

Володимир Божко,  
Олексій Новосад,  
Василь Козер,  
Неоніла Божко,  
Віктор Кулик

## Випрямні та фотоелектричні властивості поверхнево-бар'єрних структур, отриманих термообробкою монокристалів $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$

У роботі отримані поверхнево-бар'єрні структури на основі монокристалів твердого розчину  $n\text{-Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  ( $x=0-20$ ). Досліджено вольт-амперні характеристики та фотоелектричні властивості структур  $\text{In}_2\text{O}_3/n\text{-Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$ . Обговорено механізми проходження електричного струму через  $\text{In}_2\text{O}_3/n\text{-Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  та особливості їх спектрального розподілу фотонапруги.

**Ключові слова:** монокристали, поверхнево-бар'єрні структури, вольт-амперна характеристика, фотовольтаїчний ефект.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Нині багато дослідників приділяють увагу пошуку нових перспективних матеріалів як головному джерелу розширення функціональних можливостей приладів напівпровідникової електроніки. Магістральним напрямом у вирішенні цього завдання виявилось застосування багатокомпонентних матеріалів і твердих розчинів на їх основі. Зумовлено це тим, що багатьом із них властива залежність фізичних властивостей від атомного складу і дефектності кристалічної решітки. Важливе місце серед багатокомпонентних напівпровідникових матеріалів займають халькогенідні сполуки з алмазоподібною структурою. До них відносять тернарні  $\text{A}_1\text{C}_{\text{III}}\text{X}_2$  напівпровідники, які є похідними від сполук типу  $\text{V}_{\text{II}}\text{X}$  (X-S, Se, Te).

Монокристали  $\text{CuInSe}_2$ , а також тверді розчини на їх основі, часто використовують як матеріали поглинаючого шару тонкоплівкових гетеропереходів сонячних елементів [11; 12; 15]. Варто зазначити, що ефективність фотоелектричних перетворювачів на основі  $\text{CuInSe}_2$  залежить і від типу гетеропереходу, так і від методу його отримання. У зв'язку із цим кількість наукових праць із розробки нових технологій отримання та дослідження електричних і фотоелектричних процесів у різних типах енергетичних бар'єрів на сполуках  $\text{CuInSe}_2$  та на основі їх твердих розчинів постійно зростає. Представлена робота належить даному актуальному напрямку і присвячена першим дослідженням випрямних та фотоелектричних властивостей бар'єрних структур оксид-твердий розчин  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$ .

**Мета і завдання статті.** Мета статті – методом відпалу в повітряному середовищі монокристалів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  отримати поверхнево-бар'єрні структури оксид-твердий розчин  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$ . Провести дослідження їх випрямних та фотоелектричних властивостей. Завдання – на основі даних, отриманих із експериментальних досліджень, встановити основні електричні та фотоелектричні параметри поверхнево-бар'єрних структур. Із аналізу вольт-амперних характеристик зробити висновки про механізми проходження струму через енергетичні бар'єри.

**Методика і техніка експерименту.** Технологія вирощування та результати рентгеноструктурних досліджень твердого розчину  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  n-типу провідності представлені в роботі [10]. Для вирощування монокристалів використовувався горизонтальний варіант методу Бріджмена-Стокбаргера. Детально схема установки і процес вирощування подібних кристалів даним методом описані в [13; 14]. Досліджувані монокристали відповідали компонентному складові 5, 10, 15 і 20 мол.%  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ .

Із [5; 7; 9] відомо, що при взаємодії монокристалів  $\text{CuInSe}_2$  з киснем повітряного середовища при  $T=400-700$  °C можна утворити контакт  $\text{CuInSe}_2$  з шаром широкозонного оксиду  $\text{In}_2\text{O}_3$  n-типу провідності. Для одержання поверхнево-бар'єрних структур шляхом шліфування й полірування алмазними пастами різної зернистості виготовлялися зразки у формі прямокутних пластин зі злитків, отриманих при вирощуванні твердих розчинів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$ . Середні розміри пластин становили  $\sim 3 \times 4 \times 1$  мм<sup>3</sup>. Термообробку пластин проводили за температури  $T=550$  °C протягом часу  $t=25$  хв.

