

3. Sheldrick G. M. Program for Crystal Structures Refinement / G. M. Sheldrick. – University of Göttingem, Germany, 1997. – 215 p.
4. Sheldrick G. M. Program for the Solution of Crystal Structures / G. M. Sheldrick. – University of Göttingem, Germany, 1985. – 15 p.
5. Spek A. L. PLATON, A Multipurpose Crystallographic Tool / A. L. Spek. – Utrecht University, Utrecht, The Netherlands, 2007. – 57 p.

**Строк Оксана, Гулай Любомир, Дашкевич Марек. Кристаллическая структура соединения  $\text{Ce}_3\text{Mg}_{0,5}\text{Si}_7$ .** Методом монокристалла (автоматический монокристалльный дифрактометр KUMA-4, оснащенный камерой CCD,  $\text{MoK}_\alpha$ -излучение, графитовый монохроматор) изучена кристаллическая структура соединения  $\text{Ce}_3\text{Mg}_{0,5}\text{Si}_7$ . Оно кристаллизуется в гексагональной сингонии (структурный тип  $\text{La}_3\text{Mn}_{0,5}\text{Si}_7$ , символ Пирсона  $hP23$ , пространственная группа  $P6_3$ ,  $a = 1,0272(1)$ ,  $c = 0,57065(7)$  нм).

**Ключевые слова:** РЗМ, халькогениды, кристаллическая структура, метод монокристалла.

**Strok Oksana, Gulay Lyubomir, Daszkiewicz Marek. Crystal Structure of the  $\text{Ce}_3\text{Mg}_{0,5}\text{Si}_7$  Compound.** The crystal structure of the  $\text{Ce}_3\text{Mg}_{0,5}\text{Si}_7$  compound was determined by means of X-Ray single-crystal diffraction (KUMA-4 four-circle diffractometer with CCD camera,  $\text{MoK}_\alpha$ -radiation, graphite monochromator). It crystallizes in hexagonal syngony (structure type  $\text{La}_3\text{Mn}_{0,5}\text{Si}_7$ , Pearson symbol  $hP23$ , space group  $P6_3$ ,  $a = 1,0272(1)$ ,  $c = 0,57065(7)$  nm).

**Key words:** Rare-earth metals, chalcogenides, crystal structure, X-Ray single-crystal diffraction.

Східноєвропейський національний університет  
імені Лесі Українки;  
Інститут низьких температур і структурних  
досліджень ПАН, м. Вроцлав (Республіка Польща)

Стаття надійшла до редколегії  
08.04.2013 р.

УДК 546.57:546.681:546.811

Микола Шевчук

### Система $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \Leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$

Досліджено систему  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \Leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$ . Побудовано проекцію поверхні ліквідусу, ізотермічний переріз при 720 К та три політермічних перерізи. Ліквідус системи складається із трьох полів первинної кристалізації  $\alpha$ -,  $\gamma$ - і  $\beta$ -твердих розчинів, які кристалізуються в тетрагональній, ромбічній та моноклінній сингонії відповідно. У системі немає стабільної діагоналі, що відносить її до взаємних зворотних систем.

**Ключові слова:** діаграма стану, тверді розчини, параметри ґратки.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Сполуки типу  $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}$  широко використовують у нелінійній оптиці [5; 11; 18]. Для розширення ділянки прозорості та кута двопробного заломлення привертає увагу дослідження систем  $\text{A}^{\text{I}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}_2^{\text{VI}}-\text{D}^{\text{IV}}\text{C}_2^{\text{VI}}$  [14–16].

**Аналіз досліджень цієї проблеми.** У літературі немає відомостей про дослідження фазових рівноваг у системі  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \Leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$ , тому метою цієї роботи є вивчення діаграми стану і меж твердих розчинів для оцінки можливості отримання нових матеріалів для нелінійної оптики.

За даними [8; 13]  $\text{AgGaS}_2$  та  $\text{AgGaSe}_2$  плавляться конгруентно при 1273 К та 1124 К відповідно. Тіогалат срібла кристалізується в тетрагональній сингонії, ПГ  $I \bar{4}2d$ ;  $a = 0,57572$  нм,  $c = 1,03036$  нм [3]. Селеногалат срібла є ізоструктурним до нього (ПГ  $I \bar{4}2d$ ;  $a = 0,5992$  нм,  $c = 1,0880$  нм) [10]. Згідно з даними [4; 12]  $\text{GeS}_2$  та  $\text{GeSe}_2$  плавляться конгруентно при 1123 К та 1015 К відповідно. Диселенід германію кристалізується в моноклінній сингонії, ПГ  $P2_1/c$ ;  $a = 0,7016$  нм,  $b = 1,6796$  нм  $c = 1,1831$  нм,  $\beta = 90^\circ 66'$  [9]. Дисульфід германію кристалізується також у моноклінній сингонії, ПГ  $P2_1/c$ ;  $a = 0,6640$  нм,  $b = 1,6150$  нм,  $c = 1,143$  нм,  $\beta = 90^\circ 34'$  [10]. Системи  $\text{AgGaS}_2-\text{AgGaSe}_2$  [19] і  $\text{GeS}_2-\text{GeSe}_2$  [2], які є обмежувальними в обмінній системі, характеризуються необмеженою розчинністю в рідкому і

