УДК 546.22/.68

І. Д. Олексеюк – доктор хімічних наук, професор, завідувач кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;
І. А. Іващенко – кандидат хімічних наук, доцент кафедри загальної та наорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки;
Л. Д. Гулай – доктор хімічних наук, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Волинського національного університету імені Лесі Українки;
І. В. Данилюк – магістр кафедри загальної та неорганічної хімії Волинського національного університету імені Лесі Українки

Система Ga_2Se_3–In_2Se_3

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

Методами рентгенофазового та диференційно-термічного аналізів досліджено квазібінарну систему Ga_2Se_3–In_2Se_3. За результатами досліджень та літературними даними побудовано її діаграму стану. Підтверджено існування фази γ_1, ізоструктурної до γ-In_2Se_3 (пр. гр. $P6_1$) та фази γ_2, що кристалізується в тій же пр. гр. $P6_1$.

Ключові слова: рентгенофазовий аналіз, диференційно-термічний аналіз, система Ga_2Se_3–In_2Se_3.

Олексеюк И. Д., Иващенко И. А., Гулай Л. Д., Данилюк И. В. Уточнение взаимодействия компонентов в системе Ga_2Se_3–In_2Se_3. Методами рентгенофазового и дифференциально-термического анализов исследована квазибинарная система Ga_2Se_3–In_2Se_3. По результатам исследований и литературным данным построена её диаграмма состояния. Подтверждено существование фазы γ_1, изоструктурной к γ-In_2Se_3 (пр. гр. $P6_1$) и фазы γ_2, которая кристаллизуется в той же пр. гр. $P6_1$.

Ключевые слова: рентгенофазовий анализ, дифференциально-термический анализ, система Ga_2Se_3–In_2Se_3.

Olekseyuk I. D., Ivashchenko I. A., Gulay L. D., Danulyk I. V. The Specify of Interaction of Components in the Ga_2Se_3–In_2Se_3 System. The quasi-binary system Ga_2Se_3–In_2Se_3 was investigated by XRD and differential-thermal measurements. The diagram of phase equilibrium was constructed from the investigation results and literature data. The existence of γ_1 phase, isostructural for γ-In_2Se_3 (sp. gr. $P6_1$) and phase γ_2, which crystallises in the same sp. gr. $P6_1$ were confirmed.

Key words: X-ray phase analysis, differential thermal analysis, Ga_2Se_3–In_2Se_3 system.

Постановка наукової проблеми та її значення. Аналіз останніх досліджень із цієї проблеми. Сполуки Ga_2Se_3 та In_2Se_3, за даними кількох авторів, кристалізуються в різних просторових групах (табл. 1). У роботі [4] вказується на статистичний розподіл атомів Me в тетраедричних та октаедричних пустотах. При відпалі цих сполук у певному температурному інтервалі на рентгенограмах спостерігаються надструктурні лінії, що свідчить про впорядковане розміщення атомів металу по пустотах. При цьому утворюється структура з більшою елементарною коміркою та нижчою симетрією. Здатність атомів Me до впорядкування впливає на велику кількість варіантів розрахунку структур для однієї і тієї ж модифікації, що видно з табл. 1 для різних модифікацій Ga_2Se_3 і In_2Se_3. Оскільки процес впорядкування відбувається дуже повільно, то зразки, отримані різними методами, з різною термічною обробкою, дають у межах однієї модифікації різну дифракційну картину. У роботах [14; 15] вивчалися фазові рівноваги в системі Ga_2Se_3–In_2Se_3. За цими даними в системі існують чотири фази: In_2Se_3, Ga_2Se_3, γ_1, γ_2. Тверді розчини γ_1 існують у межах 2–55 мол. % Ga_2Se_3. Для складу $(Ga_{0,4}In_{0,6})_2Se_3$ дифрактограму проіндексовано в пр. гр. $P6_122$ або $P6_522$ з параметрами елементарної комірки a = 0,698(1) нм, c = 1,894(2) нм [16; 17]. У роботі [16] внесено поправку на пр. гр. $P6_1$ і $P6_5$. На думку авторів [14; 15], фаза γ_1 може бути ізоструктурною до γ-In_2Se_3. Тверді розчини γ_2 існують у межах 60–75 мол. % Ga_2Se_3. Дифрактограма, знята для складу $(Ga_{0,6}In_{0,4})_2Se_3$, проіндексована в гексагональній сингонії, пр. гр. $P6_1$, із періодами a = 0,682(1) нм, c = 1,930(2) нм [15; 17]. При нагріванні зразків фази γ_2 вище 1100 К і швидкому охолодженні в них фіксували рефлекси кубічної структури типу ZnS. Це пояснюється авторами [15] наявністю при 1100 К фазового перетво-

© Олексеюк І. Д., Іващенко І. А., Гулай Л. Д., Данилюк І. В., 2010

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

рення, що підтверджується даними ДТА. За цими результатами побудовано метастабільну та стабільну діаграму стану системи Ga_2Se_3–In_2Se_3 (рис. 1, 2).