Охолоджувалися зразки до кімнатної температури так само, як і в роботі [7], зі швидкістю 300 К/хв. У результаті на поверхні монокристалів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  утворилися однорідно забарвлені прозорі шари фіолетового кольору. Після завершення термообробки утворені шари видаляли з усіх сторін пластини, крім однієї.

Таким чином, з урахуванням літературних даних [5; 7; 9], можна стверджувати, що отримані структури є контактом n- $\text{In}_2\text{O}_3$  і сполук n- $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  різного компонентного складу.

Для проведення досліджень електричних і фотоелектричних властивостей на отримані структури наносили точкові контакти зі струмопровідного лаку на основі срібла. Попередні дослідження вольт-амперних характеристик (ВАХ) на зразках  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  (без бар'єрів) показали, що контакти є омичними і нейтральними щодо освітлення. Випрямні властивості бар'єрних структур на основі монокристалів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  досліджували на стандартних установках. Дослідження спектрального розподілу фотонапруги здійснювали на монохроматорі МДР-206 із датчиком на основі Si-фотоприймача. Джерелом фотозбудження слугувала галогенна лампа. Потужність падаючого на зразок світла оцінювали вимірювачем оптичної потужності ИМО-2Н.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.** Результати експериментальних досліджень деяких електричних, оптичних та фотоелектричних властивостей монокристалів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  та бар'єрних структур  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  представлені в наших роботах [1–3; 10] і табл. 1. Слід відзначити, що особливістю електричних властивостей твердих розчинів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  є зменшення питомої електропровідності монокристалів при збільшенні вмісту другої компоненти в сполуці (табл. 1) та близький до виродженого стан сплавів із 5 і 10 мол.%  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  [3; 10]. Згідно з [2], за температур, близьких до кімнатної, монокристали твердого розчину  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  виявилися практично нефоточутливими. При збільшенні вмісту  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  ширина забороненої зони ( $E_g$ ) сполук зростала (табл. 1). Представлені в табл. 1 значення  $E_g$  оцінювались за положенням краю оптичного поглинання при коефіцієнті поглинання  $\alpha=350 \text{ см}^{-1}$ .

Таблиця 1

**Електричні та фотоелектричні властивості монокристалів  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  та поверхнево-бар'єрних структур на їх основі при  $T \approx 300 \text{ К}$**

$x$	$\sigma, (\text{Ом}\cdot\text{см})^{-1}$	$\mu, \text{см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$	$n, \text{см}^{-3}$	$E_g, \text{еВ}$	$R_0, \text{Ом}$	$U_0, \text{В}$	$K$
0,05	3,6	60	$3,82 \cdot 10^{17}$	1	780	0,6	2
0,10	3,3	35	$5,56 \cdot 10^{17}$	1,02	1570	1,2	6,7
0,15	0,14	130	$6,72 \cdot 10^{15}$	1,06	2200	6	4
0,20	$9,2 \cdot 10^{-3}$	70	$8,40 \cdot 10^{14}$	1,08	6100	9	2

На рис. 1 і 2 представлені типові ВАХ бар'єрних структур  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  із вмістом 10 і 15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . Для зразків із вмістом 5 і 20 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  результати досліджень ВАХ аналогічні. Прямому зміщенню досліджуваних структур відповідає від'ємний потенціал зовнішньої напруги на підложці n- $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$ . Числове значення коефіцієнта випрямлення  $K$ , який визначався відношенням прямого струму до зворотного при сталій напрузі ( $U \approx U_0$ ), подано в табл. 1. Із отриманих, таким чином, даних видно що кращими випрямними властивостями володіють структури  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  з 10–15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ .

Із ВАХ, представлених на рис. 1 і 2, видно, що деякій напрузі  $U > U_0$  (табл. 1) пряма вітка ВАХ добре описується лінійним рівнянням

$$I = \frac{U - U_0}{R_0},$$

де  $U_0$  – напруга відсікання,  $R_0$  – послідовний опір.

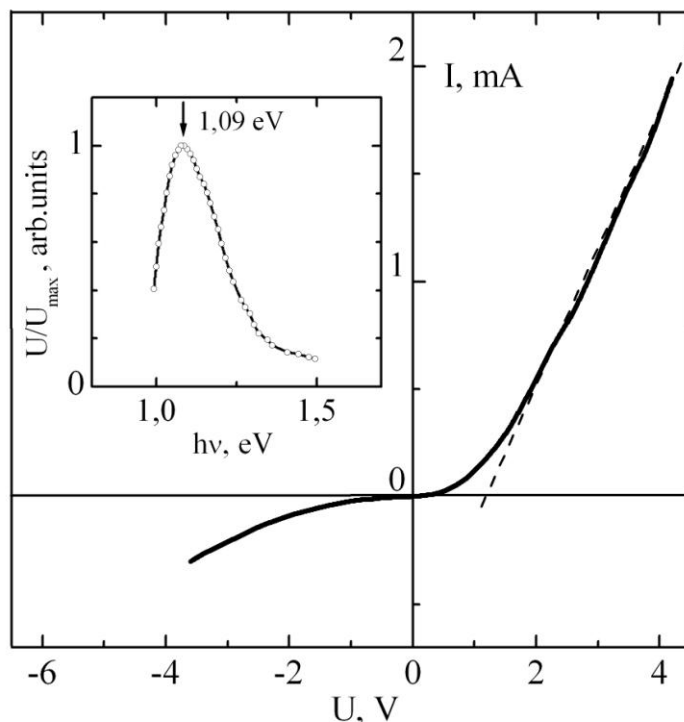


Рис. 1. Стационарна ВАХ поверхнево-бар'єрної структури  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  із вмістом 10 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . На вставці її спектральний розподіл фотонапруги

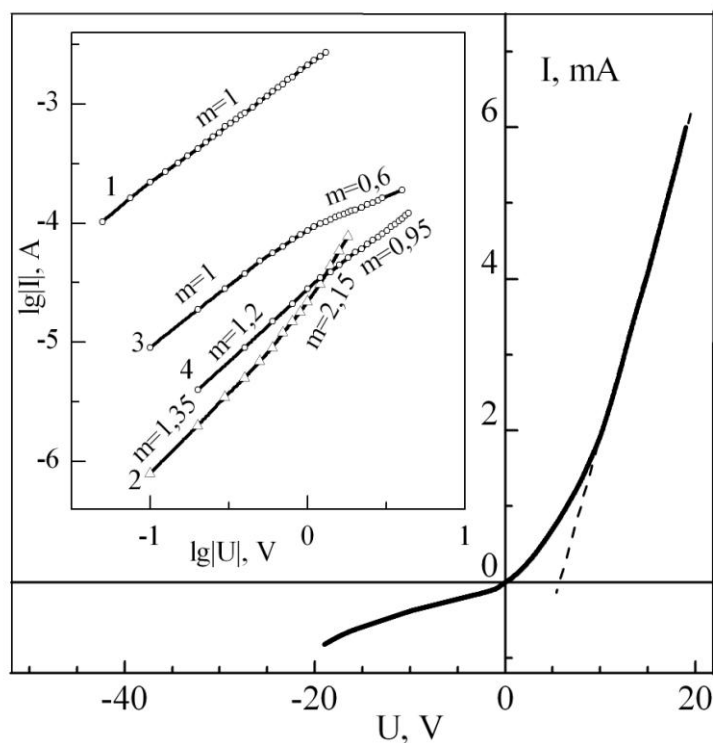


Рис. 2. Стационарна ВАХ поверхнево-бар'єрних структур  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  із вмістом 15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . На вставці обернені вітки ВАХ структур  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  із різним умістом « $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ », мол. %: 1-5; 2-10; 3-15; 4-20