твердому станах. Системи  $\text{AgGaS}_2\text{-GeS}_2$  та  $\text{AgGaSe}_2\text{-GeSe}_2$  – евтектичного типу з утворенням проміжних  $\gamma$ -фаз стехіометричного складу  $\text{AgGaGeS}_4$  [15] та  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  [14] відповідно. Координати евтектичних точок такі:  $e_1$  – 42 мол. %  $\text{GeS}_2$ , 1121 К,  $e_2$  – 93 мол. %  $\text{GeS}_2$ , 1095 К та 55 мол. %  $\text{GeSe}_2$ , 978 К, 93 мол. %  $\text{GeSe}_2$ , 973 К відповідно. Розчинність при 720 К на основі  $\text{AgGaS}_2$  та  $\text{AgGaGeS}_4$  становить 0–32 і 48–55 мол. %  $\text{GeS}_2$  відповідно, а на основі  $\text{AgGaSe}_2$  та  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  – 0–55 і 65–88 мол. %  $\text{GeSe}_2$ . Розчинність на основі  $\text{GeS}_2$  та  $\text{GeSe}_2$  є незначною [14; 15]. Між  $\text{AgGaGeS}_4$  та  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  існує необмежена розчинність у рідкому і твердому станах [17].

**Матеріали і методи.** Під час дослідження фазових рівноваг у системі  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeS}_2 \Leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  було просинтезовано 147 сплавів. Синтез сплавів системи проводили у два етапи з елементарних компонентів (срібло – 99,99 ваг. %; галій – 99,9997 ваг. %; германій – 99,9999 ваг. %, сірка – 99,997 ваг. %; селен – 99,997 ваг. %) у вакуумованих до тиску 0,1 Па кварцових ампулах. На першому етапі ампули нагрівали в полум'ї киснево-газового пальника до повного зв'язування елементарної сірки. На другому етапі ампули поміщали у шахтну піч і нагрівали зі швидкістю 20–30 К/год. При максимальній температурі синтезу 1400 К проводили восьмигодинну витримку з періодичним вібраційним перемішуванням. Надалі ампули охолоджували (10 К/год) до 720 К. Гомогенізуючий відпал проводився протягом 500 год із подальшим гартуванням у холодній воді. Для сплавів на основі  $\text{AgGaS}_2$  та  $\text{AgGaSe}_2$  характерний від'ємний коефіцієнт термічного розширення [7], тому для запобігання окисненню речовини сплавів у випадку розтріскування ампул у процесі охолодження використовували подвійні кварцові контейнери.

У процесі дослідження сплавів використовували диференціальний термічний, рентгенофазовий і мікроструктурний аналізи. Диференціальний термічний аналіз проводили на термографі ВДТА-8МЗ, як еталон обрано порошок W. Зразки нагрівали зі швидкістю 10 К/хв. Температурний контроль здійснювали W-Re0,05/W-Re0,2 термопарою. Рентгенофазовий аналіз проведено на дифрактометрі ДРОН 4-13,  $\text{CuK}_\alpha$ -випромінювання, результати РФА обробляли за допомогою методу найменших квадратів. Мікроструктурний аналіз здійснювали на мікротвердометрі Leica VMHT Auto.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Політермічний переріз  $\text{AgGaS}_2\text{-AgGaGe}_3\text{Se}_8$  (рис. 1) досліджено для встановлення положення ізотерм, моноваріантної лінії на проекції поверхні ліквідусу та ділянок існування  $\alpha$ - та  $\gamma$ -твердих розчинів. Ліквідус перерізу складається із двох ліній, що відповідають первинній кристалізації  $\alpha$ - та  $\gamma$ -твердих розчинів і дотикаються в точці проходження моноваріантної лінії з координатами: 38 мол. %  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$ , 1007 К.

