

Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки

Цей переріз характеризується значною протяжністю однофазних та двофазних областей. Триангулюючими перерізами в квазіпотрійній системі при 870 К є $\text{AgInS}_2\text{-CdS}$ та $\text{AgIn}_5\text{S}_8\text{-CdIn}_2\text{S}_4$. Вони ділять квазіпотрійну систему на три окремі підсистеми.

У підсистемі $\text{Ag}_2\text{S-AgInS}_2\text{-CdS}$ існує рівновага між α -, β - та γ -твердими розчинами. Аналогічно, комбінацією трьох твердих розчинів (β , γ та ϵ) зумовлені фазові рівноваги і в підсистемі $\text{AgInS}_2\text{-CdS-HPTP}$ ($\text{AgInS}_2\text{-CdIn}_2\text{S}_4$).

Оскільки AgInS_2 , In_2S_3 та CdIn_2S_4 є ізоструктурними (ПП $Fd\bar{3}m$), то це зумовлює взаємну розчинність усіх трьох компонентів – підсистема $\text{AgInS}_2\text{-In}_2\text{S}_3\text{-CdIn}_2\text{S}_4$ є однофазною.

Значну розчинність має CdS уздовж перерізу $\text{AgInS}_2\text{-CdS}$, протяжність якого сягає 41 мол. %.

Література

1. Козер В. Р., Олексеюк І. Д., Парасюк О. В. Переріз $\text{In}_2\text{S}_3\text{-CdS}$ // Вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки.– В друці.
2. Sachanyuk V. P., Gorgut G. P., Atuchin V. V., Olekseyuk I. D. and Parasyuk O. V. The $\text{Ag}_2\text{S-In}_2\text{S}_3\text{-Si(Ge)S}_2$ systems and crystal structure of quaternary sulfides $\text{Ag}_2\text{In}_2\text{Si(Ge)S}_6$ // J. Alloys Comp.– 2008.– Vol. 452, № 2.– P. 348–358.
3. Галка В. О. Фазові рівноваги в квазіпотрійних системах $\text{A}^{\text{I}}\text{X-B}^{\text{II}}\text{X-C}^{\text{III}}\text{X}_2$ (A^{I} – Cu, Ag; B^{II} – Zn, Cd, Hg; C^{III} – Ga, In; X – S, Se, Te): Автореф. дис. ... канд. хім. наук / Львів. нац. ун-т ім. І. Франка.– Л., 2001.– 20 с.
4. Томашик В. Н., Грыцив В. И. Диаграммы состояния систем на основе полупроводниковых соединений $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$.– К.: Наук. думка, 1982.– 168 с.
5. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н. Х. Абрикосов, В. Ф. Банкаина, Л. В. Поречкая и др.– М.: Наука, 1975.– 219 с.
6. Haeuseler H. X-ray investigations in the system $\text{CdIn}_2\text{S}_4\text{-CdIn}_2\text{Se}_4$ // J. Solid State Chem.– 1979.– Vol. 29.– P. 121–123.
7. Qasrawi A. F., Gasanly N. M. Crystal data, electrical resistivity, and hall mobility of n-type AgIn_5S_8 single crystals // Cryst. Res. Technol.– 2001.– Vol. 36.– P. 457–464.
8. Aksel'rud L. G., Gryn' Yu. N., Zavalij P. Yu., Pecharsky V. K., Fundamentsky V. K. CSD – Universal program package for single crystal or powder structure data treatment // Collected Abstracts 12th European Crystallographic Meeting, Moscow, 20–29 August 1989.– М.: Nauka, 1989.– Vol. 3.– P. 155.

Статтю подано до редколегії
20.10.2008 р.