Із представлених у табл. 1 даних видно, що залишковий опір  $R_0$  і напруга відсікання  $U_0$  залежать від компонентного складу монокристалів і збільшуються при зростанні вмісту  $ZnIn_2Se_4$ . Така поведінка параметрів  $R_0$  і  $U_0$ , на нашу думку, може зумовлюватися зменшенням питомої електропровідності монокристалів зі зростанням вмісту  $ZnIn_2Se_4$  у твердому розчині (табл. 1).

Як видно з рис. 3, початкові ділянки прямих віток ВАХ добре спрямляються в напівлогарифмічному масштабі. Це можна використати на користь того, що початкові ділянки ВАХ описуються звичайним діодним рівнянням [4; 8]

$$I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{eU}{\beta kT}\right) - 1 \right],$$

де  $k$  – стала Больцмана,  $T$  – абсолютна температура,  $I_0$  – струм насичення,  $\beta$  – коефіцієнт неідеальності. Отримані нами великі значення коефіцієнта неідеальності ( $\beta=5-20$ ) можуть бути наслідком впливу послідовного опору.

Обернені вітки стаціонарних ВАХ структур  $In_2O_3/CuInSe_2-ZnIn_2Se_4$  в значному діапазоні напруг слідує степеневому закону

$$I \sim U^m.$$

За нахилом залежностей  $I=f(U)$  в логарифмічному масштабі визначений показник степеня  $m$ . Установлені таким методом числові значення параметра  $m$  представлені на рис. 2.

Слабка, практично лінійна ( $m \approx 1$ ), залежність сили струму від напруги в поверхнево-бар'єрних структурах  $In_2O_3/CuInSe_2-ZnIn_2Se_4$  з 5 мол.%  $ZnIn_2Se_4$  відповідає або тунельному механізму проходження електричного струму, або струму, обмеженому просторовим зарядом у режимі насичення швидкості [6; 8]. Слід відзначити, що подібні залежності сили струму від напруги спостерігаються і в структурах на монокристалах із вмістом 15–20 мол.%  $ZnIn_2Se_4$ .

Отриману майже квадратичну ( $m \approx 2,15$ ) залежність струму від напруги, при напругах  $1 < U < 2$  В, у зразках із 10 мол. %  $ZnIn_2Se_4$  можна пов'язати з наявністю струмів, обмежених просторовим зарядом у режимі рухливості [6; 8]. При зменшенні величини зворотної напруги ( $0 < U < 1$ В) відбувається зменшення  $m$  до значення  $\sim 1,35$ , що наближено можна описати законом Чайлда-Лангмюра, який характеризує струми, обмежені просторовим зарядом у балістичному режимі [13; 15].

