

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
Фізичний факультет  
Кафедра загальної фізики

На правах рукопису

**Вплив умов виготовлення на електрофізичні властивості структур  
кремній-полімер**

**Галузь знань:** 10 Природничі науки  
**Спеціальність:** 104 Фізика та астрономія  
**Освітня програма:** Фізика та астрономія

**Кваліфікаційна робота бакалавра**  
студента 4 курсу  
Денис КАЛЮЖНИЙ

**Науковий керівник:**  
доктор фізико-математичних наук,  
професор, професор кафедри загальної  
фізики  
Олег ОЛІХ

Робота заслухана на засіданні кафедри загальної фізики та рекомендована до захисту на ЕК, протокол № \_\_\_\_ від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024р.

Завідувач кафедри загальної фізики проф.

Микола БОРОВИЙ

**Київ – 2024**

## **ВИТЯГ**

з протоколу № \_\_\_\_\_

засідання Екзаменаційної комісії

Визнати, що студент \_\_\_\_\_ виконав та захистив  
кваліфікаційну роботу бакалавра з оцінкою \_\_\_\_\_.

Голова ЕК \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

## АНОТАЦІЯ

**Денис КАЛЮЖНИЙ.** Вплив умов виготовлення на електрофізичні властивості структур кремній-полімер.

*Кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, освітня програма «Фізика та астрономія». – Київський національний університет імені Тараса Шевченка, фізичний факультет, кафедра загальної фізики. – Київ – 2024.*

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор Олег ОЛІХ, професор кафедри загальної фізики.

## ТЕКСТ

**Ключові слова:** ключові слова.

## SUMMARY

**Denys KALYUZHNY.** The influence of fabrication conditions on the electro-physical properties of silicon-polymer structures.

*Bachelor qualification in specialty 104 Physics and astronomy, educational program «Physics and astronomy». – Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Physics, General Physics Department. – Kyiv. – 2024.*

**Research supervisor:** Doctor of Physics and Mathematics, Professor Oleg OLIKH, Professor at General Physics Department.

## TEXT

**Key words:** key words.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....

Розділ 2. — .....

Розділ №. — .....

Розділ №. — .....

Розділ №. — .....

Висновки.....

Перелік використаної літератури.....

## ВСТУП

XXI століття принесло нові виклики для традиційної енергетики, що базується на викопному паливі. Наукові дослідження чітко продемонстрували негативний вплив спалювання викопного палива на довкілля, адже воно призводить до викидів канцерогенів та парникових газів в атмосферу. Ще однією проблемою є виснаження запасів викопного палива, що робить його нездатним задовольнити зростаючі потреби людства в енергії в майбутньому. Внаслідок цього, пошук альтернативних джерел енергії, які здатні до відновлення, став вкрай актуальним.

Сонячні панелі, або сонячні батареї, набирають популярності як одне з найперспективніших джерел альтернативної енергії. Їхня здатність генерувати чисту та відновлювальну енергію робить їх цінним ресурсом у боротьбі з екологічними проблемами, що загострюються. Завдяки стрімкому розвитку технологій сонячної енергетики за останні роки, ціни на сонячні панелі значно знизилися, роблячи їх доступнішими для широкого кола споживачів.

Дослідження полягає у комплексному вивченні впливу умов виготовлення на електрофізичні властивості структур кремній-полімер з використанням сучасних методів дослідження. Це є актуальною темою в сучасній мікроелектроніці. Ці структури мають широкий спектр застосувань у різних приладах, таких як сонячні батареї, транзистори, датчики, тощо. Їхні електрофізичні властивості, такі як провідність, фоточутливість та діелектрична пропускну здатність, значною мірою залежать від умов виготовлення. Розуміння впливу цих факторів на властивості структур кремній-полімер є ключовим для розробки нових та вдосконалення існуючих пристроїв з покращеними характеристиками та продуктивністю.

