

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, Київ, 03056, e-mail: igorvl2009@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Анотація

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності сонячних елементів є використання нанофотонних структур, зокрема плазмонних наночастинок. Проведений аналіз наукових джерел показує, що застосування плазмонних покриттів у фотовольтаїчних пристроях дозволяє зменшити відбиття світла від поверхні, збільшити кути розсіювання та, відповідно, підвищити ефективну довжину оптичного шляху фотонів у фотоактивному шарі. Локалізовані плазмонні резонанси сприяють значному підсиленню електромагнітного поля поблизу наночастинок, що підвищує ймовірність поглинання випромінювання.

У практичній частині роботи було виміряно вольт-амперні характеристики сонячного елемента за контрольованих умов. Представлено експериментальні залежності для зразка без плазмонних наночастинок срібла (AgNPs) та з їх використанням.

Побудовано розрахункові графіки залежності потужності від напруги. Показано, що застосування наночастинок срібла призводить до зростання максимальної вихідної потужності сонячного елемента приблизно на 65%.

Abstract

One of the promising approaches to improving the efficiency of solar cells is the use of nanophotonic structures, particularly plasmonic nanoparticles. A review of the scientific literature shows that plasmonic coatings in photovoltaic devices can reduce surface reflection, increase light scattering angles, and

thereby enhance the effective optical path length of photons in the photoactive layer. Localized surface plasmon resonances generate strong electromagnetic fields near nanoparticles, increasing the probability of light absorption.

In the experimental part of this work, the current–voltage (I – V) characteristics of a solar cell were measured. Experimental results are presented for both a reference solar cell without silver nanoparticles (AgNPs) and a modified cell incorporating AgNPs.

Calculated power–voltage characteristics were obtained. It is shown that the incorporation of silver nanoparticles leads to an increase in the maximum output power of the solar cell by approximately 65%.

Ключові слова: плазмонні наночастинки, сонячні елементи, локалізований поверхневий плазмонний резонанс, світлорозсіяння, фотострум, нанофотоніка, AgNPs, метаповерхні

***Keywords:** plasmonic nanoparticles, photovoltaic solar cells, localized surface plasmon resonance (LSPR), light scattering, photocurrent enhancement, nanophotonics, silver nanoparticles (AgNPs), metasurfaces*

У зв'язку зі зростанням світового попиту на сонячну енергію, дослідження нових підходів до підвищення ефективності сонячних елементів набувають особливого значення. Традиційні кремнієві сонячні елементи досягли високого рівня ефективності, однак подальше зростання обмежується фундаментальними фізичними межами, такими як межа Шоклі–Квайссера.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності є використання нанофотонних структур, зокрема плазмонних наночастинок. Плазмонні покриття в сонячних елементах дозволяють зменшити відбиття поверхнею, збільшити кути розсіювання світла в матеріалі, збільшуючи довжину шляху фотонів у фотоактивному шарі. Локалізовані плазмонні резонанси створюють сильні поля поблизу наночастинок. Завдяки цьому виникає значне підсилення електричного

поля наномасштабних областях [1], що збільшує ймовірність поглинання фотонів.

Для плазмонних покриттів найчастіше використовують [2]: Ag — сильний плазмонний ефект, Au — стабільність, Al — дешевший варіант. Наноструктуровані діелектрики з металевими включеннями. Найчастіше у фотовольтаїці використовують наночастинки срібла .

Незважаючи на значний потенціал плазмонних структур, існує кілька важливих проблем: металеві наноструктури можуть викликати паразитне поглинання світла; виготовлення наноструктур потребує складних технологій. Таким чином, використання плазмонів відкриває нові можливості для створення високоефективних сонячних елементів нового покоління.

У практичній частині було виміряно вольт-амперні характеристики (ВАХ) сонячного елемента. Вимірювання характеристик здійснювалися при контрольованих умовах освітлення. У якості джерела світла використовувалася галогенна лампа з інтенсивністю світла $100 \text{ мВт} / \text{см}^2$. Усі дослідження проведені за кімнатної температури.

У нашому випадку площа сонячного елемента становила $1 \times 1 \text{ см}^2$.

На Рис 1.1 представлено експериментальні ВАХ сонячного елемента без AgNPs. На рис.2.1 відповідні ВАХ сонячного елемента з AgNPs.

На рис. 1.2 та рис.2.2 представлено графік залежності потужності від напруги сонячного елемента. Зростання максимуму потужності за рахунок нанесення нано частинок срібла склало приблизно **65%**.

Плазмонні наноструктури та метаповерхні є перспективним інструментом для підвищення ефективності сонячних елементів. Завдяки здатності керувати світлом на наномасштабному рівні ці структури можуть значно покращувати поглинання сонячного випромінювання. Подальші дослідження у цій галузі можуть привести до створення нових типів фотовольтаїчних пристроїв із підвищеною ефективністю.