Таблиця 1

Кристалічна структура та деякі фізичні властивості поліморфних модифікацій Ga_2Se_3 та In_2Se_3

Полім. модиф.	Пр. гр., [л-ра]	Спосіб дослід-ження, [л-ра]	Періоди елементарної комірки, нм, [л-ра]	$T_{п.п.}$, $T_{пл}$, К, [л-ра]
α-Ga_2Se_3	$F\bar{4}3m$ [1]	полікристал [1]	a = 0,5429 [1]	---
β-Ga_2Se_3	$C1c1$ [2; 3]	полікристал [2] монокристал [3]	a = 0,66608, b = 1,16516, c = 0,66491, b = 108,84 [2]; a = 0,6661, b = 1,165, c = 0,666, b = 108,12 [3]	1293 [4]
α-In_2Se_3	$P6_3$ [5–7]	монокристал [5; 6]	a = 0,401, c = 1,924 [5]; a = 1,160, c = 1,924 [6]; a = 0,403, c = 1,910 [7]	473 [6; 10; 12; 13]
	$R3m$ [5; 8]	монокристал [5; 8]	a = 0,403, c = 1,924 [5]; a = 0,405, c = 2,877 [8]	
	$P6_3/mmc$ [9]	полікристал [9]	a = 0,4025, c = 1,9235 [9]	
β-In_2Se_3	$P6_5$ [6; 7]	монокристал [6; 7]	a = 0,711, c = 1,930 [6]; a = 0,403, c = 2,890 [7]	923 [6] 915 [12]
	$R\bar{3}m$ [8]	монокристал [8]	a = 0,405, c = 2,941 [8]	
γ-In_2Se_3	кубічна [6]	монокристал [6]	a = 1,010 [6]	1023 [6] 1038 [12]
	$P6_1$ [10; 11]	монокристал [11]	a = 0,71286, c = 1,9381 [11]	
δ-In_2Se_3	моноклінна [6]	монокристал [6]	–	1173 [6] 1161 [13]
	гексагональна [9]	полікристал [9]	a = 0,4014, c = 0,964 [9]	

Враховуючи те, що нами заплановано дослідження квазіпотрійної системи Ag_2Se–Ga_2Se_3–In_2Se_3 у повному концентраційному та температурному інтервалах 875–1400 К, необхідні точні дані по фазових рівновагах у квазібінарній системі Ga_2Se_3–In_2Se_3. Оскільки остаточного варіанту її діаграми стану не існує, виникає потреба дослідити цю систему.

Матеріали і методи. Для подальшого дослідження системи отримано 21 сплав у повному концентраційному інтервалі. Синтез сплавів проводили у кварцових ампулах, вакуумованих до залишкового тиску 0,1 Па, шляхом ступінчастого нагрівання простих речовин (Ga – 99,999 ваг.%, In – 99,999 ваг. %, Se – 99,9997 ваг. %) до максимальної температури 1300 К. Гомогенізуючий відпал проводили при 820 К протягом 300 год та при 1110 К протягом 240 год. Отримані зразки досліджували методом рентгенофазового аналізу (РФА), який проводили за дифрактограмами (рентгенівський дифрактометр ДРОН 4-13, CuK_α-випромінювання). Зйомка дифрактограми для складу $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$ проводилася на установці ДРОН 4-13, CuK_α-випромінювання, крок сканування $2\theta = 0{,}05°$, час експозиції 15 с. Криві диференційно-термічного аналізу записувалися з використанням Pt/Pt-Rh термопари на установці, що складається з печі регульованого нагріву “Термодент” і двокоординатного самописця Н307-1 *XY*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

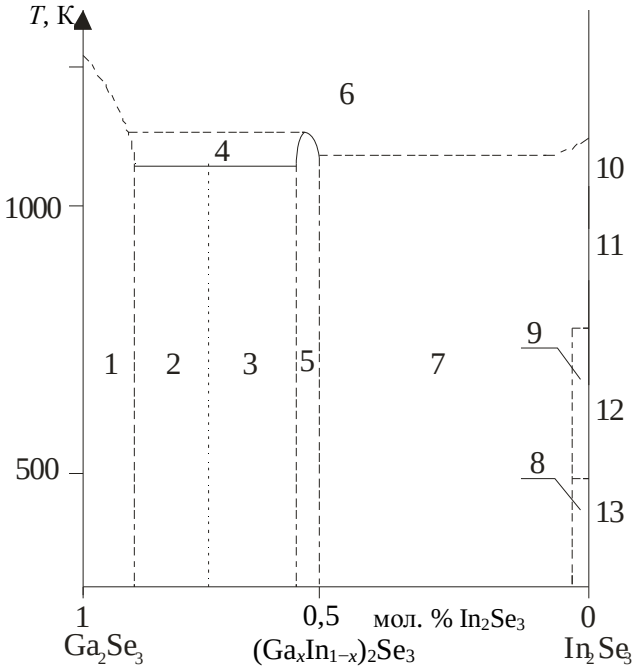


Рис. 1. *Метастабільна діаграма стану системи Ga_2Se_3–In_2Se_3 [15]: 1 - α-Ga_2Se_3; 2; 3 – α-Ga_2Se_3 + γ_2; 4 - α-Ga_2Se_3 + L; 5 - γ_2 + γ_1; 6 - L; 7 - γ_1; 8 - γ_1 + α-In_2Se_3; 9 - γ_1 + β-In_2Se_3; 10 - δ-In_2Se_3; 11 - γ-In_2Se_3; 12 - β-In_2Se_3; 13 - α-In_2Se_3*