УДК 546:536.42:546.56:546.681:546.289:546.23

І. Д. Олексеюк – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;
О. Ф. Змій – кандидат хімічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;
О. М. Строк – старший викладач кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;
Е. М. Кадикало – старший викладач кафедри органічної та біологічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки

Ізотермічний переріз квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{Se-Ga}_2\text{Se}_3\text{-GeSe}_2$ при 770 К

Роботу виконано на кафедрі загальної та неорганічної хімії ВНУ ім. Лесі Українки

За результатами ДТА, РФА, МСА побудовано ізотермічний переріз квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{Se-Ga}_2\text{Se}_3\text{-GeSe}_2$ при 770 К. Підтверджено існування тернарних сполук Cu_2GeSe_3 , Cu_8GeSe_6 , CuGaSe_2 . Встановлено існування

© Олексеюк І. Д., Змій О. Ф., Строк О. М., Кадикало Е. М., 2008

дефектних фаз $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ та CuGaGeSe_4 і твердих розчинів на основі тернарних, тетрарної сполук і Ga_2Se_3 .

Ключові слова: квазіпотрійна система, ізотермічний переріз, тернарна фаза.

Олексеук И. Д., Змий О. Ф., Строк О. М., Кадькало Э. М. Изотермический разрез квазитройной системы $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ при 770 К. По результатам ДТА, РФА, МСА построен изотермический разрез квазитройной системы $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ при 770 К. Подтверждено существование тернарных соединений Cu_2GeSe_3 , Cu_8GeSe_6 , CuGaSe_2 . Установлено существование дефектных фаз $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ и CuGaGeSe_4 и твердых растворов на основе тернарных, тетрарного соединения и Ga_2Se_3 .

Ключевые слова: квазитройная система, изотермический разрез, тернарная фаза.

Olekseuk I. D., Zmiy O. F., Strok O. M., Kadykalo E. M. Isothermal Section of the Quasiternary $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ System at 770 K. The isothermal section of the quasiternary $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ system at 770 K has been constructed using the methods of differential thermal, X-Ray phase and microstructural analyses. The existence of ternary compounds Cu_2GeSe_3 , Cu_8GeSe_6 , CuGaSe_2 has been confirmed. The existence of defect phases $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$, CuGaGeSe_4 and solid solutions on the base of ternary, quaternary compounds and Ga_2Se_3 , has been determined.

Key words: quasiternary system, isothermal section, ternary phase.

Постановка наукової проблеми та її значення. Квазіподвійні системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3$, $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{GeSe}_2$, $\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ утворюють квазіпотрійну систему $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$, літературні дані про яку відсутні. В системі утворюється п'ять тернарних та одна тетрарна сполуки, які, як і бінарні, мають напівпровідникові властивості.

Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Система $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3$ вивчалась у роботах [1–5]. У системі встановлено існування тернарної сполуки CuGaSe_2 , яка утворюється за перитектичною реакцією $L + \text{Cu}_2\text{Ga}_4\text{Se}_7 \Leftrightarrow \text{CuGaSe}_2$ при 1303 К [5]. Для неї існує область гомогенності, яка становить 50–58 мол. % Ga_2Se_3 при температурі відпалу. В області 73–85 мол. % Ga_2Se_3 встановлено існування дефектної фази складу $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ [6].

Дослідженню діаграми стану системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{GeSe}_2$ присвячено роботи [7–10]. Авторами [10] підтверджено існування двох тернарних сполук: Cu_2GeSe_3 та Cu_8GeSe_6 . Cu_2GeSe_3 плавиться конгруентно при 1053 К. При 1083 К відбувається перитектична реакція $L + \text{Cu}_2\text{Se} \Leftrightarrow \text{Cu}_8\text{GeSe}_6$. Взаємодії Cu_8GeSe_6 з Cu_2GeSe_3 та Cu_2GeSe_3 з GeSe_2 мають евтектичний характер. Координати евтектичних точок – 38 мол. % GeSe_2 і 1033 К, 83 мол. % GeSe_2 і 960 К. Розчинність на основі бінарних і тернарних сполук незначна [10].