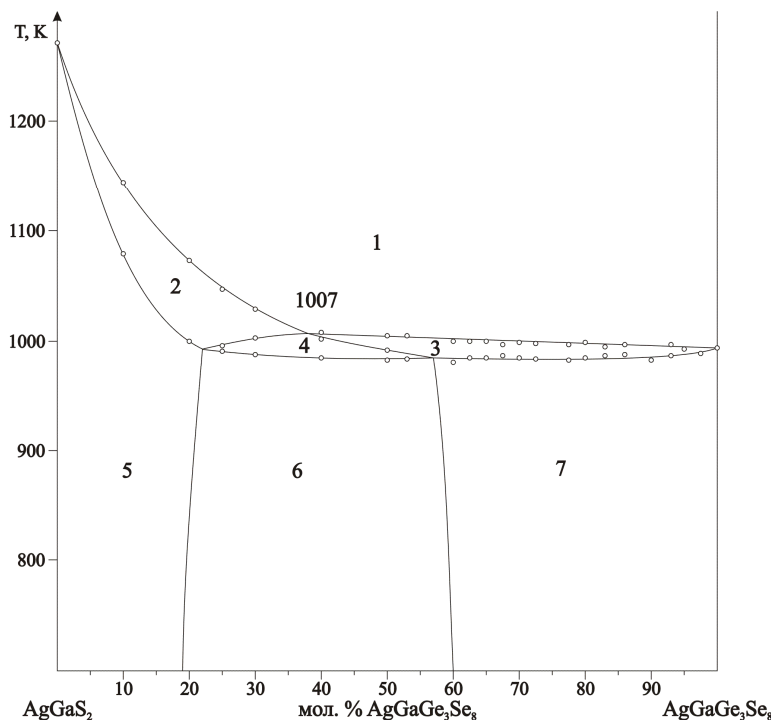


Рис. 1. Політермічний переріз  $\text{AgGaS}_2\text{-AgGaGe}_3\text{Se}_8$ : 1 – L, 2 – L +  $\alpha$ , 3 – L +  $\gamma$ , 4 – L +  $\alpha$  +  $\gamma$ , 5 –  $\alpha$ , 6 –  $\alpha$  +  $\gamma$ , 7 –  $\gamma$

Підсолідусна частина складається з двох полів  $\alpha$ - та  $\gamma$ -твердих розчинів, розділених між собою полем двофазної ділянки. Протяжність  $\alpha$ -твердих розчинів на основі  $\text{AgGaS}_2$  становить 0–22 мол. %  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  при 993 К і зменшується до 0–19 мол. %  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  при 720 К. Ділянка існування  $\gamma$ -твердих розчинів на основі  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  становить 57–100 мол. %  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  при 985 К і звужується до 60–100 мол. %  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  при 720 К. Вигляд кривих зміни параметрів ґратки твердих розчинів у двофазній ділянці, похилий хід кривої (рис. 2) вказують на неквазібінарність цього перерізу.

