

## ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИВІДБИВНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ОКСИДУ ЦИНКУ ДЛЯ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ КРЕМНІЄВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Дяденчук А.Ф., к.т.н., доц.,  
Карпиенко О.В., здобувач СВО «Бакалавр»,  
Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна.

**Постановка проблеми.** Ефективність фотоперетворювача сонячного елемента значною мірою залежить не лише від електричних, але й від оптичних властивостей структури. Так відбиття фотонів призводить до зменшення генерації електронно-діркової пари за рахунок високого показника заломлення напівпровідникових матеріалів. Щоб подолати цю проблему, використовується антивідбивні покриття, якими зазвичай виступають бінарні та потрійні оксиди та їх різні легуючі системи, такі як ZnO, CdO, SnO<sub>2</sub>, In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cu<sub>2</sub>O, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SrTiO<sub>3</sub> тощо [1]. Крім цього останнім часом особлива увага приділяється дослідженню поруватого кремнію (PS) як антивідбивного покриття [2, 3]. Одношарове антивідбивне покриття зазвичай дозволяє мінімізувати відбиття на одній довжині хвилі. Досягти відбиття в широкому діапазоні видимого спектру дозволяють багатошарові антивідбивні покриття [4]. Хороше антивідбивне покриття є дуже важливим для роботи сонячних батарей, оскільки воно забезпечує високий фотострум за рахунок мінімізації відбивної здатності [5].

У зв'язку з цим, необхідно приділити належну увагу вибору ідеального співвідношення показників заломлення під час проектування для мінімального відбиття.

Згідно з вищезазначеним, метою дослідження є порівняння характеристик одно- та двошарових просвітлюючих покриттів сонячного елемента на основі оксиду цинку та поруватого кремнію для високоефективних кремнієвих сонячних елементів.

**Основні матеріали дослідження.** Коефіцієнт корисної дії сонячних елементів значною мірою залежить від відбиття світла на їх поверхні. Велике відбиття може призвести до втрати сонячної енергії за рахунок зниження або відсутності генерації електроенергії.

Відбивну здатність структури, коли падаюче світло падає нормально на поверхню кремнію, покритого шаром одного антивідбивного покриття, знайдемо за формулою [4]:

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2 \cos 2\theta_1}{1 + r_1^2r_2^2 + 2r_1r_2 \cos 2\theta_1},$$

де  $r_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0 + n_1}$ ,  $r_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$  і  $\theta_1 = \frac{2\pi n_1 d_1}{\lambda}$ .

У випадку з подвійним антивідбивним покриттям відбивну здатність можна розрахувати, скориставшись виразом [6]:

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 + r_1^2 r_2^2 r_3^2 + 2r_1 r_2 (1 + r_3^2) \cos 2\theta_1 + 2r_2 r_3 (1 + r_1^2) \cos 2\theta_2 + 2r_1 r_3 \cos 2(\theta_1 + \theta_2) + 2r_1 r_2^2 r_3 \cos 2(\theta_1 - \theta_2)}{1 + r_1^2 r_2^2 + r_1^2 r_3^2 + r_2^2 r_3^2 + 2r_1 r_2 (1 + r_3^2) \cos 2\theta_1 + 2r_2 r_3 (1 + r_1^2) \cos 2\theta_2 + 2r_1 r_3 \cos 2(\theta_1 + \theta_2) + 2r_1 r_2^2 r_3 \cos 2(\theta_1 - \theta_2)}$$

де  $r_3 = \frac{n_2 - n_3}{n_2 + n_3}$  і  $\theta_2 = \frac{2\pi n_2 d_2}{\lambda}$ .

Значення показників заломлення середовищ, використані під час розрахунків відбивної здатності, вказано в табл. 1, товщина шарів обиралася порядку 60 нм. Довжина хвилі задавалась в межах від 250 до 1200 нм.

Таблиця 1

Матеріали антивідблискових покриттів з їх показниками заломлення

Показник заломлення, n		
ZnO	PS	Si
1,7	1,85	3,88

На рис. 1 показано зміну коефіцієнта відбиття як функцію довжини хвилі. Хоча криві одношарових антивідбивних покриттів переслідують подвійне покриття у великих довжинах хвиль, але існує відмінності між цими кривими.

