

РОЗДІЛ I

Експериментальна фізика

УДК 621.315.592

Іван Кітик
Сергій Данильчук
Галина Мирончук
Марія Мозолюк
Володимир Божко
Андрій Кримусь

Отримання та фотоелектричні властивості твердих розчинів $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0-0,25$)

Розроблено технологічні умови вирощування монокристалів твердих розчинів $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0-0,25$). Рентгенівським методом порошку розшифровано кристалічну структуру сплавів й запропоновано механізм утворення твердого розчину. Досліджено спектральний розподіл фотопровідності отриманих кристалів при $T = 300$ К та термостимульовану провідність. Показано вплив катіонного заміщення In^{3+} на Sn^{4+} у твердих розчинах $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0-0,25$) на їх кристалографічні та фотоелектричні властивості.

Ключові слова: термостимульована провідність, фотопровідність, твердий розчин, кристалічна структура.

Постановка наукової проблеми та її значення. Дослідження закономірностей, які відбуваються у гетерогенних системах під дією різноманітних зовнішніх факторів, представляє значний інтерес для фізики і хімії твердого тіла.

Переходячи від елементарних добре вивчених напівпровідників до потрійних, ускладнюється кристалічна структура, що призводить до виникнення нових фізичних властивостей. Дослідження багатоконпонентних сполук дає змогу розширити можливості їх використання у сучасній техніці [6; 9; 23].

Можливості отримання нових матеріалів істотно розширюються, використовуючи тверді розчини.

Перспективними матеріалами, які широко використовуються у техніці, є кристали групи $A^III B^III C_2^{VI}$ ($A - Tl$; $B - In, Ga$; $C - S, Se, Te$). До напівпровідникових матеріалів цієї групи належить і потрійна сполука $TlInSe_2$. Дослідження цих кристалів і твердих розчинів на їх основі в літературі представлено великою кількістю публікацій.

У [11; 12; 18, 20–22] оптичними методами визначено ширину забороненої зони кристалів. У [20–22] установлено, що зі збільшенням вмісту $SnSe_2$, $SiSe_2$, $GeSe_2$ ширина забороненої зони зростає, що пов'язано з механізмом утворення твердого розчину.

У процесах перенесення заряду в твердих розчинах на основі $TlInSe_2$ спостерігається температурна залежність електропровідності $\sigma(T)$, яку можна екстраполювати в системі координат $\ln(\sigma) - 1/T$ декількома прямими з різними енергіями активації (E_A), що відповідає різним механізмам переносу [1; 7; 8; 19].

Вплив заміщення In^{3+} на Sn^{4+} і In^{3+} на Se^{4+} на електричні властивості твердих розчинів досліджувались у [8; 19].

Сполуки $TlInSe_2$ і їх тверді розчини є фоточутливими матеріалами [2; 10]. У [10] дослідження спектрального розподілу фотопровідності показали, що максимум припадає на ділянки власних оптичних переходів і зі збільшенням температури зміщується в ділянку менших енергій. При ізовалентному заміщенні атомів In атомами Pb ширина забороненої зони зменшується, а ділянка спектральної чутливості зміщується у ІЧ-ділянку [2]. У роботі [14] досліджено спектри термостимульованої про-

відності TlInSe_2 , визначено енергії залягання рівнів прилипання, площу захоплення, концентрацію пасток.

Мета роботи – отримати і дослідити кристалічну структуру однофазних твердих розчинів на основі селено-індату талію $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0-0,25$), а також вивчити вплив дефектів структури на їх фотоелектричні властивості.

Методика отримання та дослідження монокристалів. Для синтезу зразків твердих розчинів $\text{TlInSe}_2\text{-SnSe}_2$ використовувались елементи Tl, In, Sn, Se (чистотою не менше 99,99 ваг. %). Підготовлені компоненти завантажували у кварцові контейнери. Завантажені ампули були вакуумовані до тиску $1,33 \cdot 10^{-2}$ Па і герметизовані за допомогою киснево-газового пальника.

