

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗАДНЬОГО МЕТАЛЕВОГО КОНТАКТУ СОНЯЧНИХ КОМІРОК CdS/CdTe НА ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

К. ф.-м. н. М. С. Каркульовська, д. ф.-м. н. Г. А. Ільчук, к. т. н. І. В. Семків,
к. ф.-м. н. В. М. Ващинський, к. ф.-м. н. М. В. Соловйов

Національний університет «Львівська політехніка»

Україна, м. Львів

mariana.s.karkulovska@lpnu.ua

Розроблено базову модель сонячних комірок на основі телуриду кадмію (ITO/CdS/CdTe) з вибраними напівпровідниковими властивостями, що відповідають оптимальним параметрам ефективності сонячних елементів на основі тонких плівок CdTe. Проаналізовано фактори, які відповідають за підвищення ефективності сонячного CdTe-елемента, зокрема вплив матеріалу заднього контакту. Моделювання здійснювалось у програмному пакеті SCAPS-1D.

Ключові слова: сонячні елементи, телурид кадмію, тонкі плівки, метал контакту.

За останні десятиліття сонячні елементи (СЕ) на основі тонких плівок широко використовуються як джерело дешевої та ефективної сонячної енергії. Однією з перспективних технологій у цій області є конструкція скло/ITO/CdS/CdTe/метал. CdTe вважається ідеальним поглинаючим шаром, оскільки його ширина забороненої зони становить приблизно 1,5 еВ, що ідеально відповідає максимуму спектру сонячного випромінювання. Фотострум фотоелектричної комірки на основі CdTe може досягати 30,5 мА/см² з теоретично максимальною ефективністю більше 30% при освітленні сонячним світлом потужністю 100 мВт/см² [1].

Для збільшення ефективності СЕ на основі тонких плівок CdTe використовують різні способи: змінюють товщину поглинального шару, використовують різні матеріали та товщину для шару вікна, змінюють концентрацію носіїв та інше. Не останню роль в підвищенні ефективності СЕ відіграють матеріали їхніх контактів. Якість контакту «метал — напівпровідник» може вирішальним чином вплинути на ефективність елементів. Для отримання омичного заднього контакту з поглинальним шаром CdTe та металом використовують матеріал із високою роботою виходу.

В цьому дослідженні за допомогою програми SCAPS-1D [2] було змодельовано ефективність фотоелектричної комірки ITO/CdS/CdTe для різних матеріалів заднього контакту.

У табл. 1 представлено параметри матеріалів, які використовуються як вхідні дані під час моделювання. Моделювання проводиться для освітлення AM1.5G з інтенсивністю 100 мВт/см².

На рисунку наведено вольт-амперні характеристики фотоелектричної комірки *n*-CdS/*p*-CdTe для випадків використання металів з різними значеннями роботи виходу. Моделювання проводилося з використанням таких матеріалів, як золото (Au), нікель (Ni), срібло (Ag), залізо (Fe), мідь (Cu), молибден (Mo), платина (Pt) і ніобій (Nb). Усі параметри контактних матеріалів, використаних у моделюванні, взяті з відповідної літератури [5]. З даних табл. 2 видно вплив величини роботи виходу металу на ефективність *n*-CdS/*p*-CdTe.

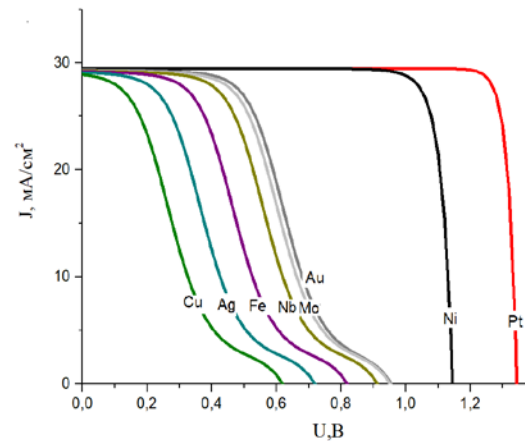
Встановлено, що контактні матеріали значно впливають на ефективність пристрою. Структури з контактами на основі платини демонструють найвищу ефективність СЕ, завдяки найвищому значенню роботи виходу металу. Але варто зазначити, що ціна СЕ залишається ключовим показником при виборі матеріалу контакту. Тому слід шукати оптимальні характеристики для фотоелектричних комірок.