Мета наукової праці – дослідити вплив умов виготовлення на електрофізичні властивості структур кремній-полімер.

В рамках досягнення поставленої мети, було сформульовано наступні завдання:

1) Виготовлення сонячних елементів шляхом нанесення органічної плівки на кремній двома методами ...

2)

3)

4)

5)

Об'єкт дослідження – ...

Предмет дослідження – ????вольт-амперні та вольт-фарадні характеристики сонячного елемента.????

Структура роботи. Магістерська праця складається зі вступу, трьох розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних джерел.

Повний обсяг роботи – ... сторінок.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1. Принцип роботи сонячного елементу.

Фотоелектричні перетворювачі, або сонячні елементи, являють собою сукупність фотоелементів, які генерують електричну енергію з сонячного випромінювання. Ці елементи складаються з масиву фотоелектричних комірок, які також відомі як фотоелементи або ФЕП. З фронтального боку сонячного елемента, орієнтованого на сонце, зазвичай розташовується тонкий шар скла, що пропускає світло та захищає напівпровідникові пластини.

Фотоелектричний елемент ґрунтується на принципі роботи р-n-переходу, який утворюється при з'єднанні шару кремнію р-типу та n-типу. У шарі n-типу спостерігається надлишок вільних електронів, а в шарі р-типу - надлишок позитивно заряджених дірок. На межі цих шарів, яка називається р-n-переходом, виникає електричне поле. При освітленні сонячним світлом фотони з енергією, більшою за ширину забороненої зони кремнію, генерують електронно-діркові пари. Якщо до р-n-переходу підключити зовнішній провідник, то електрони з n-шару, що не були рекомбіновані з дірками в зоні просторового заряду, будуть переміщатися через провідник до р-шару, а потім з р-шару назад до n-шару, утворюючи замкнутий потік електричного струму. В області навколо р-n-переходу, званої зоною просторового заряду або зоною виснаження, концентрація носіїв заряду значно менша, ніж в основному матеріалі.

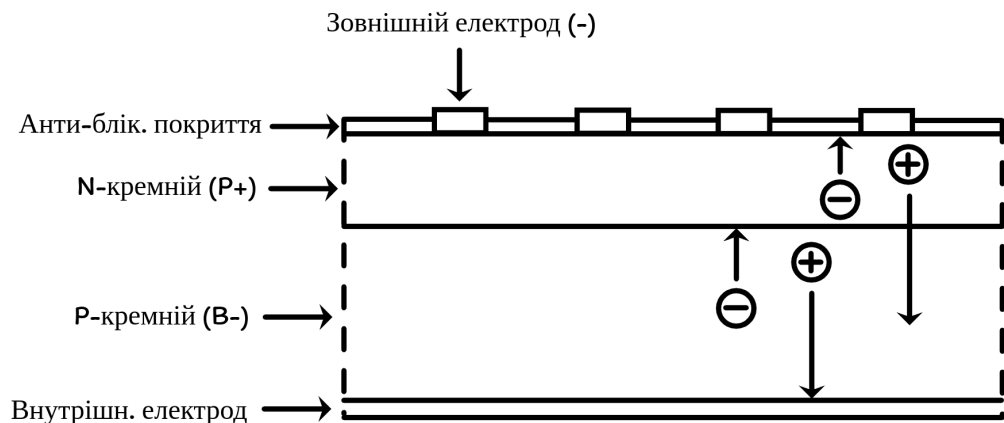


Рис. 1.1 Схема сонячного елемента.

## 1.2. Покоління сонячних елементів

Перше покоління сонячних елементів, також відоме як кристалічні кремнієві фотоелементи. Ці фотоелементи виготовляються з монокристалічного або полікристалічного кремнію, який є напівпровідниковим матеріалом.