Зразки системи $\text{TlInSe}_2\text{-SnSe}_2$ нагрівали до температури 1220 К, при якій витримували упродовж 5-ти год. Витримавши, розплави охолоджували зі швидкістю 10-20 К/год. до температури гомогенізувального відпаалу (670 К), який становив 500 год, після чого ампули гартувалися у холодній воді.

Рентгенівським методом порошку встановлено структуру сплавів у ділянці існування твердого розчину. Результати уточнення кристалічної структури представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати уточнення кристалічної структури твердого розчину $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0-0,25$)

x	0	0,1	0,2	0,25
Просторова група	$I4/mcm$			
a , нм	0,80711(2)	0,80870(7)	0,80906(4)	0,80906(4)
c , нм	0,68372(1)	0,67997(7)	0,67604(1)	0,67438(4)
V , нм ³	0,4453(3)	0,447(1)	0,4430(2)	0,44143(7)
Випромінювання, довжина хвилі, нм	Cu K α : 0,154185			
Дифрактометр	ДРОН 4-13			
Спосіб обрахунку	Повнопрофільний			
Кількість атомних позицій	3			
Кількість вільних параметрів	6			
Розрахункова густина D_x , г/см ³	7,116(4)	6,826(2)	6,552(2)	6,4242(9)
Коефіцієнт абсорбції μ , 1/см	1314,23	1247,88	1093,62	1130,68
2θ і $\sin\theta/\lambda_{(\text{макс})}$	99,59 і 0,495	99,46 і 0,495	99,59 і 0,495	99,55 і 0,495
Вісь текстури і параметр	[3 1 0] і 0,73(6)	[2 1 0] і 0,283(9)	[1 0 0] і 0,48(2)	[0 0 1] і 1,64(2)
R_1 і R_p	0,0551 і 0,1124	0,0552 і 0,1116	0,0500 і 0,1267	0,0551 і 0,1044

Сплав зі складом 25 мол. % SnSe_2 близький до граничного. Як модель для розрахунку кристалічної структури використано структуру з'єднання TlInSe_2 [17]. Атоми статистичної суміші In + Sn займають, як представлено на рис. 1, тетраедричне оточення із атомів Se, тоді як атоми Tl перебувають у тетрагонально антипризматичному оточенні із атомів Se. Атоми Se перебувають у тригонально-призматичному оточенні із атомів катіонів.

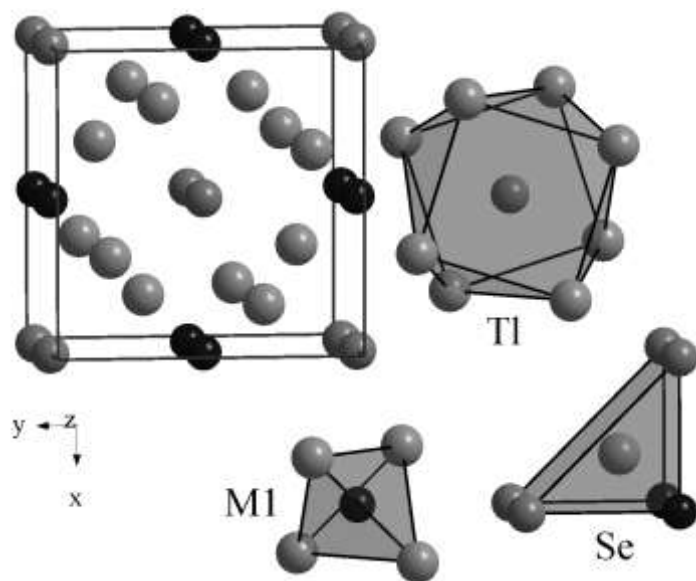


Рис. 1. Розташування та координаційні поліедри атомів у структурі твердого розчину $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$