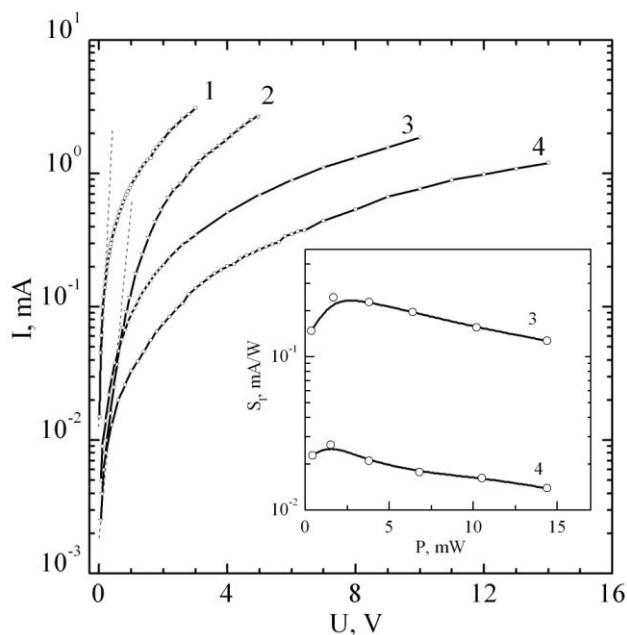


Рис. 3. Прямі вітки ВАХ-структур  $In_2O_3/CuInSe_2-ZnIn_2Se_4$  з різним умістом « $ZnIn_2Se_4$ », мол %: 1–5; 2–10; 3–15; 4–20. На вставці залежність струмової чутливості від потужності падаючого на зразок світла

Під час освітлення бар'єрних структур із боку оксидної плівки відтворювано спостерігався фотовольтаїчний ефект, полярність якого узгоджується з напрямком випрямлення. Типова спектральна залежність фотонапруги досліджуваних структур представлена на рис. 1. Особливістю спектрів фотонапруги є наявність одного максимуму з шириною на половині висоти  $\sim 0,2-0,3$  еВ і зсув максимумів у короткохвильову область електромагнітного спектру при збільшенні вмісту  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  в твердому розчині. Зміщення максимумів у короткохвильову область може зумовлюватися зростанням  $E_g$  (табл. 1) сплавів зі збільшенням вмісту  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . Максимальна вольтова ( $S_U \approx 4$  В/Вт) і струмова ( $S_I \approx 0,25$  мА/Вт) чутливості досягнуті в поверхнево-бар'єрних структурах на монокристалах  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$ , що містять 15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . Залежність струмової чутливості від потужності світла, що падає на зразок, представлена на рис. 3. Максимуми значень  $S_U$  і  $S_I$  спостерігалися за невеликої інтенсивності освітлення плівок (вставка до рис. 3).

**Висновки та перспективи подальшого дослідження.** Отже, дослідження ВАХ показали, що поверхнево-бар'єрні структури  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  володіють випрямними властивостями. Коефіцієнт випрямлення при напрузі, близькій до напруги відсікання ( $U_0$ ) для структур на монокристалах різного компонентного складу, змінювався в межах від 2 до 7. Кращими випрямними властивостями володіють структури на основі  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  з 10–15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . При освітленні структур із боку плівки  $\text{In}_2\text{O}_3$  відтворювано спостерігався фотовольтаїчний ефект. Вольтова та струмова чутливості кращих структур на основі  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  з 15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$  становили  $S_U \approx 4$  В/Вт і  $S_I \approx 0,25$  мА/Вт, максимум спектра фотонапруги відповідав енергії квантів світла 1,12 еВ.

Також слід зазначити, що оптимізація процесів одержання може відкрити технологічні можливості істотного покращення фотоелектричних і випрямних властивостей поверхнево-бар'єрних структур на основі монокристалів твердих розчинів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$ .