Відомості про кристалохімічні характеристики бінарних, тернарних та тетрарної сполук наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Кристалохімічні характеристики сполук системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$

| Сполука | Просторова група | Періоди елементарної комірки | | | | Література |
|---|------------------|------------------------------|--------|-----------|---------|------------|
| | | a, нм | b, нм | c, нм | β | |
| Cu_2Se | $P\ 43m$ | 0,5840 | – | – | – | [11] |
| Cu_2Se | $Fm\bar{3}m$ | 0,5747 | – | – | – | [11] |
| Ga_2Se_3 | $F\ \bar{4}3m$ | 0,5422 | – | – | – | [11] |
| GeSe_2 | $P2_1/c$ | 0,7010 | 1,6796 | 1,1831 | 90,69 | [12] |
| CuGaSe_2 | $I\ \bar{4}2d$ | 0,5614 | – | 1,1102(2) | – | [13] |
| | | 0,5596 | – | 1,1004 | – | [14] |
| $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ | $I4m2$ | 0,3974(2) | – | 0,5506(2) | – | [6] |
| Cu_2GeSe_3 | $Imm2$ | 1,1854 | 0,3955 | 0,5484 | – | [15] |
| | | 1,1860 | 0,396 | 0,5485 | – | [9] |
| Cu_8GeSe_6 НТМ | $P6_3cm$ | 1,2632 | – | 1,1758 | – | [16] |
| | | 1,26438 | – | 1,17570 | – | [17] |
| Cu_8GeSe_6 ВТМ | $P6_3mc$ | 0,7632 | – | 1,1782 | – | [16] |
| | | 0,73164 | – | 1,17679 | – | [17] |
| CuGaGeSe_4 | $I\bar{4}$ | 0,5529(2) | – | 1,0559(4) | – | [18] |

Матеріали і методи. Для дослідження ізотермічного перерізу квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ було синтезовано 220 зразків. Сплави готували з простих речовин високої чистоти (Se 99,997 мас. %, Ga 99,9997 мас. %, Ge 99,9994 мас. %, Cu 99,999 мас. %) методом прямого одноступінчастого синтезу у вакуумованих до залишкового тиску 10^{-4} мм рт. ст. кварцових ампулах із застосуванням вібраційного перемішування. Максимальна температура синтезу 1420 К. Гомогенізуючий відпал проводили при 770 К. Одержані зразки вивчали методами рентгеноструктурного (дифрактометр ДРОН 4-13, CuK_α -випромінювання), мікроструктурного (ПМТ-3) та диференційно-термічного (ДТА) аналізів. Запис кривих ДТА здійснювали з використанням Pt/Pt-Rh термопари на установці, що складається з печі регульованого нагріву "Термодент", двохкоординатного самописця ПДА-1. Порошкові рентгенограми отримані на дифрактометрах ДРОН 3М та ДРОН 4-13 з використанням Ni-фільтрованого CuK_α -випромінювання.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Використовуючи літературні дані щодо систем $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3$, $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{GeSe}_2$, $\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ та власні дослідження політермічних перерізів і окремих сплавів, методами рентгенофазового, рентгеноструктурного, мікроструктурного та диференційно-термічного аналізів побудовано ізотермічний переріз квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ при 770 К (рис. 1).