Координати атомів і параметри теплового коливання атомів для $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0-0,25$) наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Координати та ізотропні параметри теплового коливання атомів у структурі твердого розчину $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0-0,25$)

Атом	ПСТ	x	y	z	КЗП	$B_{izo} \cdot 10^2, \text{нм}^2$
$Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0$)						
Tl	4a	0	0,5	0,25	1	1,68(9)
In	4b	0	0	0,25	1	1,14(13)
Se	8h	0,1721(9)	x + 0,5	0	1	0,85(14)
$Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0,1$)						
Tl	4a	0	0,5	0,25	0,9Tl	4,14(8)
M1	4b	0	0	0,25	0,9In + 0,1Sn	1,63(8)
Se	8h	0,1730(3)	x + 0,5	0	1	1,43(9)
$Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0,2$)						
Tl	4a	0	0,5	0,25	0,8Tl	3,74(11)
M2	4b	0	0	0,25	0,8In + 0,2Sn	1,47(9)
Se	8h	0,1727(3)	x + 0,5	0	1	1,01(9)
$Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0,25$)						
Tl	4a	0	0,5	0,25	0,75Tl	3,77(6)
M3	4b	0	0	0,25	0,75In + 0,25Sn	0,87(4)
Se	8h	0,1717(2)	x + 0,5	0	1	0,78(5)

$$M1 = 0,9In + 0,1Sn; M2 = 0,8In + 0,2Sn; M3 = 0,75In + 0,25Sn.$$

У межах існування твердого розчину $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$ ($x = 0-0,25$) відбувається монотонне зменшення об'єму елементарної комірки за рахунок віднімання атомів Tl у положенні 4a, яке явно не може компенсуватися за рахунок заміщення атомів In на атоми Sn. Завищені значення теплових параметрів B_{izo} для атомів Tl можна пояснити, виходячи із відстаней між ними порівняно із сумою їх іонних радіусів ($r(Tl^+) = 0,173$ нм) [15].

Монокристали твердих розчинів вирощували методом напрямленої кристалізації Бріджмена–Стокбаргера.

Попередньо приготовлені ростові контейнери поміщали у верхню зону ростової печі до повного розплавлення шихти. Після розплавлення ампулу опускали в зону кристалізації і витримували 24 години, щоб закристалізувати 3–4 мм. Після цього опускали зі швидкістю 5 мм/добу спеціальним механізмом, який складається із електричного двигуна й редуктора.

Після повної кристалізації піч охолоджували зі швидкістю 100 К/добу до кімнатної температури. Отримані монокристали твердого розчину були завдовжки 30 мм і діаметром 9 мм (рис. 2).

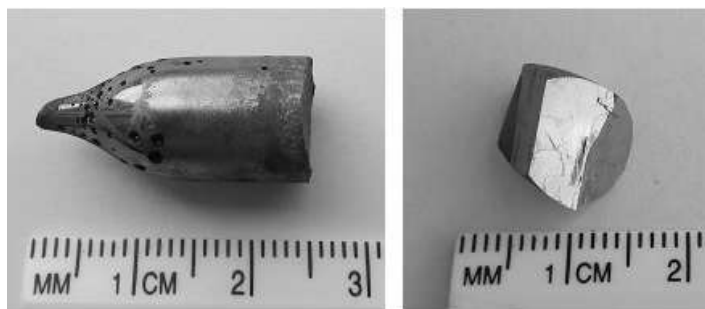


Рис. 2. Видяк монокристалів $Tl_{0,9}In_{0,9}Sn_{0,1}Se_2$ та їхніх сколів

Щоб виготовити досліджувані зразки, отримані кристали сколювали в середній частині монокристалічного злитка уздовж площини спайності (001). Поверхні кристалів були дзеркально гладкими (рис. 2), що дало змогу використовувати їх для дослідження без будь-якої додаткової обробки.