#### Джерела та література

1. Вплив структурних дефектів технологічного походження на електричні та фотоелектричні властивості твердого розчину  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  / В. Кажукаускас, О. В. Новосад, В. В. Божко [та ін.] // *Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Фізичні науки.* – 2012. – № 16. – С. 28–34.
2. Фотоелектричні властивості та магнітоопір твердих розчинів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  та  $\text{CuInS}_2\text{-ZnIn}_2\text{S}_4$  / Г. Є. Давидюк, В. В. Божко, О. В. Новосад [та ін.] // *Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Фізичні науки.* – 2009. – № 18. – С. 19–25.
3. Особливості електропровідності, термо-ЕРС та оптичного поглинання твердих розчинів  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  та  $\text{CuInS}_2\text{-ZnIn}_2\text{S}_4$  / В. В. Божко, Г. Є. Давидюк, О. В. Новосад [та ін.] // *Наук. вісн. Волин. нац. ун-ту ім. Лесі Українки. Фізичні науки.* – 2008. – № 18. – С. 3–10.
4. Гаман В. И. Физика полупроводниковых приборов / В. И. Гаман. – Томск : Изд-во Томского ун-та, 1989. – 336 с.
5. Влияние термического окисления на электропроводимость и фоточувствительность структур  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2$  / М. А. Абдуллаев, И. К. Камишов, Дж. Х. Магомедова, П. П. Хохлачев // *Неорг. мат.* – 2007. – Т. 43, № 12. – С. 1424–1428.
6. Ламперт М. Инжекционные токи в твердых телах / М. Ламперт, П. Марк. – М. : Мир, 1973. – 416 с.
7. Получение и свойства изотипных гетероструктур на основе n-CuInSe<sub>2</sub> // М. А. Магомедов, Г. А. Медведкин, В. Ю. Рудь, Ю. В. Рудь / ФТП. – 1992. – Т. 26, № 3. – С. 556–558.
8. Зи С. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. Кн. 2 / С. Зи. – М. : Мир, 1984. – 456 с.
9. Effect of the preparation procedure and  $\text{In}_2\text{O}_3$  thickness on the electrical and photovoltaic properties of  $\text{In}_2\text{O}_3/\text{CuInSe}_2$  heterostructures / М. А. Abdullaev, I. K. Kamilov, D. Kh. Magomedova [at al.] // *Inorganic Materials.* – 2004. – Vol. 40, № 11. – P. 1181–1185.
10. Electrical and optical properties of solid solutions  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  ( $x=0,05-0,2$ ) / V. V. Bozhko, G. Ye. Davydyuk, O. V. Parasyuk [at al.] // *Ukr. J. Phys.* – 2010. – Vol. 55, № 3. – P. 312–316.
11. Schock H. W. Solar cells based on  $\text{CuInSe}_2$  and related compounds: recent progress in Europe / H. W. Schock // *Sol. Energy Mater. and Sol. Cells.* – 1994. – Vol. 34, № 1–4. – P. 19–26.
12. Preparation of  $\text{Cu}(\text{In,Ga})\text{Se}_2$  polycrystalline thin films by two-stage selenization processes using Se–Ar gas / V. Alberts, J. H. Schon, M. J. Witcomb [at al.] // *J. Phys. D.* – 1998. – Vol. 31, № 20. – P. 2869–2866.
13. Single crystal growth and properties of  $\gamma$ -phase in the  $\text{CuInSe}_2+2\text{CdS} \rightleftharpoons \text{CuInS}_2+2\text{CdSe}$  reciprocal system / Y. E. Romanyuk, K. M. Yu, W. Walukiewicz [at al.] // *Sol. Energy Mater. and Sol. Cells.* – 2008. – Vol. 92, № 11. – P. 1495–1499.
14. Single crystal growth and properties of the  $\gamma$ -phase in the  $\text{CuInSe}_2\text{-2CdTe}$  system / O. V. Parasyuk, Z. V. Lavrynyuk, O. F. Zmiy, Y. E. Romanyuk // *J. Cryst. Growth.* – 2009. – Vol. 311, № 8. – P. 2381–2384.
15. ZnO/CdS/CuInSe<sub>2</sub> thin-film solar cells with improved performance / L. Stolt, J. Hodstrom, J. Kessler [at al.] // *Appl. Phys. Lett.* – 1993. – Vol. 62, № 6. – P. 597–600.

**Божко Владимир, Новосад Алексей, Козер Василий, Божко Неонила, Кулик Виктор.** Выпрямительные и фотоэлектрические свойства поверхностно-барьерных структур, полученных термообработкой монокристаллов  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$ . Получены и исследованы фоточувствительные структуры на монокристаллах твердого раствора  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  n-типа проводимости. Фоточувствительные поверхностно-барьерные структуры получены термообработкой монокристаллов n- $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  ( $x=0\text{-}20$ ) при  $T=550^\circ\text{C}$  на протяжении 30 минут в воздушной среде. Охлаждались образцы со скоростью 300 К/мин, в следствии чего на поверхности образцов образовались однородно окрашенные слои фиолетового цвета, которые удалялись со всех сторон, кроме одной.