*Рис. 1.2 Типи сонячних елементів: а - монокристалічний, б - полікристалічний*

Перше покоління сонячних батарей лідирує за ефективністю, сягаючи 22%, роблячи їх ідеальним вибором для масштабних сонячних електростанцій. Ці фотоелементи вражають довговічністю, слугуючи 25 і більше років, що робить їх економічно вигідним вкладенням на довгострокову перспективу. Їхня стійкість до механічних пошкоджень та несприятливих факторів навколишнього середовища робить їх надійним рішенням для різних умов експлуатації. Незважаючи на численні переваги, перше покоління сонячних батарей має й певні недоліки, що стримують їх широке застосування. Їх висока вартість робить їх доступними не для всіх, обмежуючи поширення сонячної енергетики. Складність та енергоємність виробництва кремнієвих фотоелементів негативно впливають на екологічність цього типу сонячних батарей, порівняно з іншими. Додатковим обмеженням є зниження їх ефективності з підвищенням температури, що може суттєво вплинути на продуктивність в спекотних кліматичних умовах.

Друге покоління сонячних елементів, також відоме як тонкоплівкові фотоелементи, ґрунтується на використанні тонких шарів напівпровідникових матеріалів, таких як аморфний кремній, кадмій телурид (CdTe) та купрум індій селенід (CIS). Ці фотоелементи виготовляються за допомогою менш складних та енергоємних процесів, ніж фотоелементи першого покоління, що робить їх більш



доступними. Друге покоління сонячних батарей значно дешевше за своїх



попередників, що робить їх більш доступними для широкого кола користувачів та стимулює розвиток сонячної енергетики. Виробництво цих фотоелементів потребує менше ресурсів та енергії, порівняно з першим поколінням, роблячи їх більш екологічно чистим

*Рис. 1.3 Гнучкий сонячний елемент* вибором.

Хоча фотоелементи другого покоління мають й певні недоліки, вони залишаються доступнішим та екологічнішим вибором, порівняно з фотоелементами першого покоління. Їхня нижча ефективність потребує більшої площі для генерування енергії, а з часом їх продуктивність може знижуватися. Деякі матеріали, що використовуються у їх виробництві, можуть бути токсичними, що робить утилізацію складнішою.

Третє покоління сонячних елементів, також відоме як фотоелементи з множинними з'єднаннями, ґрунтується на використанні багат шарових структур з різних напівпровідникових матеріалів. Ці фотоелементи мають потенціал для значного підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну.



*Рис 1.4 Прозорі сонячні панелі*

Третє покоління сонячних батарей відкриває нові горизонти для фотовольтаїки, адже володіє потенціалом для значного підвищення ефективності перетворення сонячної енергії в електричну. Це може призвести до зменшення

площі, необхідної для генерування аналогічної кількості енергії, роблячи сонячні електростанції більш компактними та економічно вигідними. Додатково, гнучкість цих фотоелементів робить їх ідеальними для застосування на нерівних або гнучких поверхнях, розширюючи сферу їх використання. Деякі типи фотоелементів третього покоління можуть бути прозорими, що відкриває нові можливості для їх інтеграції в архітектурні проекти та дизайн будівель. Незважаючи на значний потенціал, фотоелементи третього покоління мають й певні недоліки, які стримують їх широке застосування. Їхня висока вартість робить їх доступними не для всіх, обмежуючи поширення цієї технології. Складність та енергоємність виробництва негативно впливають на екологічність фотоелементів третього покоління, порівняно з іншими типами. Додатковим обмеженням є те, що довговічність деяких типів цих фотоелементів все ще досліджується, що робить їх менш привабливими для інвестицій в довгостроковій перспективі.