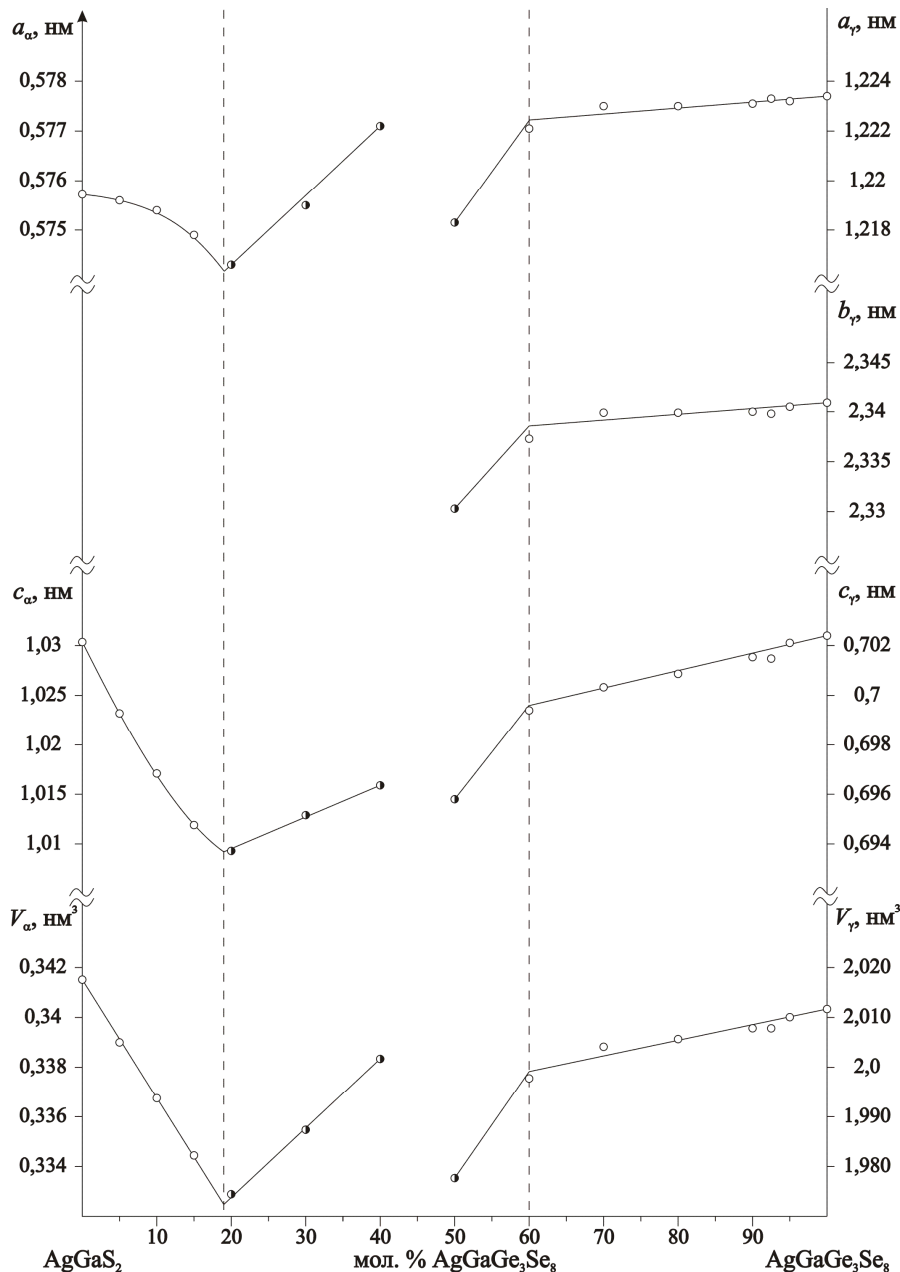


Рис. 2. Зміна параметрів ґратки сплавів перерізу  $\text{AgGaS}_2$ – $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  при 720 К

Політермічний переріз  $\text{AgGaGeS}_4$ – $\text{GeSe}_2$  подано на рисунку 3. Ліквідус перерізу складається із двох ліній, що відповідають первинній кристалізації  $\gamma$ - та  $\beta$ -твердих розчинів і дотикаються в точці проходження моноваріантної лінії з координатами: 88 мол. %  $\text{GeSe}_2$ , 1009 К. Точці, що відповідає сполуці  $\text{AgGaGeS}_4$ , на діаграмі відповідають два температурних ефекти, оскільки температурний максимум сполуки  $\text{AgGaGeS}_4$  на діаграмі стану системи  $\text{AgGaS}_2$ – $\text{GeS}_2$  зміщений від стехіометричного складу в бік  $\text{GeS}_2$  [15]. Підсолідусна частина складається з трьох полів  $\gamma$ -,  $\beta$ -твердих розчинів, які розділені між собою двофазним полем  $\gamma + \beta$ .

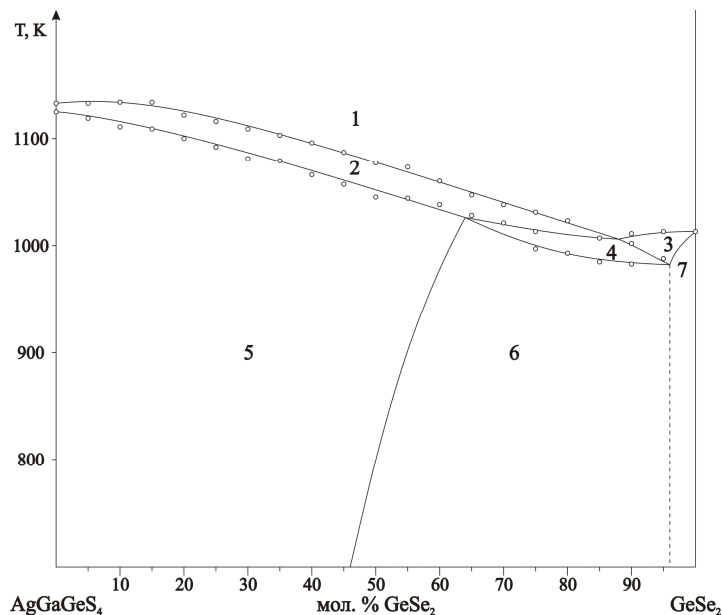


Рис. 3. Політермічний переріз  $\text{AgGaGeS}_4\text{-GeSe}_2$ : 1 – L, 2 – L +  $\gamma$ , 3 – L +  $\beta$ , 4 – L +  $\gamma$  +  $\beta$ , 5 –  $\gamma$ , 6 –  $\gamma$  +  $\beta$ , 7 –  $\beta$

Протяжність  $\gamma$ -твердих розчинів на основі  $\text{AgGaGeS}_4$  становить 0–64 мол. %  $\text{GeSe}_2$  при 1026 К і зменшується до 0–46 мол. %  $\text{GeSe}_2$  при 720 К. Ділянка існування  $\beta$ -твердих розчинів на основі  $\text{GeSe}_2$  становить 96–100 мол. %  $\text{GeSe}_2$  при 720 К. Вигляд кривої зміни параметрів елементарних ґраток твердих розчинів у двофазній ділянці (рис. 4) вказує на неквазібінарність цього перерізу.