Для проведення фотоелектричних досліджень з плоскопаралельних сколів вирізали зразки у формі паралелепіпедів. Омичні контакти наносили плавленням індію до протилежних поверхонь пластин.

Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження. Фотоелектричні властивості. Монокристали твердого розчину $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0-0,25$) є фоточутливими матеріалами. Кратність фотовідклику до інтегрального світла освітленістю $L = 10^4$ Лк (σ_C / σ_T , де σ_C – провідність при освітленні, σ_T – провідність у темряві) представлена в табл. 3.

Таблиця 3

Кратність фотовідклику твердого розчину $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ при $T = 300$ К

Зразок	$x = 0$	$x = 0,10$	$x = 0,20$	$x = 0,25$
σ_C / σ_T	1,02	1,1	1,3	1,9

На рис. 3 представлено спектральний розподіл фотопровідності (ФП) монокристалів $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0,1-0,25$) при $T = 300$ К.

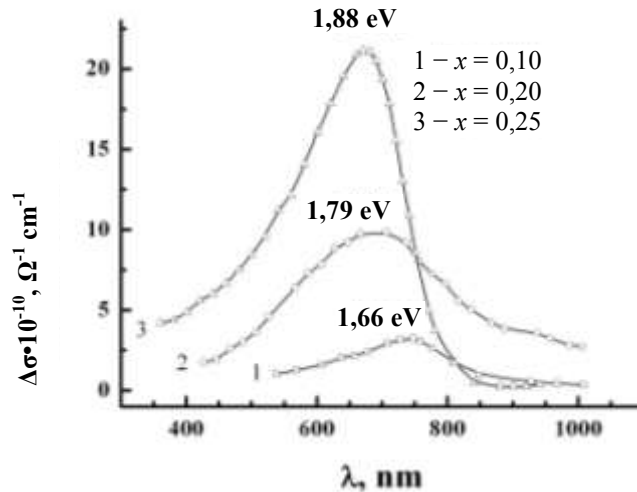


Рис. 3. Спектральний розподіл фотопровідності кристалів твердого розчину $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0,1 - 0,25$) при $T = 300$ К

З рисунка видно, що при 300 К максимуми фотопровідності лежать в ділянці 660, 690, 745 нм для $x = 0,25; 0,20; 0,10$ відповідно. Із аналізу оптичних досліджень у ділянці фундаментальних переходів [22] встановлено, що ці максимуми відповідають за власну провідність.

Зміщення максимумів фотопровідності від $\lambda_m = 745$ нм (при $x = 0,1$) до $\lambda_m = 660$ нм (при $x = 0,25$) обумовлено зміною ширини забороненої зони [22].

Водночас, зі збільшенням x фоточутливість досліджуваних кристалів збільшується (рис. 3, табл. 3).

Можна припустити, що зростання фоточутливості при збільшенні x , тобто збільшенні ширини забороненої зони (рис. 3), відбувається внаслідок перерозподілу рекомбінаційного потоку дірок із s -центрів швидкої рекомбінації на r -центри повільної рекомбінації. Роль s -центрів, як правило, виконують різні структурні дефекти [5], r -центри, катіонні вакансії (V_{Tl}). Разом зі зростанням E_g розчину може змінюватися відстань між рівнем Фермі та рівнями r - і s -центрів, що впливатиме на їх заповнення носіями і, відповідно, на рекомбінаційні потоки через ці центри.

На основі наших досліджень можна запропонувати модель перезарядки центрів, яка пояснює спостережувані явища і не суперечить експериментальним результатам (рис. 4).