Характеристика	1 покоління	2 покоління	3 покоління
Тип напівпровідника	Кристалічний кремній	Аморфний кремній, CdTe, CIS	Множинні з'єднання напівпровідників
Ефективність	15-22%	6-12%	15-20% (теоретично може бути більше)
Вартість	Найдорожчі	Дешевші	Найдорожчі
Термін служби	25-30 років	20 років або більше	25 років або більше
Стійкість	Стійкі до механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища	Стійкі до механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища	Стійкі до механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища
Гнучкість	Негнучкі	Гнучкі	Гнучкі (деякі типи)
Прозорість	Непрозорі	Непрозорі	Прозорі (деякі типи)
Застосування	Сонячні панелі для даху, великі сонячні електростанції	Сонячні панелі для даху, портативні сонячні зарядні пристрої	Великі сонячні електростанції, сонячні панелі для даху, носимі електронні пристрої
Переваги	Висока ефективність, довговічність	Низька вартість, простота виробництва, гнучкість	Найвища теоретична ефективність, гнучкість, прозорість
Недоліки	Висока вартість, складність виробництва	Низька ефективність, деградація з часом, токсичність (деякі матеріали)	Висока вартість, складність виробництва, довговічність (деяких типів)

Таб. 1 Порівняння характеристик трьох поколінь сонячних елементів

### 1.3 Органічні сонячні елементи

Органічні сонячні елементи (ОСЕ) – це тип сонячних батарей, які використовують органічні напівпровідникові матеріали для перетворення сонячного світла на електрику. Коли сонячне світло потрапляє на ОСЕ, воно поглинається органічним напівпровідниковим матеріалом.



*Рис. 1.5 Портативний зарядний пристрій на сонячних батареях, який використовує ОСЕ*

Цей матеріал складається з двох шарів: донорного та акцепторного. Поглинуте світло створює збудження, які розділяють електрони та дірки в напівпровіднику. Електрони переміщуються до донорного шару, а дірки – до акцепторного. Цей розділений заряд створює електричне поле. Якщо до ОСЕ підключити провідник, електрони можуть текти через нього, створюючи електричний струм. Існують різні конструкції ОСЕ, кожна з яких має свої сильні та слабкі сторони. Якість роботи ОСЕ залежить від застосованих напівпровідникових матеріалів та способів виготовлення. На відміну від традиційних кремнієвих сонячних батарей, які виготовляються з жорстких, крихких кристалів, ОСЕ використовують легкі, гнучкі матеріали, подібні до пластику. Це робить їх простішими та зручнішими для транспортування, монтажу й використання на нерівних або нестандартних поверхнях, де кремнієві панелі не підходять. Органічні матеріали, з яких виготовляються ОСЕ, як правило, дешевші. Їх можна виготовляти за допомогою рулонних процесів, подібних до друку. Цей метод виробництва потенційно робить ОСЕ більш простими у виробництві, ніж кремнієві панелі. Але дивлячись на всі

переваги, наразі ОСЕ мають і недоліки. Вони перетворюють меншу частку сонячного світла на електрику, що призводить до збільшення займаної площі. Мають тенденцію деградувати з часом швидше, ніж кремнієві панелі через що можуть втрачати свою ефективність протягом кількох років. Деякі органічні матеріали в ОСЕ, можуть бути токсичними, що ускладнює їх утилізацію.

Загалом, ОСЕ володіють низкою важливих переваг над кремнієвими панелями, роблячи їх перспективним альтернативним джерелом сонячної енергії з великим потенціалом для широкого застосування. Вчені та інженери постійно працюють над покращенням ефективності, довговічності та екологічності ОСЕ.

### **Перелік використаної літератури**

- [1]. Divya A., Adish T., Kaustubh P., Zade P.S. “Review on recycling of solar modules/panels”: Solar Energy Materials & Solar Cells, 2023. 253 p.
- [2]. Tarique W.B., Uddin A. “A review of progress and challenges in the research developments on organic solar cells”: Materials Science in Semiconductor Processing, 2023. 163 p.
- [3]. Akhtaruzzaman Md., Selvanathan Vidhya Comprehensive Guide on Organic and Inorganic Solar Cells, 2022. 397 p.