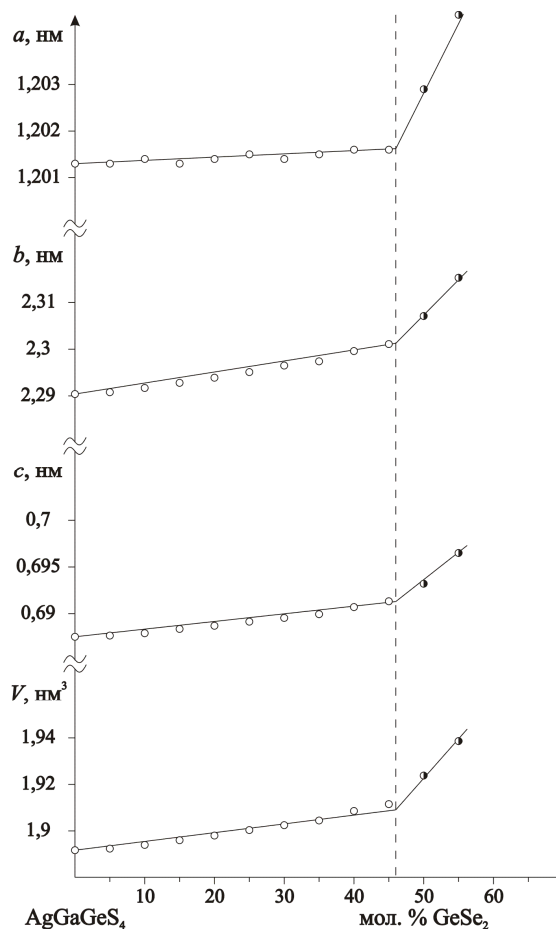


Рис. 4. Зміна параметрів ґратки сплавів перерізу  $\text{AgGaGeS}_4\text{-GeSe}_2$  при 720 К

Політермічний переріз  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8\text{-GeSe}_2$  досліджено для встановлення положення ізотерм проєкції поверхні ліквідусу та меж існування  $\gamma$ - та  $\beta$ -твердих розчинів. Картина фазових рівноваг перерізу (рис. 5) є аналогічною перерізу  $\text{AgGaGe}_3\text{S}_4\text{-GeSe}_2$ . Аналіз ходу кривих зміни параметрів ґратки (рис. 6) свідчить, що у двофазній ділянці цей переріз є неквазібінарним.

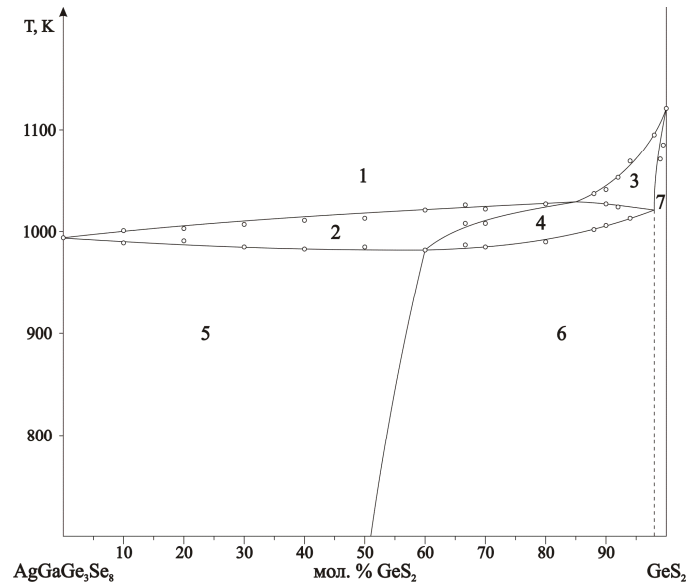


Рис. 5. Політермічний переріз  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8\text{-GeS}_2$ : 1 – L, 2 – L +  $\gamma$ , 3 – L +  $\beta$ , 4 – L +  $\gamma$  +  $\beta$ , 5 –  $\gamma$ , 6 –  $\gamma$  +  $\beta$ , 7 –  $\beta$