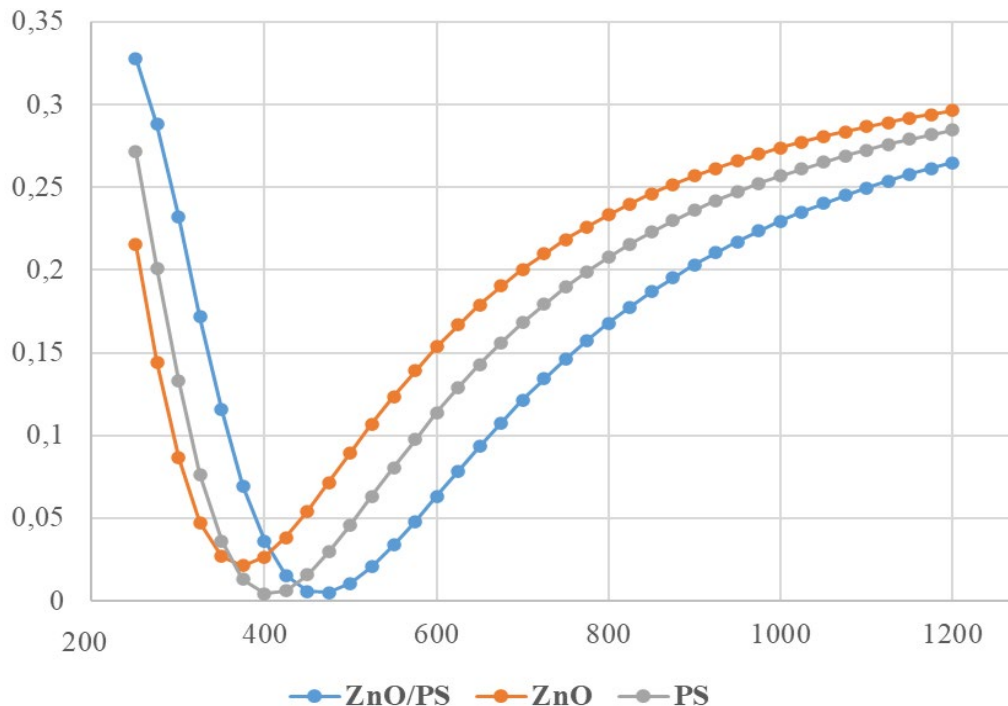


Рис. 1. Коефіцієнт відбиття запропонованої комірки для одного та двошарового просвітлюючих покриттів ZnO, PS та ZnO/PS

Пікова енергія в сонячному спектрі становить близько 500 нм, тоді як пік відносного спектрального відгуку в кремнієвій комірці

знаходиться в діапазоні довжин хвиль приблизно 800-900 нм, тому діапазон довжин хвиль найкращого антивідбиття знаходиться в діапазоні 500-700 нм [7]. З рис. 1 очевидно, що ефект двошарового покриття в заданому діапазоні довжин хвиль набуває кращих значень порівняно з одношаровими. Коефіцієнт відбиття для ZnO/PS на довжині хвилі в діапазоні 500-700 нм не перевищує 12%, в той час як для одношарових покриттів PS та ZnO в заданому діапазоні може досягати ~20%.

Таким чином, очікується значне покращення продуктивності сонячної батареї за допомогою подвійного антивідбивного покриття порівняно з випадками з одношаровим покриттям. Встановлено, що коефіцієнт відбиття для покриття ZnO/PS в діапазоні довжин хвиль найкращого відбиття не перевищує 12%, в той час як для одношарових покриттів PS та ZnO в заданому діапазоні може досягати 20%.

### **Список використаних джерел**

1. Maqsood S., Ali Z., Ali K., Ishaq M., Sajid M., Farhan A., Rahdar A., Pandey S. Assessment of different optimized anti-reflection coatings for ZnO/Si heterojunction solar cells. *Ceramics International*. 2023. V. 49, Issue 23, Part A. Pp. 37118–37126. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2023.08.313>
2. Dyadenchuk A., Domina N., Oleksenko R. Simulation of Solar Element Characteristics Based on Porous Silicon. *2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, Kremenchuk, Ukraine. 2022. Pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/MEES58014.2022.10005773>
3. Хрипко С. Л., Кідалов В. В. Сонячні батареї створенні на основі низько-розмірних нанокмпозитних структур. *Журнал нано- та електронної фізики*. 2016. Т. 8, № 4 (2). Р. 04071–1.
4. Sharma R., Gupta A., Viridi A. Effect of Single and Double Layer Antireflection Coating to Enhance Photovoltaic Efficiency of Silicon Solar. *J. Nano- Electron. Phys.* 2017. V. 9, No 2. Pp. 02001(4pp). [https://doi.org/10.21272/jnep.9\(2\).02001](https://doi.org/10.21272/jnep.9(2).02001)
5. Wright D. N., Marstein E. S., Holt A. Double layer anti-reflective coatings for silicon solar cells. *Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference*. 2005. Lake Buena Vista, FL, USA. Pp. 1237-1240. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488363>
6. Double Layer Anti Reflection Coatings. URL: <https://www.pveducation.org/pvcdrom/design-of-silicon-cells/double-layer-anti-reflection-coatings> (дата звернення: 20.10.2023)
7. Kosyachenko L. A. (Ed.). Solar Cells – Silicon Wafer-Based Technologies. *InTech*. 2011. <https://doi.org/10.5772/1758>