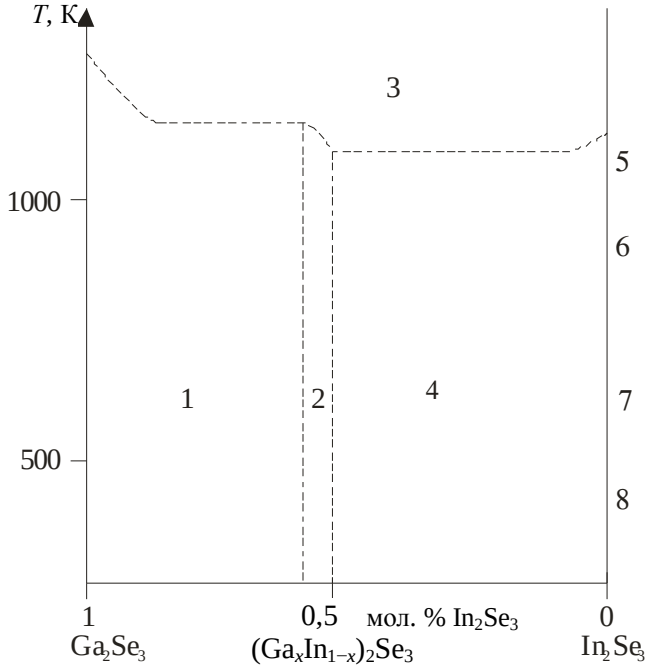


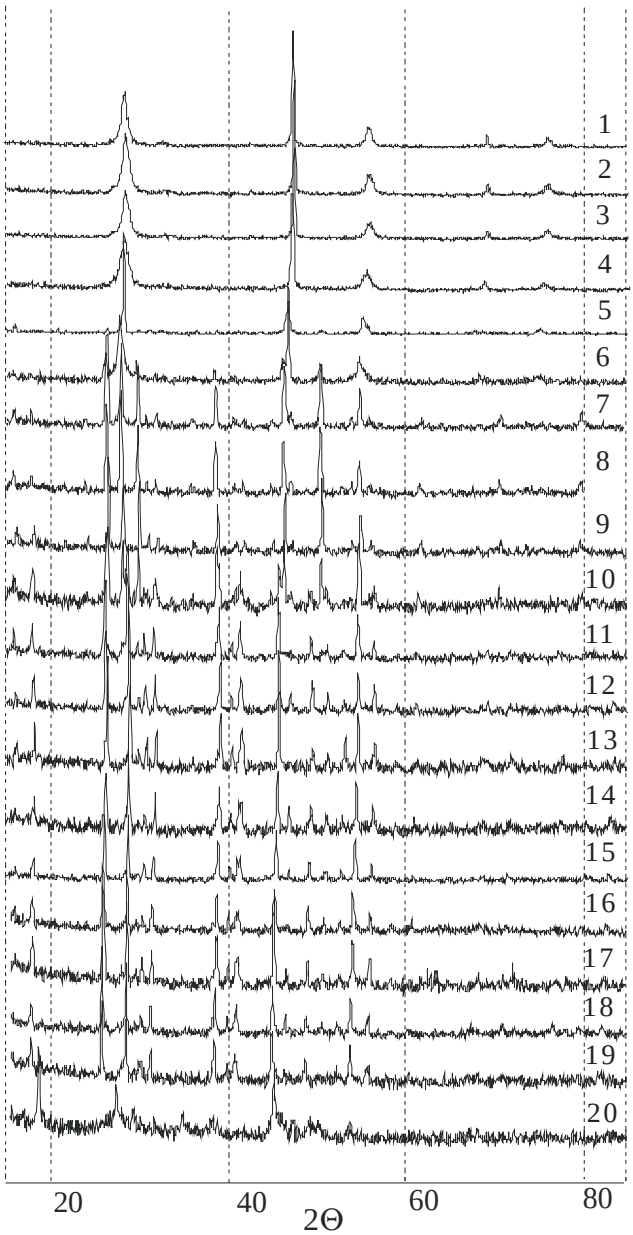
Рис. 2. *Стабільна діаграма стану системи Ga_2Se_3–In_2Se_3 [15]: 1 - α-Ga_2Se_3; 2 - α-Ga_2Se_3 + γ_1; 3 - L; 4 - γ_1; 5 - δ-In_2Se_3; 6 - γ-In_2Se_3; 7 - β-In_2Se_3; 8 - α-In_2Se_3*