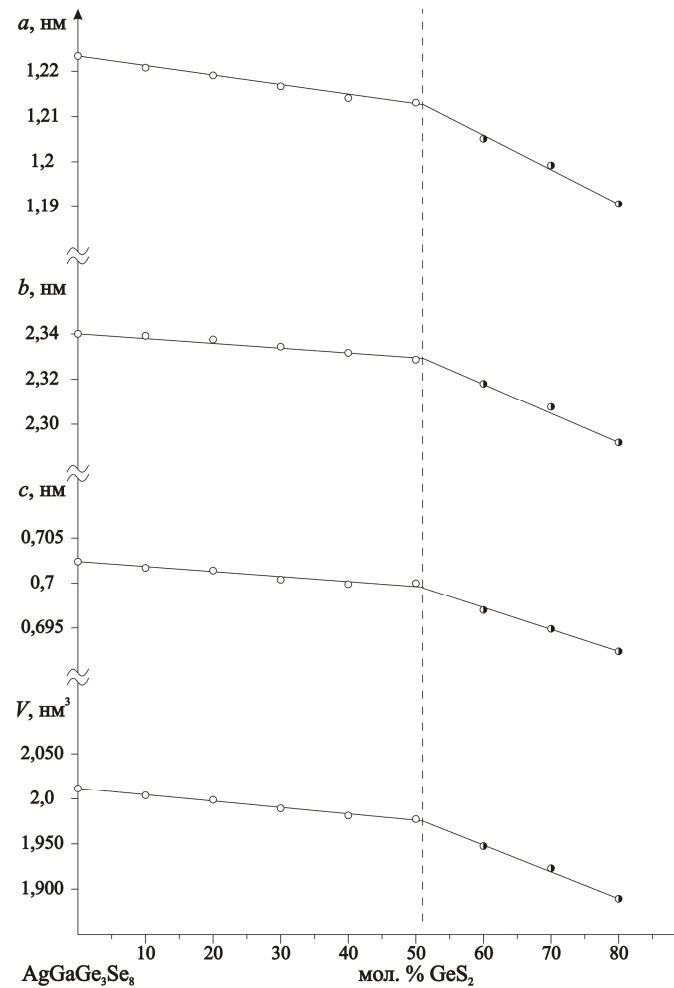
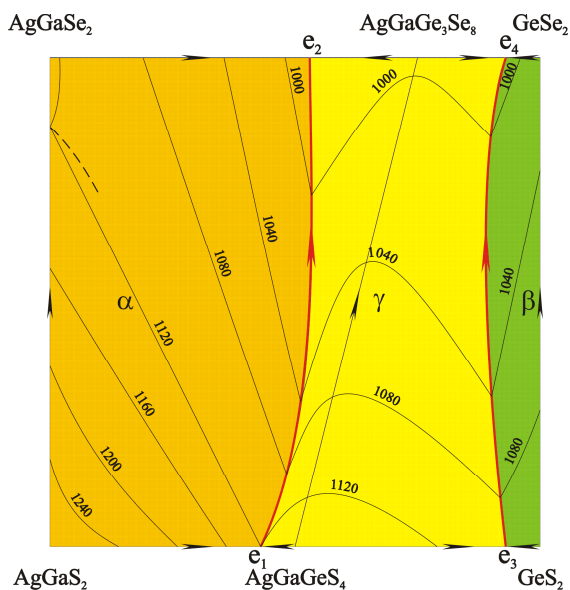


Рис. 6. Зміна параметрів ґратки сплавів перерізу  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8\text{-GeS}_2$  при 720 К



**Рис. 7. Проекція поверхні ліквідусу потрійної взаємної системи  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$**

чинів є меншим і займає близько третини площі концентраційного чотирикутника. Поле β-твердих розчинів локалізоване поблизу квазібінарної системи  $\text{GeSe}_2\text{–GeSe}_2$ . Ізотерми ліквідусу мають дещо вигнутий характер у бік  $\text{AgGaS}_2$ ,  $\text{AgGaGe}_3\text{Se}_8$  та  $\text{GeSe}_2$ .

Ізотермічний переріз потрійної взаємної системи  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  (рис. 8) містить три однофазні ділянки α-, γ- і β-твердих розчинів, витягнутих уздовж перерізів чотирикутника, в яких утворюються неперервні ряди твердих розчинів. Ділянки γ-твердих розчинів розміщені між двома ділянками α + γ і γ + β. Розчинність дихалькогенідів германію при 720 К в  $\text{AgGaS}_{2x}\text{Se}_{2(1-x)}$  становить 0–52 мол. %  $\text{GeSe}_2$  з боку  $\text{AgGaSe}_2\text{–GeSe}_2$  і зменшується до 0–32 мол. %  $\text{GeSe}_2$  з боку  $\text{AgGaS}_2\text{–GeSe}_2$ .

Розчинність при 720 К на основі  $\text{AgGaGe}_{(1+2x)}\text{S}_{4(1-x)}\text{Se}_{8x}$  становить 65–88 мол. %  $\text{GeSe}_2$  з боку  $\text{AgGaSe}_2\text{–GeSe}_2$  і зменшується до 48–57 мол. %  $\text{GeSe}_2$  з боку  $\text{AgGaS}_2\text{–GeSe}_2$ . Розчинність на основі  $\text{GeSe}_{2x}\text{S}_{2(1-x)}$  є незначною і становить при 720 К 96–100 мол. %  $\text{GeSe}_2$  з боку  $\text{AgGaSe}_2\text{–GeSe}_2$  зі зменшенням до 98–100 мол. %  $\text{GeSe}_2$  з боку  $\text{AgGaS}_2\text{–GeSe}_2$ . Як видно з рисунка 8, розчинність селенідних сполук більша, ніж – сульфідних.