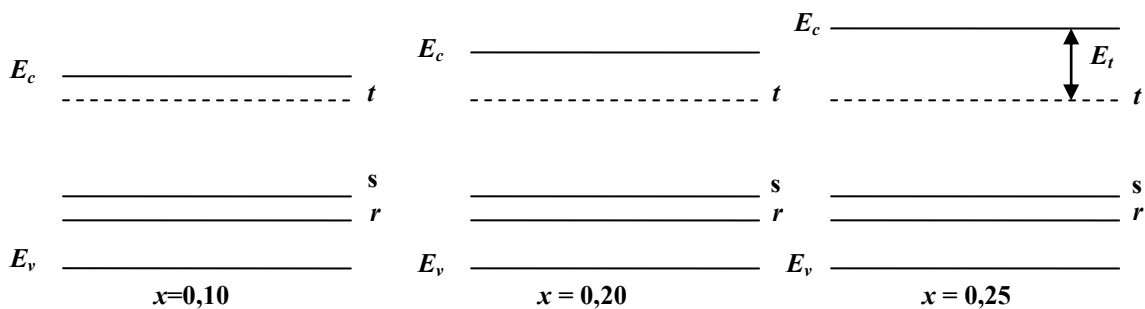


Рис. 4. Схематична модель розподілу центрів рекомбінації й прилипання в зразках твердого розчину

Припустимо, що центри t зв'язані з валентною зоною, тобто не змінюють свого положення щодо валентної зони. Подібні центри часто трапляються у напівпровідниках [3]. Так, при зростанні E_g зростає енергетичне положення t -центрів (E_T) щодо зони провідності.

Роль і центрів прилипання, і центрів рекомбінації можуть виконувати t -центри (залежно від E_T і температури) для електронів. Якщо темп термозбудження електронів, захоплених t -центрами, назад в зону провідності вищий, ніж темп їх рекомбінації з дірками валентної зони, то t -центри будуть виконувати роль пасток [4]:

$$n_i v S_n N_c e^{-\frac{E_i}{kT}} > n_i v S_p p, \quad (1)$$

де n_i – концентрація захоплених t -центрами електронів, v – швидкість вільних носіїв заряду в зонах, S_n – переріз захоплення електрона центром t із зони провідності, S_i – переріз захоплення дірки t -центром, p – концентрація дірок у валентній зоні, N_c – щільність електронних станів на дні зони провідності.

Якщо темп рекомбінації дірок із електронами, які захопили t -центри, більший за темп їх збудження у зону провідності, то t -центри відіграють роль центрів рекомбінації, й у рівнянні (1) слід змінити знак на протилежний:

$$n_i v S_n N_c e^{-\frac{E_i}{kT}} < n_i v S_p p. \quad (2)$$

Для сполук з малим значенням E_i захоплення збуджених у зону провідності електронів центрами прилипання незначне і всі вони рекомбінуватимуть із нерівноважними дірками через r - і s -центри. При цьому заповнення електронами r - і s -центрів буде максимальним, а час життя дірок τ_p у валентній зоні мінімальним:

$$\tau_p = \frac{1}{v S_p n_c}, \quad (3)$$

де S_p – переріз захоплення дірки центром із валентної зони, n_c – концентрація електронів на центрах рекомбінації (r - і s -центрах).

Фоточутливість пропорційна рухливості дірок (μ), яку вважатимемо однаковою для розчинів різного кількісного складу та часу їх життя у валентній зоні:

$$\Delta\sigma \sim \mu\tau.$$

При збільшенні E_T , що спостерігаємо при зростанні x і відповідно E_g твердого розчину, збільшується ефективність центрів прилипання (формула (1)), що проявляється в більшому заповненні t -центрів електронами і зменшення їх концентрації в зоні провідності, а також на центрах рекомбінації. Це зумовлюватиме зростання τ_p (формула (3)) і фоточутливості зразка.

