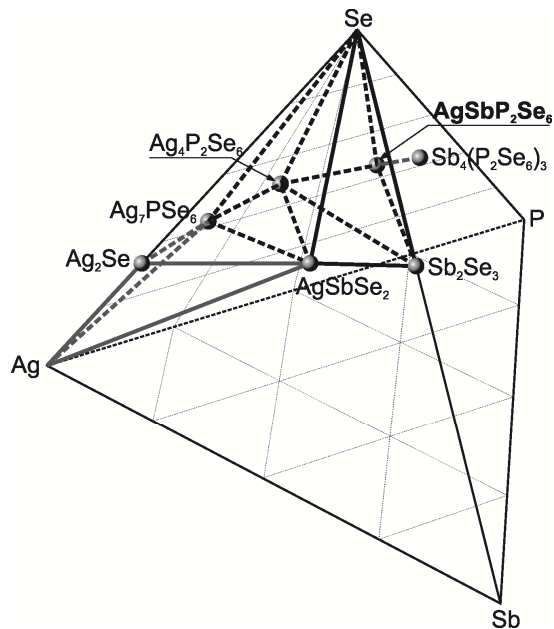


Рис. 2. Квазібінарні системи  $Ag-Sb-P-Se$  встановлені за даними [9-11].

Таким чином, за результатами дослідження характеру взаємодії на перерізі  $Ag_2Se - AgSbP_2Se_6$  вдалося підтвердити додатково до виявлених дванадцяти, ще чотири квазібінарні системи ( $Ag_7PSe_6 -$

$Ag_2Se, Ag_2Se - Ag, Ag_2Se - AgSbSe_2$  та  $Ag - AgSbSe_2$ ) а із урахуванням [9], ще однієї  $AgSbP_2Se_6 - Sb_4(P_2Se_6)_3$  (рис. 2).

Отже, за результатами аналізу даних [9-11] встановлено квазібінарність сімнадцяти перерізів. Слід зауважити, що частина із них відомі в літературі. Так системи  $Ag_2Se - Ag$  та  $Sb_2Se_3 - Se$  є підсистемами подвійних систем  $Ag - Se$  та  $Sb - Se$ , відповідно, системи  $Ag_2Se - AgSbSe_2$  та  $AgSbSe_2 - Sb_2Se_3$  є підсистемами квазібінарної системи  $Ag_2Se - Sb_2Se_3$ .

Відтак, по факту встановлено квазібінарність тринадцяти систем у почотверній системі  $Ag-Sb-P-Se$ , а саме:  $Ag_7PSe_6 - Ag_4P_2Se_6, Ag_7PSe_6 - AgSbSe_2, Ag_7PSe_6 - Se, Ag_4P_2Se_6 - AgSbSe_2, Ag_4P_2Se_6 - Se, AgSbSe_2 - Se, Ag_4P_2Se_6 - Sb_2Se_3, AgSbP_2Se_6 - Ag_4P_2Se_6, AgSbP_2Se_6 - Sb_2Se_3, AgSbP_2Se_6 - Se, Ag_7PSe_6 - Ag_2Se, Ag - AgSbSe_2$  та  $AgSbP_2Se_6 - Sb_4(P_2Se_6)_3$ . Звертає на себе увагу і те, що тетрарна сполука  $AgSbP_2Se_6$  не формує із срібловміщуючими складними сполуками квазібінарні системи. Винятком є  $Ag_4P_2Se_6$ , який найчастіше є кінцевим, рідше проміжним продуктом взаємодії  $AgSbP_2Se_6$  із іншими срібловміщуючими сполуками.