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Результати РФА зразків, відпалених при 820 К, наведено на рис. 3. Дифрактограма Ga_2Se_3 індексується в кубічній сингонії, пр. гр. $F\bar{4}3m$, із періодом решітки a = 0,5423(4) нм. Область гомогенності на основі Ga_2Se_3 простягається до 17 мол. % In_2Se_3 при зміні періодів решітки до a = 0,5476(3) нм для зразка складу $(Ga_{0,8}In_{0,2})_2Se_3$. В області 32–42 мол. % In_2Se_3 існує фаза γ_2, що була проіндексована в гексагональній сингонії, пр. гр. $P6_1$. Періоди елементарної комірки в області її існування змінюються від a = 0,68291(9) нм, c = 1,9324(3) нм для складу $(Ga_{0,7}In_{0,3})_2Se_3$ до a = 0,6871(8) нм, c = 1,9373(2) нм для

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

складу $(Ga_{0,55}In_{0,45})_2Se_3$, що добре збігається з літературними даними [14; 15; 17]. Дифрактограму знято для складу $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$, уточнено в гексагональній сингонії, пр. гр. $P6_1$, результати розрахунку наведено в табл. 2–4, рис. 4. В області 57–97 мол. % In_2Se_3 існує фаза γ_1, дифрактограму якої проіндексовано в гексагональній сингонії, пр. гр. $P6_1$. Періоди елементарної комірки в області її існування змінюються від a = 0,6974(1) нм, c = 1,9003(4) нм для складу $(Ga_{0,45}In_{0,55})_2Se_3$ до a = 0,7120(1) нм, c = 1,9346(7) нм для складу $(Ga_{0,05}In_{0,95})_2Se_3$, що добре збігається з літературними даними [14; 15; 17]. Для In_2Se_3 при 820 К отримується низькотемпературна α-модифікація, що індексується у пр. гр. $P6_3/mmc$ із періодами елементарної комірки a = 0,40242(5) нм, c = 1,9251(2) нм, що добре узгоджується з даними [9].

Рис. 3. *Результати РФА зразків системи Ga_2Se_3–In_2Se_3, відпалених при 820 К: 1 – Ga_2Se_3; 2 – $(Ga_{0,95}In_{0,05})_2Se_3$; 3 – $(Ga_{0,90}In_{0,10})_2Se_3$; 4 – $(Ga_{0,85}In_{0,15})_2Se_3$; 5 – $(Ga_{0,80}In_{0,20})_2Se_3$; 6 – $(Ga_{0,75}In_{0,25})_2Se_3$; 7 – $(Ga_{0,70}In_{0,30})_2Se_3$;*



8 – $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$; 9 – $(Ga_{0,60}In_{0,40})_2Se_3$; 10 – $(Ga_{0,55}In_{0,45})_2Se_3$; 11 – $(Ga_{0,50}In_{0,50})_2Se_3$; 12 – $(Ga_{0,45}In_{0,55})_2Se_3$; 13 – $(Ga_{0,40}In_{0,60})_2Se_3$; 14 – $(Ga_{0,35}In_{0,65})_2Se_3$; 15 – $(Ga_{0,30}In_{0,70})_2Se_3$; 16 – $(Ga_{0,25}In_{0,75})_2Se_3$; 17 – $(Ga_{0,20}In_{0,80})_2Se_3$; 18 – $(Ga_{0,15}In_{0,85})_2Se_3$; 19 – $(Ga_{0,10}In_{0,90})_2Se_3$; 20 – In_2Se_3