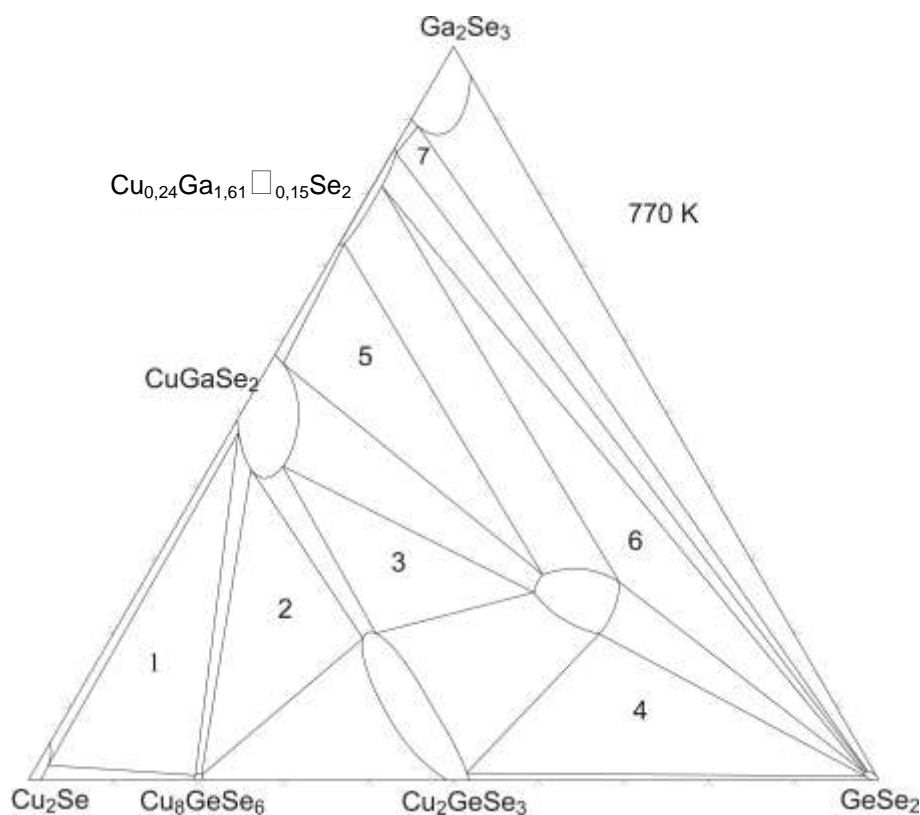
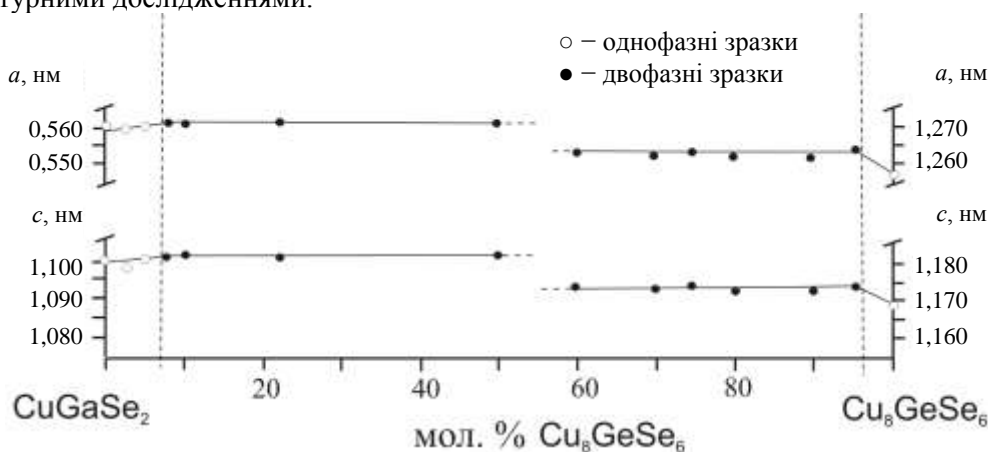


Рис. 1. Ізотермічний переріз квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ при 770 К