### Список використаних джерел

1. Tuan V. Vu, Lavrentyev A.A., Gabrelian B.V., Vo Dat D., Sabov V.I., Sabov M.Yu., Barchiy I.E., Piasecki M., Khyzhun O.Y. Highly anisotropic layered selenophosphate  $AgSbP_2Se_6$ : The electronic structure and optical properties by experimental measurements and first principles calculations. *Chemical Physics*. 2020, 536, 110813. Doi: 10.1016/j.chemphys.2020.110813.
2. Abdelghany A., Elsayed S.N., Abdelwahab D.M., Abou El Ela A.H., Mousa N.H. Electrical conductivity and thermoelectric power of  $AgSbSe_2$  in the solid and liquid state. *Mater. Chem. Phys.* 1996, 44, 277-280. Doi: 10.1016/0254-0584(96)80069-1.
3. Wojciechowski K., Schmidt M., Tobola J., Koza M., Olech A., Zybala R. Influence of Doping on Structural and Thermoelectric Properties of  $AgSbSe_2$ . *Journal of Electronic Materials*. 2010, 39(9), 2053-2058. Doi: 10.1007/s11664-009-1008-8.
4. Decheng An, Shaoping Chen, Zhenxiao Lu, Rong Li, Wei Chen, Wenhao Fan, Wenxian Wang, Yucheng Wu. Low Thermal Conductivity and Optimized Thermoelectric Properties of p-Type  $Te-Sb_2Se_3$ : Synergistic Effect of Doping and Defect

- Engineering. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2019, 11(31), 27788–27797. Doi: 10.1021/acsami.9b07313.
5. Priyanka Jood, Raju Chetty, Michihiro Ohta. Structural stability enables high thermoelectric performance in room temperature  $\text{Ag}_2\text{Se}$ . *J. Mater. Chem. A*. 2020, 8, 13024–13037. Doi: 10.1039/D0TA02614J.
6. Oliveria M., McMullan R.K., Wuensch B.J. Single Crystal Neutron Diffraction Analysis of the Cation Distribution in the High-Temperature Phases  $\alpha\text{-Cu}_{2-x}\text{S}$ ,  $\alpha\text{-Cu}_{2-x}\text{Se}$ , and  $\alpha\text{-Ag}_2\text{Se}$ . *Solid State Ionics*. 1988, 28-30, 1332–1337. Doi: 10.1016/0167-2738(88)90382-7.
7. Beeken R.B., Driessen C.R., Hinaus B.M., Pawlisch D.E. Electrical conductivity of  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6$  and  $\text{Cu}_7\text{PSe}_6$ . *Solid State Ionics*. 2008, 179, 1058–1060. Doi: 10.1016/j.ssi.2008.01.014.
8. Susner M.A., Chyasnovich M., McGuire M.A., Ganesh P., Maksymovych P. Metal Thio- and Selenophosphates as Multifunctional van der Waals Layered Materials. *Advanced Materials*. 2017, 29, 1602852. Doi: 10.1002/adma.201602852.
9. Сабов В.І., Погодін А.І., Поторій М.В., Сабов М.Ю. Взаємодія компонентів у системах  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2 (\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3)$ . *Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Серія «Хімія»*. 2019, 41(1), 38–42. Doi: 10.24144/2414-0260.2019.1.38-42.
10. Сабов В.І., Поторій М.В., П'ясецькі М., Філеп М.Й., Погодін А.І., Сабов М.Ю. Взаємодія компонентів у системі  $\text{Ag}_{(2-x)}\text{Sb}_x\text{P}_{2x}\text{Se}_{(1+5x)} (0 < x < 1)$ . *Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Серія «Хімія»*. 2021, 45(1), 35–41. Doi: 10.24144/2414-0260.2021.1.35-41.
11. Сабов В.І., Поторій М.В., П'ясецькі М., Філеп М.Й., Погодін А.І., Сабов М.Ю. Фізико-хімічна взаємодія компонентів у системі  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ . *Наук. вісник Ужгородського ун-ту. Серія «Хімія»*. 2021, 46(2), 28–34. Doi: 10.24144/2414-0260.2021.2.28-34.

Стаття надійшла до редакції: 18.05.2022.