Термостимульована провідність. Для одержання значень енергетичного спектра рівнів прилипання носіїв заряду монокристалів твердого розчину $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_x\text{Sn}_x\text{Se}_2$ в діапазоні температур 77–300 К було досліджено спектри термостимульованої провідності. Для цього попередньо охолоджені до $T = 77$ К зразки упродовж 30 хв опромінювали світлом з $\lambda = 660$ нм, водночас відбувалось заповнення пасток електронами. Тоді лазер вимикався і починався нагрів кристала до кімнатної температури із швидкістю 0,025 К/с. В результаті чого на кривих термостимульованої провідності (ТСП) спостерігались максимуми, які відповідають за звільнення електронів із пасток (рис. 5)

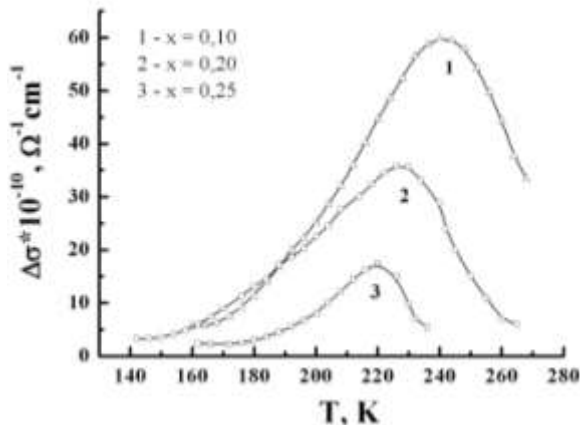


Рис. 5. Спектри ТСП монокристалів $\text{Pb}_{1-x}\text{In}_x\text{Sn}_x\text{Se}_2$ (швидкість нагрівання 0,025 К/с)

На рис. 5 представлено криві термостимульованої провідності твердого розчину різних кількісних складів.

Загалом форма кривих ТСП досить складна, в літературі аналізується початок наростання струму, його максимум, спад, ширина тощо.

На початковому етапі іонізації пастки експериментальна залежність $\sigma(T)$ має експоненційний характер. Для оцінки енергії залягання рівня прилипання використали формулу, яка не залежить від типу рівня прилипання [13]:

$$\sigma = const \exp\left(-\frac{E_t}{kT}\right),$$

де σ відповідає початку максимуму ТСП.

За нахилом $\ln(\sigma)=f(1/T)$ оцінюємо енергію E_t . Недоліком цього методу є те, що початкова ділянка максимуму ТСП часто спотворюється іншими (що близько лежать) рівнями прилипання.

Щоб точніше визначити параметри рівнів прилипання, потрібно знати тип рівнів прилипання. Аналіз форми піків ТСП показує [16], що для всіх спостережуваних піків виконується умова:

$$\delta > e^{-1} \left(1 + \frac{2kT_m}{E_t}\right),$$

де величина δ , знаходиться з умови за формулою:

$$\delta = \frac{T_m - T_1}{T_2 - T_1},$$

де T_m – температура, при якій ТСП досягає свого максимального значення, T_1, T_2 – температура, яка відповідає половині максимуму ТСП зі сторони низької і високої температури.

Виконання цієї умови вказує на наявність у кристалі швидких центрів прилипання.

Енергія залягання пастки визначається формулою:

$$E_t = \frac{k \cdot T_m^2}{T_m - T_1}.$$

Результати обчислень представлено у табл. 4.

Таблиця 4

Глибина залягання рівнів прилипання монокристалів $Tl_{1-x}In_{1-x}Sn_xSe_2$

Зразок	$x = 0,10$	$x = 0,20$	$x = 0,25$
E_t, eV	0,08	0,12	0,22

Значення енергії іонізації рівнів прилипання добре узгоджується з результатом авторів роботи [19].

Висновки та перспективи подальшого дослідження. На основі отриманих у роботі результатів розроблено оптимальні умови синтезу і вирощування монокристалів твердого розчину. За результатами рентгенофазового і рентгеноструктурного аналізу встановлено кристалічну структуру. Показано, що зі збільшенням вмісту $SnSe_2$ у твердому розчині зростає концентрація V_{Tl} , ширина забороненої зони і fotocутливість отриманих кристалів. Методом термічно стимульованої провідності встановлено тип рівнів прилипання й оцінено енергію залягання цих рівнів.