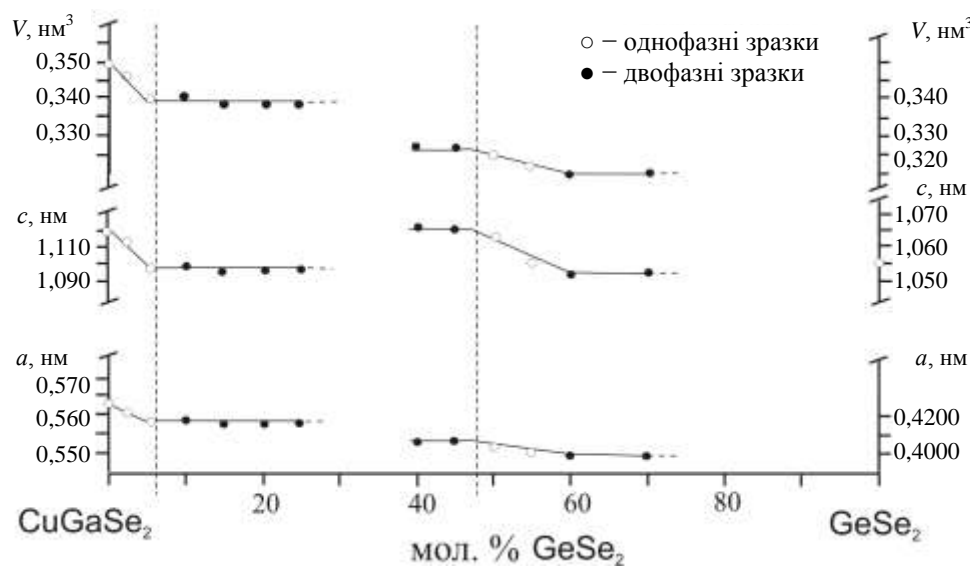
У системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ при температурі відпалу (рис. 1) підтверджено існування тернарних сполук: Cu_2GeSe_3 , Cu_8GeSe_6 , CuGaSe_2 , перша з яких плавиться конгруентно, інші мають інконгруентний характер плавлення. Виявлено існування дефектної тернарної фази $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$, тетравної сполуки CuGaGeSe_4 і встановлено їх кристалічні структури [6; 18]. Ізотермічний переріз системи $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3-\text{GeSe}_2$ при 770 К характеризується наявністю областей твердих розчинів на основі Ga_2Se_3 (0–11 мол. % Cu_2Se), більшості тернарних і тетравної фази (47–57 мол. % GeSe_2 на перерізі $\text{CuGaSe}_2-\text{GeSe}_2$ та 19–27 мол. % Ga_2Se_3 у площині трикутника).

Області гомогенності на основі CuGaSe_2 і Cu_2GeSe_3 мають найбільшу протяжність по перерізу $\text{CuGaSe}_2-\text{Cu}_2\text{GeSe}_3$: 0–6 мол. % Cu_2GeSe_3 та 41–100 мол. % Cu_2GeSe_3 . Однофазна область на основі фази $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ є істотною у системі $\text{Cu}_2\text{Se}-\text{Ga}_2\text{Se}_3$ (73–85 мол. % Ga_2Se_3) і простягається у площину концентраційного трикутника на 1 мол. % GeSe_2 . Тверді розчини на основі Cu_2Se , GeSe_2 та Cu_8GeSe_6 є незначними. Межі твердих розчинів визначалися за зміною періодів елементарних

комірок відповідних фаз (рис. 2) чи зміною мікротвердості зразків (рис. 3) і підтверджувалися мікроструктурними дослідженнями.



а)



б)

Рис. 2. Зміна періодів елементарної комірки сплавів перерізів: $\text{CuGaSe}_2\text{-Cu}_8\text{GeSe}_6$ (а); $\text{CuGaSe}_2\text{-GeSe}_2$ (б)

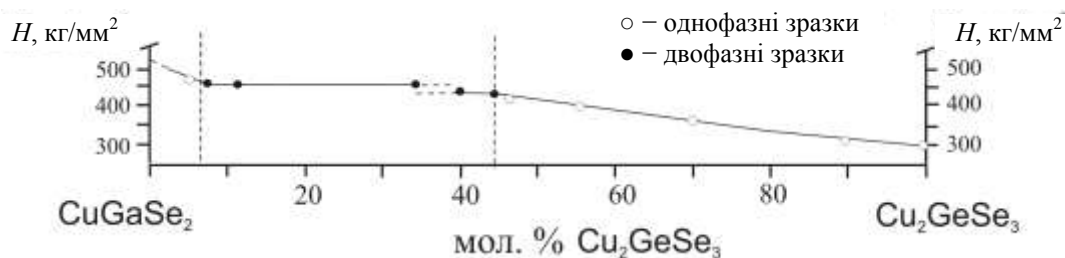


Рис. 3. Зміна мікротвердості сплавів перерізу $\text{CuGaSe}_2\text{-Cu}_2\text{GeSe}_3$

