



# **ELIT 2017**

## **ABSTRACTS**

9th Ukrainian-Polish Conference

**ELECTRONICS AND INFORMATION TECHNOLOGIES**

Lviv-Chynadiyevu, Ukraine, August 28-31, 2017



# ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕФЕКТ В ГЕТЕРОПЕРЕХІДНИХ СТРУКТУРАХ SnS/CdS ТА SnS/Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S

**Ю.С. Єрмоєнко<sup>1</sup>, А.А. Возний<sup>1</sup>, А.С. Опанасюк<sup>1</sup>,  
Г.С. Хрипунов<sup>2</sup>, Р.В. Зайцев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007, e-mail: yuri.yeromenko@gmail.com

<sup>2</sup> Харківський політехнічний інститут, Харків, Україна, 61002

В наш час обмеженість та вичерпність природних ресурсів приводить до того, що стрімко зростає інтерес до відновлювальних джерел енергії. Серед них найбільш екологічно чистим та доступним являється енергія сонця. Уже декілька десятків років, як людство навчилося перетворювати сонячну енергію за рахунок масивних фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) на основі кремнію, арсеніду галію та деяких інших матеріалів. Нажаль, технологічні процеси при створенні таких фотоперетворювачів є досить складними та високовартісними. В зв'язку з цим, були розроблені альтернативні підходи до створення сонячних елементів (СЕ), серед яких особливе місце займають тонкоплівкові перетворювачі, що містять гетеропереходи (ГП). Найбільш перспективними серед них являються плівкові ФЕП на основі поглинальних шарів CdTe, CuIn(S,Se)<sub>2</sub> (CIS), CuIn<sub>x</sub>Ga<sub>(1-x)</sub>(S,Se)<sub>2</sub> з віконними шарами CdS, ZnSe, ZnS або ZnO [1]. Однак, в останні роки для створення ФЕП третього покоління є актуальним пошук нових матеріалів, які б дозволили підвищити ефективність СЕ та зменшити вартість їх виробництва. При цьому важливо знайти доступні матеріали з оптимальними структурними (мінімальна кількість структурних дефектів) та оптичними (коефіцієнт пропускання і поглинання, ширина забороненої зони) властивостями.

SnS є дешевим нетоксичним матеріалом, що складається з розповсюджених в природі олова та сірки, які мають малу вартість видобутку. Він має оптимальну для поглинання сонячного світла ширину забороненої зони 1,36 eV, великий коефіцієнт поглинання  $\alpha > 10^4 \text{ см}^{-1}$  та власну концентрацію носіїв  $[p] \sim 10^{14} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , що робить його перспективним для використання в якості поглинаючих шарів сонячних перетворювачів. На відміну від чотирикомпонентної напівпровідникової сполуки Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub> (CZTS) плівки сульфиду олова можуть бути отримані дешевими та технологічно простими методами.

В якості альтернативи для традиційних віконних шарів тонкоплівкових СЕ (CdS) у наш час розглядають плівки твердого розчину Zn<sub>x</sub>Cd<sub>1-x</sub>S, який має покращені властивості. Завдяки регулюванню вмісту цинку  $x$  можна задавати значення оптичної ширини забороненої зони матеріалу (від 2,42 eV у CdS до 3,7 eV у ZnS), що дозволяє створити віконний шар з оптимальними оптичними характеристиками. Також, зміною концентрації  $x$  можна керовано змінювати значення періоду ґратки напівпровідника, завдяки чому можна зменшити кількість рекомбінаційних центрів на межі розділу віконного і поглинаючого шарів.

Сьогодні плівки напівпровідникових матеріалів отримують багатьма методами: термічним і лазерним випаровуванням, магнетронним розпиленням, хімічним осадженням з розчину, спреї-піролізом, тощо. Особливе місце серед них займає метод вакуумного випаровування в квазізамкненому об'ємі (КЗО). Даний метод дозволяє отримувати плівки багатокомпонентних матеріалів напівпровідникової чистоти, високої кристалічної якості та

контрольованого хімічного складу [2] і тому був вибраний нами для нанесення функціональних шарів ФЕП.