Исследования стационарных ВАХ показали, что поверхностно-барьерные структуры воспроизводимо проявляют выпрямные свойства. Коэффициент выпрямления изменялся от  $\sim 2$  до 7. Лучшими выпрямными свойствами обладали структуры на монокристаллах  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  с 10–15 мол. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . При освещении интегральным светом галогенной лампы наблюдался фотовольтаический эффект. Вольтовая фоточувствительность лучших структур составляла  $S_u \approx 4$  В/Вт при  $T \approx 300$  К.

**Ключевые слова:** монокристаллы, барьерные структуры, вольт-амперная характеристика, фотовольтаический эффект.

**Bozhko Volodymyr, Novosad Oleksiy, Kozher Vasyi, Bozhko Neonila, Kulik Viktor.** Rectifiers and Photoelectric Properties of Surface-barrier Structures, Obtained by Heat-treatment of  $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  Single Crystals. In this work photosensitive structure on  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  solid solution single crystals with n-type of conductivity has been produced and studied. Photosensitive surface-barrier structures were produced by heat-treatment of monocrystalline n- $\text{Cu}_{1-x}\text{Zn}_x\text{InSe}_2$  ( $x=0\text{-}20$ ) plates in air at temperatures near  $550^\circ\text{C}$  for  $t \approx 25$  min. Then the crystals were cooled down to room temperature at a rate of 300 K/min. As a result, on the  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  plates homogeneously colored layers of purple were formed. After heat treatment the formed layers were removed from all sides except one. Studies of the stationary current-voltage characteristics have shown that surface-barrier structures have rectifying properties. Rectification coefficient was in the range of  $\sim 2$  to 7. Best rectifying properties are typical for the structures based on  $\text{CuInSe}_2\text{-ZnIn}_2\text{Se}_4$  with 10–15 mol. %  $\text{ZnIn}_2\text{Se}_4$ . When illuminated using integral light of halogen lamp, photovoltaic effect was observed. The photosensitivity of the best structures reached  $S_u \approx 4$  V/W at  $T \approx 300$  K.

**Key words:** single crystals, surface-barrier structures, current-voltage characteristics, photovoltaic effect.

Стаття надійшла до редколегії  
29.10.2013 р.

УДК 621.315.592

Андрій Кевшин

## Люмінесцентні властивості халькогенідних стекел, легованих рідкоземельними елементами

У статті досліджено особливості люмінесцентних властивостей халькогенідних склоподібних напівпровідників (ХСН), легованих іонами рідкоземельних елементів (РЗЕ). Вважається, що фотолюмінесценція в таких матеріалах може збуджуватися шляхом прямого перерозподілу заселеності внутрішніх 4f рівнів або збудженням матриці скла світлом з енергією порядку оптичної ширини енергетичної щілини ХСН та її передачею РЗЕ.

**Ключові слова:** склоподібні сплави, фотолюмінесценція, рідкоземельні елементи.

**Постановка наукової проблеми та її значення.** Досягнення науки в галузях лазерної техніки й оптоелектроніки висувають у пріоритетні напрями одержання та дослідження стекел, активованих рідкоземельними елементами – неодимом, празеодимом, ербієм, ербієм/ітербієм і т. д. Інтенсивне вивчення люмінесценції ербийвмісних ХСН зумовлене тим, що довжина хвилі найбільш інтенсивного максимуму фотолюмінесценції (ФЛ) іона  $\text{Er}^{3+}$  (1,54 мкм) потрапляє в мінімум поглинання кварцового оптичного волокна. Інтерес до цих матеріалів пов'язаний також із простим і дешевим способом уведення ербію, порівняно слабким температурним гасінням ербієвої люмінесценції та відсутністю в їх коливальному спектрі високоенергетичних фонів. На сьогодні проблема