Між перерахованими однофазними областями лежать поля двофазних рівноваг: $\text{Cu}_2\text{Se} + \text{CuGaSe}_2$, $\text{Cu}_2\text{Se} + \text{Cu}_8\text{GeSe}_6$, $\text{CuGaSe}_2 + \text{Cu}_8\text{GeSe}_6$, $\text{Cu}_8\text{GeSe}_6 + \text{Cu}_2\text{GeSe}_3$, $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3 + \text{GeSe}_2$, $\text{CuGaSe}_2 + \text{Cu}_2\text{GeSe}_3$, $\text{CuGaSe}_2 + \text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$, $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2 + \text{GeSe}_2$, $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2 + \text{Ga}_2\text{Se}_3$, $\text{Ga}_2\text{Se}_3 + \text{GeSe}_2$. Вони поділяють концентраційний трикутник на 7 полів трифазних рівноваг: $\text{Cu}_2\text{Se} + \text{CuGaSe}_2 + \text{Cu}_8\text{GeSe}_6$ (1); $\text{Cu}_8\text{GeSe}_6 + \text{CuGaSe}_2 + \text{Cu}_2\text{GeSe}_3$ (2); $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3 + \text{CuGaSe}_2 + \text{CuGaGeSe}_4$ (3); $\text{Cu}_2\text{GeSe}_3 + \text{CuGaGeSe}_4 + \text{GeSe}_2$ (4);

$\text{CuGaSe}_2 + \text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2 + \text{CuGaGeSe}_4$ (5); $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2 + \text{CuGaGeSe}_4 + \text{GeSe}_2$ (6); $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2 + \text{Ga}_2\text{Se}_3 + \text{GeSe}_2$ (7) (рис. 1).

Тетрарна фаза CuGaGeSe_4 перебуває у рівновазі з тернарними Cu_2GeSe_3 , CuGaSe_2 , $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ та бінарною сполукою GeSe_2 .

Як видно з рис. 1, переріз $\text{CuGaSe}_2\text{--Cu}_2\text{GeSe}_3$, який є лінією чотирьохелектронної концентрації, поділяє досліджувану систему на дві частини, які істотно відрізняються між собою величинами областей гомогенності фаз. В частині трикутника, де утворюються катіоннодефектні структури (Ga_2Se_3 , $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$, CuGaGeSe_4), протяжність твердих розчинів на їх основі є значною. Очевидно, при взаємодії з катіоннонадлишковою сполукою Cu_2Se вакансії поступово заповнюються зі збереженням відповідних структур. Відносно характеру твердих розчинів на основі CuGaSe_2 і Cu_2GeSe_3 , то найбільша протяжність їх спостерігається вздовж лінії чотирьохелектронної концентрації. Незважаючи на те, що ці сполуки кристалізуються у різних структурних типах, просторових групах і сингоніях, вони обидві є похідними від сфалериту, і за рахунок близьких значень атомних радіусів та міжатомних віддалей утворюють тверді розчини заміщення великої протяжності. Ці розчини можна розглядати як приклад гетеровалентного ізоморфізму $3\text{Cu}^{+1} + 3\text{Ga}^{+3} \leftrightarrow 4\text{Cu}^{+1} + 2\text{Ge}^{+4}$.