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

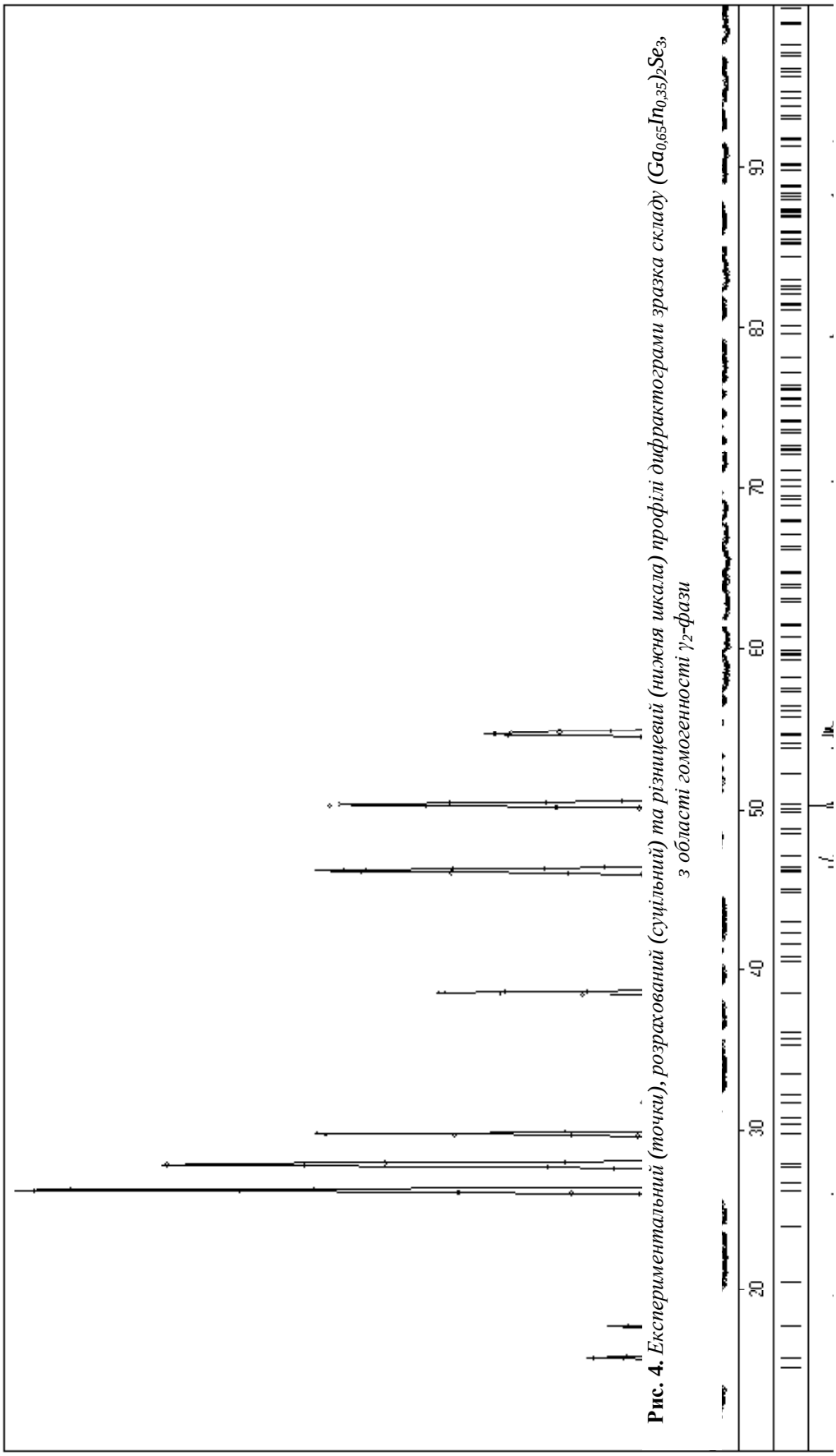


Рис. 4. *Експериментальний (точки), розрахований (суцільний) та різницевий (нижня шкала) профілі дифрактограми зразка складу* $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$, *з області гомогенності* γ_2*-фази*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Таблиця 2

Результати уточнення кристалічної структури зразка складу $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$ з області існування фази γ_2

Склад сплаву	$(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$
Просторова група	$P\,6_1$
a, нм	0,68328(2)
c, нм	1,93335(7)
V (нм^3)	0,78169(7)
Кількість атомів у комірці	30,0
Розрахована густина (г/см^3)	5,2214(5)
Коефіцієнт абсорбції (1/см)	615,09
Випромінювання; довжина хвилі (нм)	Cu; 1,54178
Дифрактометр	ДРОН 4-13
Спосіб обрахунку	повнопрофільний
Кількість вільних параметрів	22
R_I, *Rp*	0,0761, 0,1153
Шкальний фактор	0,942(7)
Вісь текстури і параметр	[101], 1,40(6)

Таблиця 3

Параметри атомів у структурі зразка складу $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$ з області існування фази γ_2

Атом	ПСТ	*x/a*	*y/b*	*z/c*	Зайнятість позицій	$B_{ізот.}\times10^2$, нм^2
M1	6(a)	0,649(2)	0,662(2	0,1611(2)	0,80(4) Ga + 0,20(4) In	1,0(2)
M2	6(a)	0,3397(10)	0,336(2)	0,00000	0,54(2) In + 0,46(2) Ga	0,8(2)
Se1	6(a)	0,342(2)	0,333(2)	0,2076(2)	1	1,1(2)
Se2	6(a)	0,004(2)	0,3694(13)	0,0333(2)	1	0,8(2)
Se3	6(a)	0,011(2)	0,6990(14)	0,2000(3)	1	0,9(2)

Таблиця 4

Міжатомні відстані та координаційні числа атомів у структурі зразка складу $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$ з області існування фази γ_2

Атоми	Відстань, нм	К. ч.
M1 1 Se1 1 Se3 1 Se3 1 Se2	2,356(15) 2,48(2) 2,486(7) 2,50(2)	4
M2 1 Se1 1 Se2 1 Se3 1 Se2	2,464 2,502 2,513 2,586	4
Se1 1 M1 1 M2	2,356(15) 2,464	2
Se2 1 M1 1 M2 1 M2	2,501(14) 2,502 2,586	3
Se3 1 M1 1 M1 1 M2	2,48(2) 2,486(7) 2,513	3

Додатково сплави перерізу відпалено при 1110 К і проведено їх РФА (рис. 5). Порівнюючи рис. 3 і 5, видно, що характер фазових рівноваг суттєво не змінився, лише області гомогенності γ_1 і γ_2 зазнають деякого, до 5 мол. %, зменшення. Область гомогенності Ga_2Se_3 збільшується до 22 % In_2Se_3,

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

а зразки складів $(Ga_{0,1}In_{0,9})_2Se_3$ і $(Ga_{0,05}In_{0,95})_2Se_3$ стають двофазними і містять, окрім відбиттів γ_1-фази, ще додаткові рефлекси, які належать одній із модифікацій In_2Se_3. Для чистого зразка In_2Se_3 отримано α-модифікацію, з домішками γ-In_2Se_3.