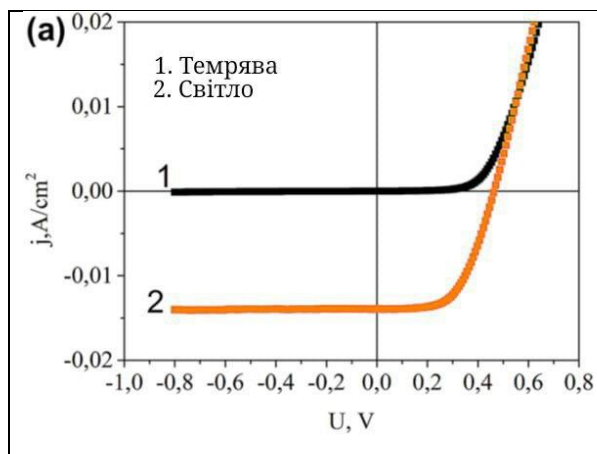


Рис.1.1 ВАХ сонячного елемента без AgNPs 1) у темряві, 2) із використанням галогенної лампи.

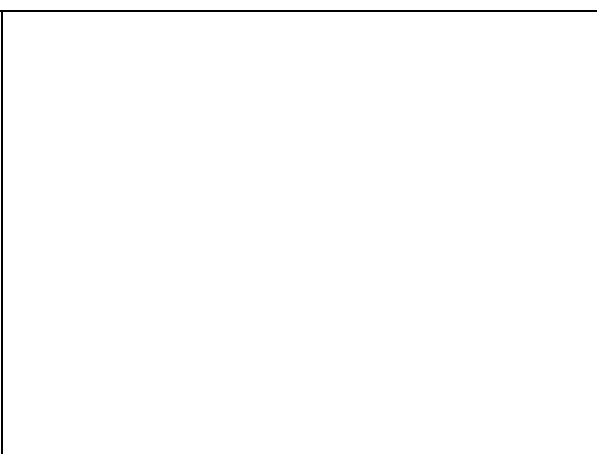


Рис.2.1 ВАХ сонячного елемента

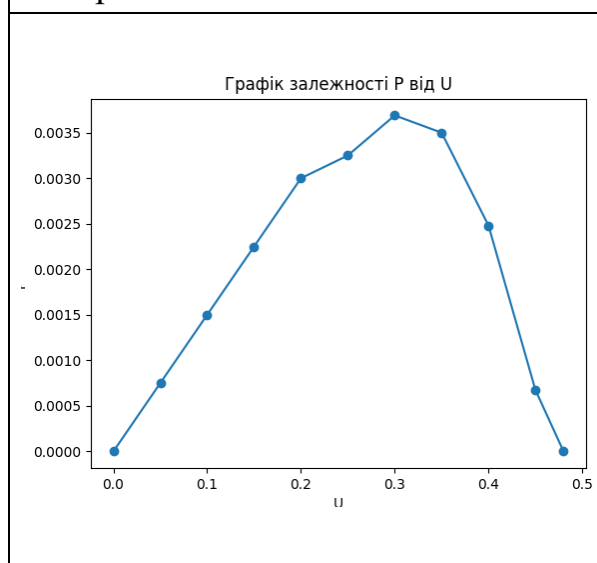


Рис 1.2. Графік залежності потужності від напруги сонячного елемента (без AgNPs)

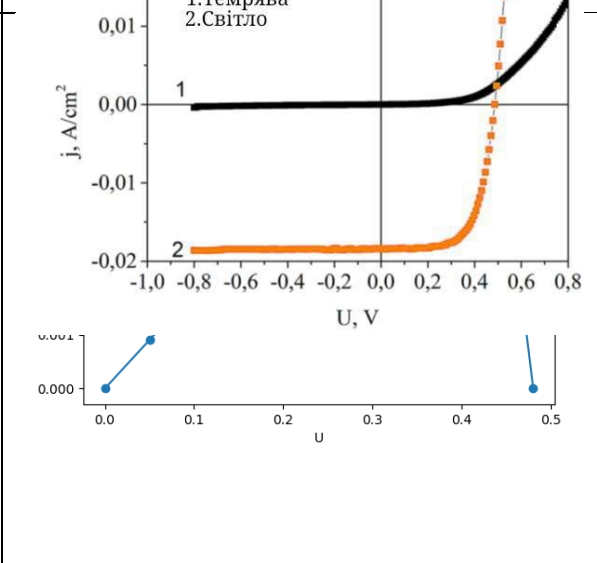


Рис 2.2. Графік залежності потужності від напруги сонячного елемента (з AgNPs)

ЛІТЕРАТУРА ТА ДЖЕРЕЛА

1. Harry A. Atwater & Albert Polman Plasmonics for improved photovoltaic devices Nature Materials volume 9, p.205–213 (2010) <https://www.nature.com/articles/nmat2629>.

2. Akhtary N. et al. *TiN plasmonic nanoparticles for solar cells*, Optics Continuum, Vol. 2, Issue 7, pp. 1701-1715, (2023), <https://doi.org/10.1364/OPTCON.493184>