## QUASIBINARY SECTIONS FORMATIO IN THE Ag – Sb – P – Se<sub>6</sub> SYSTEM

<sup>1</sup>Sabov V.I., <sup>1</sup>Barchiy I.Ye., <sup>2</sup>Piasecki M., <sup>1</sup>Filep M.J., <sup>1</sup>Pogodin A.I., <sup>1</sup>Sabov M.Yu.

<sup>1</sup>*Uzhhorod National University, Department of inorganic chemistry,  
88000, Uzhhorod, Pidhirna str,46;*

<sup>2</sup>*J. Dlugosz University, 42200, Armii Krajowej St., 13/15, Czestochowa, Poland;  
e-mail: vitasabov@gmail.com*

The possibility of combining different properties of materials within Ag – Sb – P – Se system prompted the study of the nature of physicochemical interactions in it. The main attention was paid to systems based on  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  with the participation of stable binary and ternary compounds. It was assumed that the cross sections involving stable compounds would be quasi-binary. However, the nonquasibinary of the sections  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  and  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  was proved, which indicated a complex interaction in the Ag – Sb – P – Se system. Difficulties were caused by the formation in the process of synthesis of multicomponent mixtures, the determination of the phase composition of which was complicated by the presence of reflexes on the powder patterns of different phases at the same angles. In this regard, it was expedient to summarize the experimental data on the nature of physicochemical interactions in the cross sections of the Ag – Sb – P – Se system. This would allow the establishment of quasi-binary, quasi-ternary and quasi-quaternary systems within the Ag – Sb – P – Se system, which was the aim of this work.

It was established the nonquasibinary of  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  system. It intersects two quasi-ternary systems  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Se}$  and  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ . Other samples consist four-phases, in each of which, in addition to three complex compounds, selenium was detected. The quasiternary and quasiquaternary systems were formed by following quasibinaries:  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6$ ,  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ,  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{Se}$ ,  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ,  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Se}$ ,  $\text{AgSbSe}_2 - \text{Se}$ ,  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{AgSbSe}_2 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$ ,  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6$ ,  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Se}$ .

In the study of the cross section  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  it was found that it is also not quasi-binary and intersects one quasi-ternary ( $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbSe}_2 - \text{Ag}$ ) and one quasi-binary system ( $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$ ). However, it is not taken into account that the  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  system also intersects the  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$  system, which is quasi-binary. A refining analysis of the data confirmed that the cross section of  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  intersects the above quasi-ternary and two quasi-binary systems. In addition to the identified twelve, the study of the nature of the interaction in the cross section  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  confirmed the quasibinary of four systems ( $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{Ag}_2\text{Se}$ ,  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{Ag}$ ,  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbSe}_2$  and  $\text{Ag} - \text{AgSbSe}_2$ ) and additionally a system  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ .

Thus, were established seventeen quasi-binary sections. It should be noted that some of them were known in the literature.  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{Ag}$  and  $\text{Sb}_2\text{Se}_3 - \text{Se}$  systems are partial of the  $\text{Ag} - \text{Se}$  and  $\text{Sb} - \text{Se}$  systems, respectively, the  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{AgSbSe}_2$  and  $\text{AgSbSe}_2 - \text{Sb}_2\text{Se}_3$  systems are subsystems of the quasi-binary  $\text{Ag}_2\text{Se} - \text{Sb}_2\text{Se}_3$  system. So, by fact thirteen quasi-binary systems in the quaternary system are established.

It is noteworthy that the quaternary compound  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  does not form quasi-binary systems with silver-containing complex compounds. The exception is  $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{Se}_6$ , which is often the final, occasionally intermediate product of the interaction of  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$  with other silver-containing compounds.