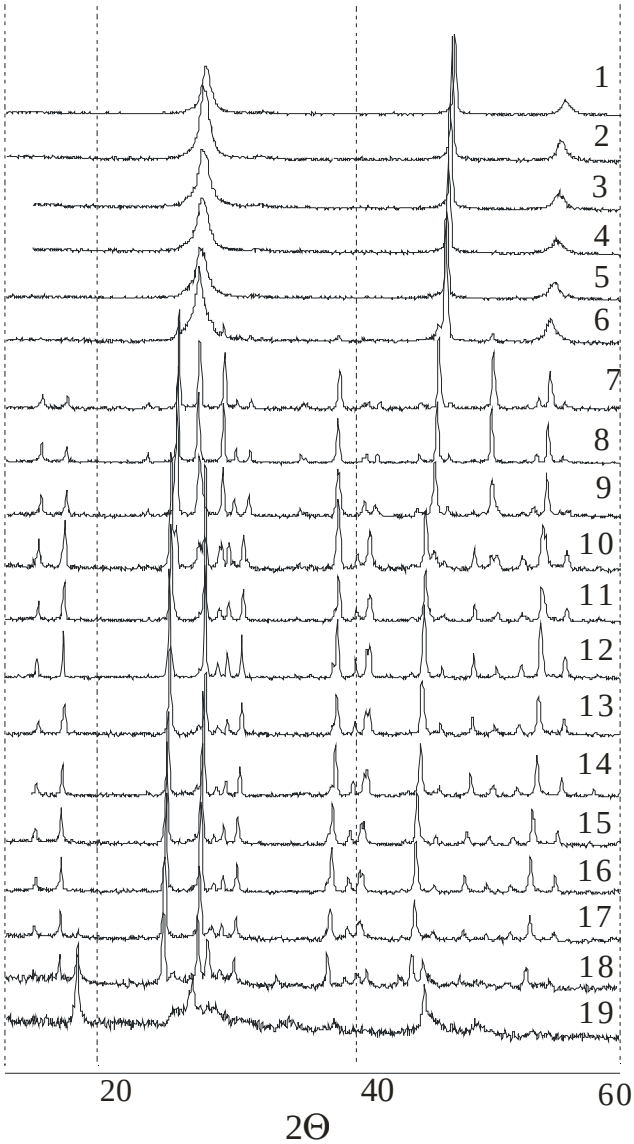


Рис. 5. *Результати РФА зразків системи Ga_2Se_3–In_2Se_3, відпалених при 1110 К: 1 – $(Ga_{0,95}In_{0,05})_2Se_3$; 2 – $(Ga_{0,90}In_{0,10})_2Se_3$; 3 – $(Ga_{0,85}In_{0,15})_2Se_3$; 4 – $(Ga_{0,80}In_{0,20})_2Se_3$; 5 – $(Ga_{0,75}In_{0,25})_2Se_3$; 6 – $(Ga_{0,70}In_{0,30})_2Se_3$; 7 – $(Ga_{0,65}In_{0,35})_2Se_3$; 8 – $(Ga_{0,60}In_{0,40})_2Se_3$; 9 – $(Ga_{0,55}In_{0,45})_2Se_3$; 10 – $(Ga_{0,50}In_{0,50})_2Se_3$; 11 – $(Ga_{0,45}In_{0,55})_2Se_3$; 12 – $(Ga_{0,40}In_{0,60})_2Se_3$; 13 – $(Ga_{0,35}In_{0,65})_2Se_3$; 14 – $(Ga_{0,30}In_{0,70})_2Se_3$; 15 – $(Ga_{0,25}In_{0,75})_2Se_3$; 16 – $(Ga_{0,20}In_{0,80})_2Se_3$; 17 – $(Ga_{0,15}In_{0,85})_2Se_3$; 18 – $(Ga_{0,05}In_{0,95})_2Se_3$; 19 – In_2Se_3*

За даними ДТА та літературними даними побудовано діаграму фазових рівноваг системи Ga_2Se_3–In_2Se_3 (рис. 6). При температурах 1150 К та 1130 К відбуваються евтектичні процеси $L \leftrightarrow \alpha + \gamma_1$ та $L \leftrightarrow \varepsilon + \gamma_1$ відповідно, де α – тверді розчини на основі Ga_2Se_3 зі структурою сфалериту, γ_1 – фаза, існування якої встановлено за даними РФА, ізоструктурна до γ-In_2Se_3, та ε-тверді розчини на основі ε-модифікації In_2Se_3. При температурі 1120 К у системі проходить твердофазне утворення γ_2-фази за рівнянням $\alpha + \gamma_1 \leftrightarrow \gamma_2$. Область гомогенності цієї фази зі зниженням температури збільшується і при температурі відпалу сягає до 11 мол. %. α-тверді розчини мають протяжність до 50 мол. % In_2Se_3 при температурі 1150 К, зі зниженням температури вони зменшуються і при температурі відпалу становлять 17 мол. % In_2Se_3. Фаза γ_1 має велику область існування, від 60 до 88 мол. % In_2Se_3 при температурі 1110 К, і збільшується до 97 мол. % In_2Se_3 при температурі 820 К. На нашу думку, γ_1-фаза – це стабілізована присутністю катіонів Ga^{3+} γ-модифікація In_2Se_3. При складі $(Ga_{0,2}In_{0,8})_2Se_3$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