Висновки. За результатами диференційно-термічного, рентгенофазового, рентгеноструктурного та мікроструктурного аналізів побудовано ізотермічний переріз квазіпотрійної системи $\text{Cu}_2\text{Se--Ga}_2\text{Se}_3\text{--GeSe}_2$ при 770 К. В системі підтверджено існування тернарних сполук Cu_2GeSe_3 , Cu_8GeSe_6 , CuGaSe_2 . Встановлено існування дефектних фаз $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ і CuGaGeSe_4 та твердих розчинів на основі Ga_2Se_3 , Cu_2GeSe_3 , CuGaSe_2 , $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ і CuGaGeSe_4 .

Література

1. Палатник Л. С., Белова Е. К. Исследование закономерностей в полупроводниковых системах типа $\text{A}_2\text{C}^{\text{VI}}\text{--B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_3$ // Изв. АН СССР. Неорганические материалы.– 1967.– Т. 3, № 12.– С. 2194–2202.
2. Палатник Л. С., Белова Е. К. О тройных халькогенидах галлия типа $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{III}}\text{C}^{\text{VI}}_2$ // Изв. АН СССР. Неорганические материалы.– 1967.– Т. 3, № 6.– С. 967–973.
3. Mikkelsen J. C. Ternary phase relations of the chalcopyrite compound CuGaSe_2 // J. Electronic Materials.– 1981.– Vol. 10, № 3.– P. 541–558.
4. Jitsukawa H., Matsushita H., Takizawa T. Phase diagrams of the $(\text{Cu}_2\text{Se}, \text{CuSe})\text{--CuGaSe}_2$ system and the crystal growth of CuGaSe_2 by the solution method // J. of Crystal Growth.– 1998.– Vol. 186.– P. 587–593.
5. Олексюк І. Д., Кадикало Е. М., Строк О. М., Змій О. Ф. Фазова діаграма системи $\text{Cu}_2\text{Se--Ga}_2\text{Se}_3$ // Наук. вісн. Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки. Хім. науки.– 2001.– № 6.– С. 22–26.
6. Змій О. Ф., Кадикало Е. М., Строк О. М., Олексюк І. Д. Кристалічна структура фази $\text{Cu}_{0,24}\text{Ga}_{1,61}\square_{0,15}\text{Se}_2$ // Укр. хім. журн.– 2001.– Т. 67, № 5.– С. 33–35.
7. Carcaly C., Chezean N., Rivet J., Flahaut J. Description du systeme $\text{GeSe}_2\text{--Cu}_2\text{Se}$. Transition de phases du compose Cu_8GeSe_6 // Bull. Soc. Chim. France.– 1973.– Vol. 4.– P. 1192–1195.
8. Зотова Т. В., Карагодин Ю. А. Исследование фазового равновесия в системах Cu--Ge(Sn)--Se по разрезам $\text{Cu}_2\text{Se--Ge(Sn)Se}_2$ // Сб. науч. тр. по проблемам микроэлектроники. Вып. XXI.– М.: МИЭТ, 1975.– С. 59–61.
9. Рогачева Е. П., Мелихова А. Н., Панасенко Н. М. Исследование системы $\text{Cu}_2\text{Se--GeSe}_2$ // Изв. АН СССР. Неорганические материалы.– 1975.– Т. 11, № 5.– С. 839–843.
10. Piskach L. V., Parasyuk O. V., Romanyuk Ya. E. The phase equilibria in the quasi-binary $\text{Cu}_2\text{GeS}_3/\text{Se}_3\text{--CdS/Se}$ systems // J. of Alloys and Compounds.– 2000.– Vol. 299.– P. 227–231.
11. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н. Х. Абрикосов, В. Ф. Банкаина, Л. Ф. Порецкая и др.– М., 1975.– 220 с.
12. Parthe E., Garin J. Zinkblende- und Wurtzituberstrukturen bei ternaren Chalkogeniden der Zusammensetzung $\text{I}_2\text{A}_6\text{B}_3$ // Monath. Chem.– 1971.– Vol. 102.– P. 1197–1208.
13. Dittmar G., Schafer H. Die Kristallstruktur von Germaniumdiselenid // Acta Cryst.– 1976.– B. 32.– S. 2726–2728.
14. Mandel L., Tomlinson R. D., Hampshire M. J. Crystal data for CuGaSe_2 // J. Appl. Cryst.– 1977.– Vol. 10.– P. 130–131.
15. Abrahams S. C., Bernstein J. L. Piezoelectric nonlinear optic CuGaSe_2 and CdGeAs_2 : Crystal structure, chalcopyrite microhardness and sublattice distortion // J. Chem. Phys.– 1974.– Vol. 61.– P. 1140–1146.
16. Gotz D., Behruzi M., Hahn Th. The low- and high-temperature crystal structure of Cu_8GeSe_6 // Twelfth European Crystallographic Meeting, Aug. 20–29, 1989: Collect. Abstr.– Moscow: USSR Acad. Sci, 1989.– Vol. 2.– С. 71.