**Висновки.** Вперше побудовано діаграми стану п'яти політермічних перерізів, проекцію поверхні ліквідусу та ізотермічний перетин системи  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  при 720 К. Встановлено, що утворення γ-твердих розчинів у системі  $\text{AgGaGeS}_4\text{–AgGaGe}_3\text{Se}_8$  унеможлиблює квазібінарність перерізів, що відповідають діагоналям чотирикутника концентрацій та інших перерізів, які її перетинають, і згідно з класифікацією [1] відносить систему  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  до зворотно взаємних.

#### Джерела та література

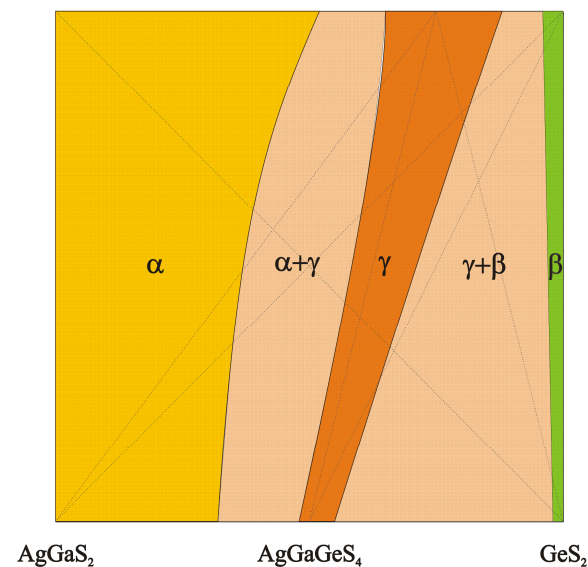
1. Аносов В. Я. Основы физико-химического анализа / В. Я. Аносов, М. И. Озерова, Ю. Я. Фиалков. – М. : Наука, 1976. – 503 с.

Проекція поверхні ліквідусу потрійної взаємної системи  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  та ізотермічний переріз при 720 К

Проекцію поверхні ліквідусу потрійної взаємної системи  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  (рис. 7) побудовано на підставі літературних даних стосовно систем  $\text{AgGaS}_2\text{–AgGaSe}_2$  [19],  $\text{GeSe}_2\text{–GeSe}_2$  [2],  $\text{AgGaSe}_2\text{–GeSe}_2$  [14],  $\text{AgGaS}_2\text{–GeSe}_2$  [15],  $\text{AgGaS}_2\text{–GeSe}_2$ ,  $\text{AgGaSe}_2\text{–GeSe}_2$ ,  $\text{AgGaGeS}_4\text{–AgGaGe}_3\text{Se}_8$  [17] та отриманих результатів дослідження ряду політермічних перерізів.

Ліквідус взаємної обмінної системи складається з трьох полів первинної кристалізації α-, γ- і β-твердих розчинів на основі  $\text{AgGaS}_{2x}\text{Se}_{2(1-x)}$ ,  $\text{AgGaGe}_{(1+2x)}\text{S}_{4(1-x)}\text{Se}_{8x}$ ,  $\text{GeSe}_{2x}\text{S}_{2(1-x)}$  відповідно, розділених між собою двома моноваріантними лініями  $e_1e_2$  та  $e_3e_4$ . Поле первинної кристалізації α-фази як твердого розчину на основі високотемпературних фаз системи є найбільшим і займає майже половину площі концентраційного чотирикутника. Поле первинної кристалізації γ-твердих розчинів

**Рис. 8. Ізотермічний переріз потрійної взаємної системи  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \rightleftharpoons \text{AgGaSe}_2 + \text{GeSe}_2$  при 720 К**