У роботі [3] досліджувались фотоелектричні властивості СЕ на основі гетеропереходів  $\text{SnS}/\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ , отриманих методом фотохімічного осадження. Однак, багатошарові структури, отримані методом випарування в КЗО на даний час не досліджувались, що і обумовило мету дослідження. В даній роботі досліджувались темнові і світлові вольт-амперні характеристики (ВАХ) та за ними визначалися основні робочі характеристики тонкоплівкових СЕ на основі гетеропереходів  $\text{SnS}/\text{CdS}$  і  $\text{SnS}/\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ .

Напівпровідникові шари отримувались в вакуумній камері ВУП-5М на скляних підкладках з нанесеним струмопровідним шаром  $(\text{In}_2\text{O}_3)_{0,9} - (\text{SnO}_2)_{0,1}$  (ІТО), попередньо очищених за допомогою ізопропілового спирту в ультразвуковій ванні. Плівки віконного шару були отримані випаруванням в КЗО як шихти чистого сульфїду кадмію, так і суміші  $\text{CdS}$  і  $\text{ZnS}$ , з масовою часткою сульфїду цинку  $x = 0,2$ . Випаровування проводилось при температурі  $T_e = 700$  °С для  $\text{CdS}$  та  $T_e = 950$  °С для  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ . Температура конденсації в обох випадках складала  $T_s = 450$  °С. Час нанесення шарів становив  $t = 3$  хв. Для отримання гетеропереходу на підкладку з попередньо нанесеним віконним шаром у подальшому був осаджений сульфїд олова при температурі випаровування  $T_e = 725$  °С та температурі конденсації  $T_s = 250$  °С. В якості вихідного матеріалу використовувалась стехіометрична шихта  $\text{SnS}$ . Осадження проводилось протягом  $t = 2$  хв. Після цього на поверхню  $\text{SnS}$  наносились струмознімальні контакти з  $\text{Sn}$ . Для визначення основних робочих характеристик СЕ (напруги холостого ходу  $U_{oc}$  струму короткого замикання  $I_{sc}$ , фактору заповнення вольт-амперної характеристики ( $FF$ ) і коефіцієнту корисної дії  $\eta$ ) були виміряні світлові ВАХ сонячних елементів з використанням симулятора сонячного світла. Використання світлодіодного симулятора з різними світлодіодами дозволило створити світловий потік з параметрами та спектром, аналогічними сонячному випромінюванню у наземних умовах. Потужності світлового потоку при освітленні складала  $P_{in} = 100$  мВт/см<sup>2</sup>. Ефективність ФЕП розраховувалась за відомим виразом

$$\eta = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}} \quad (1)$$

В результаті досліджень було визначено основні характеристики тонкоплівкових СЕ на основі гетеропереходів  $\text{SnS}/\text{CdS}$  та  $\text{SnS}/\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$ . Встановлено, що  $U_{oc}$  приладів змінювалася в інтервалі 55,17-349,38 мВ;  $I_{sc} = 1,07$ -130,53 мА;  $FF = 0,01$ -0,05 %. Максимальна ефективність СЕ з віконним шаром  $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{S}$  виявилася меншою, ніж з віконним шаром  $\text{CdS}$  ( $\eta \approx 0,04$  % та  $\eta \approx 0,1$  % відповідно). Це може бути пов'язано з різними фізико-технологічними умовами нанесення цих матеріалів, оскільки  $\text{ZnS}$  ( $T_m = 1923$  °С) має суттєво вищу температуру плавлення ніж  $\text{CdS}$  ( $T_m = 1475$  °С). Подальше покращення ефективності СЕ потребує вивчення структурних та електричних властивостей матеріалів багатошарової структури з метою оптимізації їх характеристик.

- [1] Scheer R., H. Schock. Chalcogenide Photovoltaics: Physics, Technologies, and Thin Film Devices. 384 p.
- [2] Structural and substructural properties of the zinc and cadmium chalcogenides thin films (a review) / C. J. Panchal, A. S. Opanasyuk, V. V. Kosyak[et al.] // Journal of Nano- and Electronic Physics. — 2011. — Том 3, №1 PART2. — С. 274–301.
- [3] Photovoltaic cells based on pulsed electrochemically deposited  $\text{SnS}$  and photochemically deposited  $\text{CdS}$  and  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{S}$  / M. Gunasekaran, M. Ichimura // Solar Energy Materials and Solar Cells. — 2007. — Том 91, №9. — С. 774–778.