Таким чином, за допомогою програми SCAPS-1D проаналізовано вплив заднього металевого контакту на ефективність фотоелектричної комірки ITO/CdS/CdTe. Найкращі коефіцієнти ефективності — понад 30% — спостерігаються в тих елементах, де контакт металу має найвищу роботу виходу (Pt 5,7 еВ).

Таблиця 1

Параметри матеріалів, які використовуються в програмі
SCAPS-1D

Параметри	Матеріал шару		
	ITO [3]	CdS [4]	CdTe [4]
Товщина, нм	200	70	4000
Ширина забороненої зони, еВ	3,7	2,4	1,45
Спорідненість до електрона, еВ	4,9	4,5	3,9
Діелектрична проникність	9	10	9,4
Ефективна густина станів зони провідності, см ⁻³	2·10 ¹⁸	2,2·10 ¹⁸	8·10 ¹⁷
Ефективна густина станів валентної зони, см ⁻³	1,8·10 ¹⁹	1,8·10 ¹⁹	1,8·10 ¹⁹
Теплова швидкість електронів, дірок, см/с	1·10 ⁷	1·10 ⁷	1·10 ⁷
Рухливість електронів, см ² /(В·с)	30	40	320
Рухливість дірок, см ² /(В·с)	5	10	40
N_D, N_A , см ⁻³	1·10 ¹⁹	1·10 ¹⁹	2·10 ¹⁴



Вольт-амперні характеристики СЕ
з різними металевими контактами

Таблиця 2

Залежність ефективності СЕ від величини роботи виходу метала

Матеріал заднього контакту	Cu	Ag	Fe	Nb	Mo	Au	Ni	Pt
Робота виходу металу, еВ	4,6	4,7	4,8	4,9	5,0	5,1	5,5	5,7
Ефективність, %	4,73	7,01	9,45	11,83	12,98	13,50	29,02	35,86

Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект № 2022.01/0163).

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Romeo A., Artagiani E. CdTe-Based thin film solar cells: past, present and future. *Energies*, 2021, vol. 14, p. 1684. <https://doi.org/10.3390/en14061684>
2. Burgelman M., Nollet P., Degraeve S. Modelling polycrystalline semiconductor solar cells. *Thin Solid Films*, 2000, vol. 361–362, p. 527–532. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(99\)00825-1](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(99)00825-1)
3. Doroody C., Rahman K. S., Chelvanathan P. et. al. Incorporation of magnesium-doped zinc oxide (MZO) HRT layer in cadmium telluride (CdTe) solar cells. *Results in Physics*, 2023, vol. 47, p.106337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106337>
4. Huang C., Chuang W. Dependence of performance parameters of CdTe solar cells on semiconductor properties studied by using SCAPS-1D. *Vacuum*, 2015, vol. 118, p.32–37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vacuum.2015.03.008>
5. Sawicka-Chudy P., Starowicz Z., Wisz G. et. al. Simulation of TiO₂/CuO solar cells with SCAPS-1D software. *Materials Research Express*, 2019, vol. 6, p. 085918. <http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/ab22aa>

M. S. Karkulovska, H. A. Ilchuk, I. V. Semkiv, V. M. Vashchynskyi, M. V. Solovyov

Investigation of the influence of back metal contacts on the photoelectric characteristics of CdS/CdTe solar cells

The authors develop a basic model of CdTe solar cells (ITO/CdS/CdTe) with selected semiconductor properties corresponding to the optimal efficiency parameters of solar cells based on CdTe. The study analyzes the factors responsible for increasing the efficiency of the solar cell based on CdTe, in particular the influence of the back contact material. Simulations were carried out in the SCAPS-1D software package.

Keywords: solar cells, thin films, metal contact.