Роботу виконано за підтримки Міністерства освіти та науки України (Договір М/106-2014 від 23.06.2014 h/).

Джерела та література

1. Влияние ионизирующего излучения на механизм токопрохождения в монокристаллах $TlInSe_2$ / [Р. С. Мадатов, А. И. Наджафов и др.] // Физика твердого тела. – 2011. – Т. 53, № 11. – С. 2097–2101.
2. Годжаев Э. М. Фотоэлектрические свойства монокристаллов $TlIn_{1-x}Pr_xSe_2$ ($0 \leq x \leq 0,04$) / Э. М. Годжаев, Г. С. Джафаров // Неорганические материалы. – 2009. – Т. 45, № 11. – С. 1317–1319.
3. Гурвич А. М. Введение в физическую химию кристаллофосфоров / А. М. Гурвич. – М. : Высш. шк. – 1982. – 376 с.
4. Давидюк Г. Є. Нерівноважні процеси в напівпровідниках : навч. посіб. / Г. Є. Давидюк. – Луцьк : РВВ «Вежа» Волин. держ. ун-ту ім. Лесі Українки, 2000. – 151 с.
5. Лашкарев В. Е. Неравновесные процессы в фотопроводниках / В. Е. Лашкарев, А. В. Любченко, М. К. Шейнкман. – Киев : Наук. думка, 1981. – 263 с.

6. Особенности низкотемпературной электро- и фотопроводимости твердых растворов $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$ / [В. В. Божко, А. В. Новосад и др.] // ФТП. – 2014. – Т. 48, вып. 6. – С. 747–752
7. Суперионная проводимость, эффект переключения и памяти в кристаллах TlInSe_2 и TlInTe_2 / [Р. М. Сапдарлы, О. А. Самедов и др.] // Физика и техника полупроводников. – 2011. – Т. 45, № 11. – С. 1441–1445.
8. Электрические и оптические свойства монокристаллов $\text{Tl}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Se}_2$ ($0 \leq x \leq 0,04$) / [Э. М. Годжаев, С. И. Сафарова, Н. З. Джалилов, А. А. Абдуррагимов] // Неорганические материалы. – 2007. – Т. 43, № 43. – С. 670–672.
9. $\text{Ag}_2\text{CdSnS}_4$ single crystals as promising materials for optoelectronic / [G. E. Davydyuk, G. L. Myronchuk and o.] // Optical Materials. – 2011. – Vol. 33 – P. 1302–1306.
10. Badr A. M. Spectral photoelectric features of TlInSe_2 single crystals / A. M. Badr, I. M. Ashraf // Phys. Scr. – 2012. – Vol. 86. – 7 p.
11. Bakhyshev A. E. Electrical and Optical Properties of TlInSe_2 Single Crystals / A. E. Bakhyshev, M. F. Agaeva, A. M. Darvish // Phys. Stat. Sol. (b). – 1979. – Vol. 91. – P. 31–34.
12. Fan H. Y. Infra-red absorption in semiconductors / H. Y. Fan // Rep. Progr. Phys. – 1956. – Vol. 19. – P. 107–153.
13. Garlic G. F. T. The Electron Trap Mechanism of Luminescence in Sulphide and Silicate Phosphors / G. F. T. Garlic, A. F. Gibson // Phys. Soc. A. – 1948. – Vol. 60. – P. 574–590.
14. Gasanly N. M. Thermally Stimulated Current Study of Shallow Traps in As-Grown TlInSe_2 Chain Crystals / N. M. Gasanly, T. Yildirim // Acta physica polonica (a). – 2011. – Vol. 119. – P. 437–441.
15. Holleman A. F. Lehrbuch der Anorganischen Chemie / A. F. Holleman, E. Wiberg. – Berlin : Walter de Gruyter, 1995. – 2150 p.
16. Litovchenko P. G. Актуальные вопросы физики полупроводниковых приборов / P. G. Litovchenko, V. I. Ustianov. – Vilnius : Mokslas, 1960. – С. 153.
17. Muller D. Zur structur ternarer chalcogenide des Talliums mit Aluminium, Gallium und Indium / D. Muller, F. Poltmann, H. Hahn // Z. Naturforsch. B. – 1974. – Vol. 29, № 1–2. – P. 117–118.
18. On the non-linear properties of TlInX_2 ($X = \text{S, Se, Te}$) ternary compounds / [M. Haniyas, A. N. Anagnostopoulos, K. Kambas, J. Spyridelis] // Physica B. – 1989. – Vol. 160. – P. 154–160.
19. Photoelectrical properties and the electronic structure of $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.25$) single crystalline alloys / [G. E. Davydyuk, O. Y. Khyzhun and o.] // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2013. – Vol. 15. – P. 6965–6972.
20. Structural and optical features of novel $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Ge}_x\text{Se}_2$ chalcogenide crystals / [O. V. Zamurueva, G. L. Myronchuk and o.] // Optical Materials. – 2014. – Vol. 37. – P. 614–620.
21. Structural and optical properties of novel optoelectronic $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Si}_x\text{Se}_2$ single crystals / [G. L. Myronchuk, O. V. Zamurueva and o.] // J. Mater. Sci: Mater. Electr. – 2014. – Vol. 25. – P. 3226–3232.
22. $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0, 0.1, 0.2, 0.25$) single-crystalline alloys as promising non-linear optical materials / [G. L. Myronchuk, G. E. Davydyuk and o.] // J. Mater. Sci: Mater. Electr. – 2013. – Vol. 24, № 9. – P. 3555–3563.
23. «Triggering» effect of second harmonic generation in centrosymmetric $\alpha\text{-BaB}_2\text{O}_4$ crystals / [V. T. Adamiv, J. Ebothe and o.] // Optical Materials. – 2008. – Vol. 31, I. 4. – P. 685–687.