**Keywords:** physic-chemical interaction; quasibinary section; phase composition.

#### References

1. Tuan V. Vu, Lavrentyev A.A., Gabrelian B.V., Vo Dat D., Sabov V.I., Sabov M.Yu., Barchiy I.E., Piasecki M., Khyzhun O.Y. Highly anisotropic layered selenophosphate  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ : The electronic structure and optical properties by experimental measurements and first principles calculations. *Chemical Physics*. 2020, 536, 110813. Doi: 10.1016/j.chemphys.2020.110813.
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. Doi: 10.1016/0254-0584(96)80069-1.
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. Doi: 10.1007/s11664-009-1008-8.
4. Decheng An, Shaoping Chen, Zhenxiao Lu, Rong Li, Wei Chen, Wenhao Fan, Wenxian Wang, Yucheng Wu. Low Thermal Conductivity and Optimized Thermoelectric Properties of p-Type  $\text{Te-Sb}_2\text{Se}_3$ : Synergistic Effect of Doping and Defect Engineering. *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2019, 11(31), 27788–27797. Doi: 10.1021/acsami.9b07313.
5. Priyanka Jood, Raju Chetty, Michihiro Ohta. Structural stability enables high thermoelectric performance in room temperature  $\text{Ag}_2\text{Se}$ . *J. Mater. Chem. A*. 2020, 8, 13024–13037. Doi: 10.1039/D0TA02614J.
6. Oliveria M., McMullan R.K., Wuensch B.J. Single Crystal Neutron Diffraction Analysis of the Cation Distribution in the High-Temperature Phases  $\alpha\text{-Cu}_{2-x}\text{S}$ ,  $\alpha\text{-Cu}_{2-x}\text{Se}$ , and  $\alpha\text{-Ag}_2\text{Se}$ . *Solid State Ionics*. 1988, 28-30, 1332–1337. Doi: 10.1016/0167-2738(88)90382-7.
7. Beeken R.B., Driessen C.R., Hinaus B.M., Pawlisch D.E. Electrical conductivity of  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6$  and  $\text{Cu}_7\text{PSe}_6$ . *Solid State Ionics*. 2008, 179, 1058–1060. Doi: 10.1016/j.ssi.2008.01.014.
8. Susner M.A., Chyasnavichyus M., McGuire M.A., Ganesh P., Maksymovych P. Metal Thio- and Selenophosphates as Multifunctional van der Waals Layered Materials. *Advanced Materials*. 2017, 29, 1602852. Doi: 10.1002/adma.201602852.
9. Sabov V.I., Pohodin A.I., Potorii M.V., Sabov M.Iu. Vzaiemodiia komponentiv u systemakh  $\text{AgSbP}_2\text{Se}_6 - \text{AgSbSe}_2$  ( $\text{Sb}_4(\text{P}_2\text{Se}_6)_3$ ). *Nauk. visnyk Uzhhorodskoho un-tu. Seriiia "Khimiiia"*. 2019, 41(1), 38–42 (in Ukr.). Doi: 10.24144/2414-0260.2019.1.38-42.
10. Sabov V.I., Potorii M.V., Piassetki M., Filep M.I., Pohodin A.I., Sabov M.Iu. Vzaiemodiia komponentiv u systemi  $\text{Ag}_{(2-x)}\text{Sb}_x\text{P}_{2x}\text{Se}_{(1+5x)}$  ( $0 < x < 1$ ). *Nauk. visnyk Uzhhorodskoho un-tu. Seriiia "Khimiiia"*. 2021, 45(1), 35–41. (in Ukr.). Doi: 10.24144/2414-0260.2021.1.35-41.
11. Sabov V.I., Potorii M.V., Piassetki M., Filep M.I., Pohodin A.I., Sabov M.Iu. Fyzyko-khimichna vzaiemodiia komponentiv u systemi  $\text{Ag}_7\text{PSe}_6 - \text{AgSbP}_2\text{Se}_6$ . *Nauk. visnyk Uzhhorodskoho un-tu. Seriiia "Khimiiia"*. 2021, 46(2), 28–34. (in Ukr.). Doi: 10.24144/2414-0260.2021.2.28-34.