17. Onoda M., Ishii M., Pattison P., Shibata K., Yamamoto K. and Shapuis G. Superspace – group Approach to the Phase Transition of Cu_8GeSe_6 // J. of Solid State Chem.– 1999.– Vol. 146.– P. 355–362.
18. Строк О., Змій О., Олексеюк І. Взаємодія компонентів на перерізі $\text{CuGaSe}_2\text{–GeSe}_2$ // Вісн. Львів. ун-ту. Серія хім.– № 39.– С. 72–76.

Статтю подано до редколегії
08.12.2008 р.

УДК 546:536

О. В. Парасюк – кандидат хімічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Л. В. Піскач – кандидат хімічних наук, доцент кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

Я. Є. Романюк – професор Швейцарської федеральної лабораторії тестування і вивчення матеріалів, м. Дюбендорф (Швейцарія);

І. Д. Олексеюк – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;

С. В. Волков – академік НАНУ, директор Інституту загальної та неорганічної хімії НАНУ імені В. Вернадського;

В. І. Пехньо – член-кореспондент НАНУ, заступник директора інституту загальної та неорганічної хімії НАНУ імені В. Вернадського

Складні халькогеніди як перспективні матеріали для сонячних елементів

Роботу виконано на кафедрі загальної та неорганічної хімії ВНУ ім. Лесі Українки

Проведено огляд сучасного стану виробництва сонячних елементів та місце у ньому тонкоплівкових фотовольтаїчних комірок на основі складних халькогенідів. Визначено основні проблеми у дослідженні та пошуку цих матеріалів та показано деякі власні результати, що можуть стати базою для створення СЕ із покращеними характеристиками.

Ключові слова: сонячні елементи, фотовольтаїка, гетероперехід, халькогеніди.

Парасюк О. В., Піскач Л. В., Романюк Я. Є., Олексеюк І. Д., Волков С. В., Пехньо В. І. Сложные халькогениды как перспективные материалы для солнечных элементов. Проведен обзор современного состояния производства солнечных элементов и место в нем тонкопленочных фотовольтаичных ячеек на основе сложных халькогенидов. Определены основные проблемы в исследовании и поиске таких материалов и показаны некоторые собственные результаты, которые могут стать базой для создания СЕ с улучшенными характеристиками.

Ключевые слова: солнечные элементы, фотовольтаика, гетеропереход, халькогениды.

Parasyuk O. V., Piskach L. V., Romanyuk Y. E., Olekseyuk I. D., Volkov S. V., Pekhnyo V. I. Complex Chalcogenides as Promising Materials for Solar Cells. A review of the modern state of the solar cell production and the place in it of the thin-film photovoltaic cells based on complex chalcogenides is presented. Major challenges in the search for and the investigation of such materials are defined, and our results are presented that may be the basis for the creation of solar cells with improved characteristics.

Key words: solar cells, photovoltaics, heterojunction, chalcogenides.

Постановка наукової проблеми та її значення. Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Альтернативні та відтворювальні джерела енергії, такі як енергія вітру, сонячного світла, гідро- і геотермальна енергія все більше привертають до себе увагу. Інтерес до них викликаний з одного