Китык Иван, Данильчук Сергей, Мирончук Галина, Мозолюк Мария, Божко Владимир, Крымусь Андрей. Получение и фотоэлектрические свойства твердых растворов $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0\text{--}0,25$). Разработаны технологические условия выращивания монокристаллов твердых растворов $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0\text{--}0,25$). Рентгеновским методом порошка расшифрована кристаллическая структура сплавов и предложен механизм образования твердого раствора. Исследованы: спектральное распределение фотопроводимости полученных кристаллов при $T = 300$ К, термостимулированная проводимость. Показано влияние катионного замещения In^{3+} на Sn^{4+} в твердых растворах $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0\text{--}0,25$) на их кристаллографические и фотоэлектрические свойства.

Ключевые слова: термостимулированная проводимость, фотопроводимость, твердый раствор, кристаллическая структура.

Kityk Ivan, Danylchuk Sergiy, Myronchuk Galyna, Mozolyuk Mariya, Bojko Volodymyr, Krymus' Andriy. Preparation and photoelectric properties of solid solutions $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0\text{--}0,25$). The technological conditions for growth of solid solutions $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0\text{--}0,25$) single crystals have been developed. The crystal structure of the alloy has been solved by X ray diffraction powder method, the mechanism of the solid solution formation is proposed. Spectral distribution of photoconductivity for obtained crystals at $T = 300$ K and thermoinduced conductivity have been studied. The effect of In^{3+} for Sn^{4+} cationic substitution in solid solutions $\text{Tl}_{1-x}\text{In}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}_2$ ($x = 0\text{--}0,25$) on their crystallographic and photovoltaic properties is shown.

Key words: thermoinduced conductivity, photoconductivity, solid solution crystal structure.

Стаття надійшла до редколегії
02.06.2014 р.