на ліквідусі системи існує максимум при температурі 1165 К, який пояснюється конгруентним характером плавлення γ_1-фази. Наявність двофазної області $\beta + \gamma_1$ зумовлене зниженням температури поліморфного перетворення γ-$In_2Se_3 \leftrightarrow \beta$-$In_2Se_3$ за присутності катіонів Ga^{3+}, що для чистого In_2Se_3 відбувається при 923 К. При 1023 К проходить поліморфне перетворення ε-$In_2Se_3 \leftrightarrow \gamma$-$In_2Se_3$, що добре узгоджується з літературними даними [6]. Розчинність на основі ε-In_2Se_3 є незначною, до 5 мол. %, при температурі евтектичного процесу 1130 К.

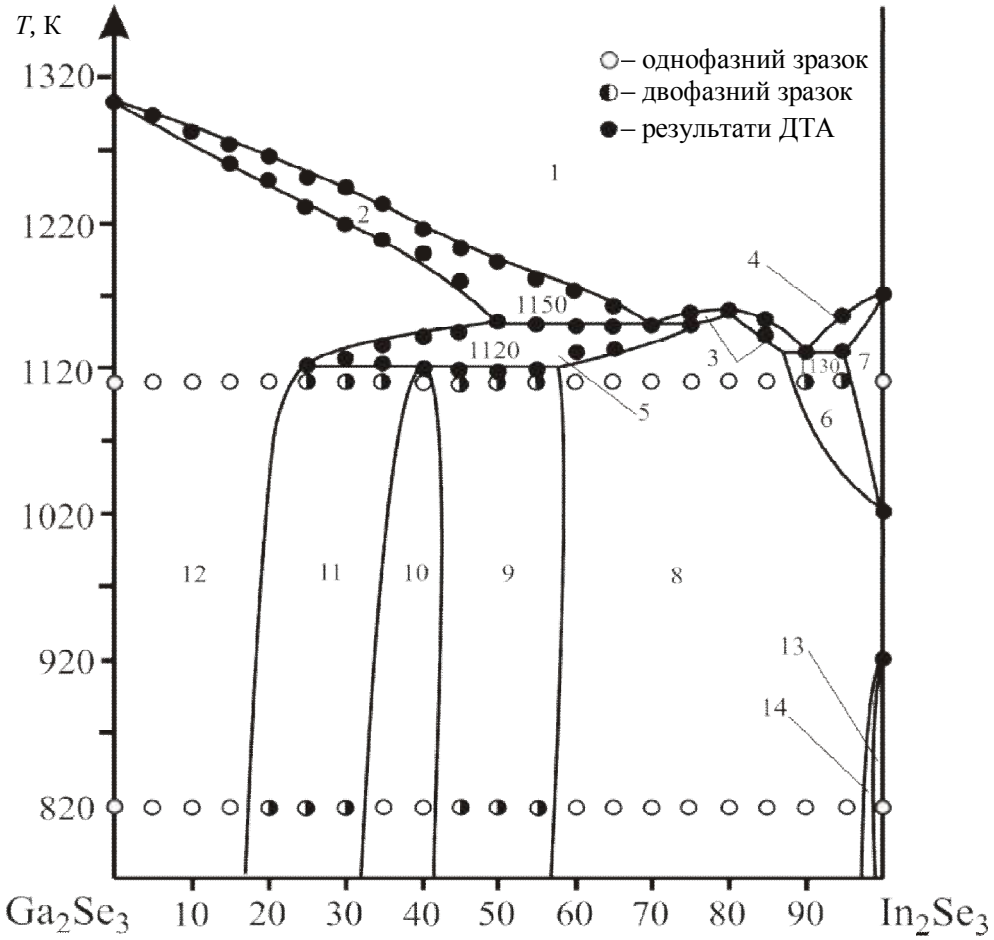


Рис. 6. *Діаграма стану системи Ga_2Se_3–In_2Se_3: 1 – L; 2 – L + α; 3 – L + γ_1; 4 – L + ε, 5 - α + γ_1; 6 – ε + γ_1; 7 - ε, 8 – γ_1; 9 – γ_1 + γ_2; 10 – γ_2; 11 – α + γ_2; 12 – α; 13 - β; 14 - γ_1 + β*

Висновки. Характер взаємодії компонентів у системі Ga_2Se_3–In_2Se_3 виявився досить складним, що зумовлено утворенням двох проміжних фаз γ_1 та γ_2 із широкими областями гомогенності, а також твердих розчинів на основі вихідних компонентів. Утворення проміжних фаз характерне для такого типу систем, наприклад Al_2Se_3–In_2Se_3 ($AlInSe_3$) [18], Al_2S_3–In_2S_3 ($AlInS_3$) [19], Ga_2S_3–In_2S_3 ($GaInS_3$) [20], які, як правило, кристалізуються в гексагональній сингонії, пр. гр. $P6_1$ або $P6_5$. Для фаз, що утворюються в системі Ga_2S_3–In_2S_3, характерна більша різноманітність структур, що, очевидно, пояснюється різним впорядкуванням атомів Ме в цих структурах.