2. Караханова М. И. Изучение системы Ge–S–Se по разрезу GeS<sub>2</sub>–GeSe<sub>2</sub> / М. И. Караханова, Л. П. Соколова // Неорган. материалы. – 1976. – Т. 12, № 8. – С. 1484–1485.
3. Киш З. З. Сложные халькогениды в системах A<sup>I</sup>–B<sup>III</sup>–C<sup>VI</sup> / [З. З. Киш, Е. Ю. Переш, Е. Е. Семрад] ; под ред. В. Б. Лазарева. – М. : Металлургия, 1993. – 140 с.
4. Лю Цюнь-Хуа. О диселениде германия / Цюнь-Хуа Лю, А. С. Пашинкин, А. В. Новоселова // Журн. неорг. химии. – 1962. – Т. 7, № 9. – С. 2159–2161.
5. Некоторые фотоэлектрические свойства монокристаллов твердых растворов AgGa (Se<sub>0,75</sub>S<sub>0,25</sub>)<sub>2</sub> / D. T. Guseinov, N. E. Gasanov, A. G. Kyazum-Zade, R. H. Nani // Phys. Tekhn. Polupr. – Vol. 15. – P. 1811.
6. Палатник Л. С. О тройных халькогенидах галлия типа A<sup>I</sup>B<sup>III</sup>C<sup>VI</sup><sub>2</sub> / Л. С. Палатник, Е. К. Белова // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1967. – Т. 3, № 6. – С. 967–973.
7. Andreyeva O. E. Investigation of the anisotropy of the characteristic of the lattice dynamics of the AgGaS<sub>2</sub> AgGaSe<sub>2</sub> crystals / O. E. Andreyeva, N. S. Orlova, I. V. Bondar // Materials for Electronics. – 1999. – Vol. 3. – P. 66–70.
8. Brandt G. Phase investigations in the silver – gallium – sulphur system / G. Brandt, V. Kramer // Mater. Res. Bull. – 1976. – Vol. 11, № 11. – P. 1381–1388.
9. Dittmar G. Die kristallstruktur von germanium diselenid / G. Dittmar, H. Schafer // Acta Cryst. – 1976. – B. 32, № 9. – S. 2726–2728.
10. Dittmar G. Die Kristallstruktur von H.T. – GeS<sub>2</sub> / G. Dittmar, H. Shafer // Acta Cryst. – 1975. – B. 31, № 7. – P. 2060–2064.
11. Hobden M.V. Optical Activity in a Non-enantiomorphous Crystal Silver Gallium Sulphide / M. V. Hobden // Nature. – 1967. – Vol. 216. – P. 678.
12. Le systeme ternaire germanium-tellure-soufre / S. Managlier Lacordaire, J. Rivet, P. Khodadad, J. Flahaut // Bull. Soc. Chim. France. – 1974. – № 11. – Part. 1. – P. 2451–2452.
13. Mikkelsen J. C. Ag<sub>2</sub>Se–Ga<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> pseudobinary phase diagram / J. C. Mikkelsen // Mater. Res. Bul. – 1977. – Vol. 12, № 5. – P. 497–502.
14. Olekseyuk I. D. Crystal chemical properties and preparation of single crystal of AgGaSe<sub>2</sub>–GeSe<sub>2</sub>  $\gamma$ -solid solution / I. D. Olekseyuk, A. V. Gulyak, L. V. Sysa // J. Alloys Comp. – 1996. – Vol. 241. – P. 187.
15. Olekseyuk I. D. Phase equilibria in the AgGaS<sub>2</sub>–GeS<sub>2</sub> systems / I. D. Olekseyuk, G. P. Gorgut, M. V. Shevchuk // Polish J. Chem. – 2002. – Vol. 76. – P. 915.
16. Pamplin B. R. Solubility of the group IV chalcogenides in I–III–IV<sub>2</sub> compounds / B. R. Pamplin, T. Ohachi, S. Maeda // Inst. Phys. Conf. Ser. – 1977. – Vol. 35. – P. 35–42.
17. Single crystal preparation and properties of the AgGaGeS<sub>4</sub>–AgGaGe<sub>3</sub>Se<sub>8</sub> solid solution / M. V. Shevchuk, V. V. Atuchin, A. V. Kityk // Journal of Crystal Growth. – 2011. – Vol. 318. – P. 708–712.
18. Study of Dispersion of Birefringence and Optical Activity of Silver Gallium Sulfide Selenide (AgGa(S<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub>)<sub>2</sub>) Crystals / V. V. Badikov, I. N. Matveev and col. // Kristallografia. – 1981. – Vol. 26. – P. 537.
19. The AgGaS<sub>2</sub> + 2CdSe  $\leftrightarrow$  AgGaSe<sub>2</sub> + 2CdS system / I. D. Olekseyuk, O. A. Husak, L. D. Gulay, O. V. Parasyuk // J. Alloys Comp. – 2004. – Vol. 367. – P. 25–35.

**Шевчук Николай.** Система  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$ . Исследована система  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$ . Построены проекция поверхности ликвидуса, изотермическое сечение при 720 К и три поли-термических сечения. Ликвидус системы состоит из трёх полей первичной кристаллизации  $\alpha$ -,  $\gamma$ - и  $\beta$ -твёрдых растворов, которые кристаллизуются в тетрагональной, ромбической и моноклинной сингонии соответственно. В системе отсутствует стабильная диагональ, что относит её к взаимным обратимым системам.

**Ключевые слова:** диаграмма состояния, твёрдые растворы, периоды решётки.

**Shevchuk Mykola.** The System  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$ . The system  $\text{AgGaS}_2 + \text{GeSe}_2 \leftrightarrow \text{AgGaSe}_2 + \text{GeS}_2$ . The liquidus surface projection, the isothermal section at 720 K, and polytermic three vertical sections were constructed. Liquidus of the system consists of three fields of primary crystallization of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -has dissolved solids, which crystallize in the tetragonal, orthorhombic and monoclinic, respectively. The system does not have a stable diagonal, therefore it is classified as a reversible reciprocal system.

**Key words:** phase diagram, solid solutions, lattice parameter.

Луцький національний технічний університет

Стаття надійшла до редколегії  
28.04.2013 р.