Література

1. Hahn H. Ueber die Kristallstrukturen von Ga_2S_3, Ga_2Se_3 und Ga_2Te_3 / H. Hahn, W. Klingler // Z. Anorg. Allg. Chem. – 1949. – Vol. 259. – P. 135.
2. Luebbers D. The crystal structure of beta-Ga_2Se_3 / D. Luebbers, V. Leute // J. Solid State Chem. – 1982. – Vol. 43. – P. 339.
3. Ghemard G. Structure de la phase ordonnee du sesquiseleniure de gallium, Ga_2Se_3 / G. Ghemard, S. Jaulmes, J. Etienne, J. Flahaut // Acta Cryst. C. – 1983. – Vol. 39. – P. 968.
4. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н. Х. Абрикосов, В. Ф. Банкина, Л. В. Порецкая и др. – М. : Наука, 1975. – 219 с.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5. Miyazawa H. Phase transition of In_2Se_3 / H. Miyazawa, S. Sugaike // J. Phys. Soc. Japan. – 1957. – Vol. 12. – P. 312.
6. Медведева З. С. Выращивание монокристалов селенида индия из газовой фазы / З. С. Медведева, Т. Н. Гулиев // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1965. – Т. 1, № 6. – С. 848.
7. De Blasi C. E1ectron diffraction study of In_2Se_3 melt grown crystals / C. De Blasi, D. Manno, G. Micocci, A. Tepore // J. Crystal Growth. – 1989. – Vol. 96. – P. 947.
8. Osamura K. Crystal structues of α- and β-Indium Selenide, In_2Se_3 / K. Osamura, J. Murakami, J. Tomile // Japan J. Phys. Soc. – 1966. – Vol. 21, № 9. – P. 1848.
9. Popovic S. Revised and new crystal data for indium selenides / S. Popovic, A. Tonejc, B. Grzeta-Plencovic, B. Celustka, R. Trojko // J. Appl. Cryst. – 1979. – Vol. 12. – P. 416.
10. Hahn H. Zur kristallstructur des In_2Se_3 / H. Hahn, G. Frank // Naturwiss. – 1957. – Vol. 44. – P. 533.
11. Pfitzner A. Redetermination of the crystal structure of r-In_2Se_3 by twin crystal X-Ray method / A. Pfitzner, H. D. Lutz // J. Solid State Chem. – 1996. – Vol. 124. – P. 305.
12. Никольская Г. Ф. К вопросу о проводимости триселенида индия в твёрдом и жидком состояниях / Г. Ф. Никольская, Т. Н. Гулиев, И. В. Евфимовский, Г. Н. Кагирова // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1965. – Т. 1, № 2. – С. 171.
13. Гриндберг Я. Х. p-T-x – диаграмма состояния и термодинамические свойства In_2Se_3 / Я. Х. Гриндберг, В. А. Борякова, В. Ф. Шевельков, З. С. Медведева // Изв. АН СССР. Неорган. материалы. – 1972. – Т. 8, № 12. – С. 2099.
14. Popovic S. et al. X-Ray Diffraction Study and semiconducting properties of the system Ga_2Se_3−In_2Se_3 / S. Popovic et al. // Phys. Stat. Sol. (a). – 1977. – Vol. 41. – P. 255.
15. Tonejc A. Phases, lattice parameters and thermal expansion of $(Ga_xIn_{1-x})_2Se_3$, $1 \geq x \geq 0$, between room temperature and melting point / A. Tonejc // I. Appl. Cryst. – 1980. – Vol. 13. – P. 24.
16. Popovic S. The spase group of γ-In_2Se_3 and γ_1-$(Ga_xIn_{1-x})_2Se_3$: erratum / S. Popovic // J. Appl. Cryst. − 1980. – Vol. 13. – P. 611.
17. Ye J. X-ray crystallographic study of the optically active semiconductor $(Ga_xIn_{1-x})_2Se_3$ / J. Ye, T. Hanada, Y. Nakamura, O. Nittono // Phys. Rev. B. – 2000. – Vol. 62. – P. 16549.
18. B. Grzeta-Plenkovic. An X-ray diffraction study of the system Al_2Se_3 – In_2Se_3 in the In-rich region / B. Grzeta-Plenkovic, S. Popovic, D. Desnica, U. Desnica // J. Appl. Cryst. – 1980. – Vol. 13. – P. 454.
19. Schulte-Kellinghaus M. Structure of aluminium indium trisulphide / M. Schulte-Kellinghaus, V. Kraemer // Acta Cryst. B. – 1979. – Vol. 35. – P. 3016.
20. Guseinov G. G. Crystal structure of $GaInS_3$ and $GaInSe_3$ / G. G. Guseinov, I. R. Amiraslanov, A. S. Kuliev, Kh. S. Mamedov // Izv. Akad. Nauk SSSR, Neorgan. Mat. – 1987. – Vol. 23. – P. 854.

Статтю подано до редколегії
10.03.2010 р.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com