

ОГЛЯДОВИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОСНОВНИХ ВИДІВ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Савченко О. А., Попадченко С. А., Коломієць В. О.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка**Розглянуто основні види сонячних панелей за типами напівпровідникових матеріалів, проведений оглядовий аналіз їх ефективності.*

Постановка проблеми. У зв'язку зі збільшенням темпів зростання науково-технічного прогресу в світі збільшується потреба в забезпеченні енергією. Це набуває особливої актуальності, оскільки традиційні джерела енергії у вигляді вуглеводневих запасів обмежені. Більш того, при їх спалюванні для вироблення енергії завдається шкода екології через забруднення навколишнього середовища. Використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ) є перспективним рішенням проблеми енергозабезпечення. До числа НВДЕ відноситься сонячна енергія, вітрова енергія, енергія біогазів та біомас, геотермальна енергія [1, 2]. Подібні види енергії є екологічно чистими і нешкідливими.

До теперішнього часу в світі проведено велика кількість досліджень в області використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Завдяки створенню різних конструкцій сонячних елементів (СЕ) сонячне випромінювання за допомогою фотоелектричних елементів перетворюється в електричну енергію. З'єднання декількох фотоелектричних елементів разом утворює фотоелектричний модуль (ФЕМ) або сонячні панелі (СП). Для отримання великої потужності ФЕМ з'єднуються в фотоелектричні батареї.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день розроблено різні конструкції СЕ, які описуються такими параметрами як коефіцієнт корисної дії (ККД), фактор заповнення, електричні параметри (напруга холостого ходу, струм короткого замикання і т.д.). ККД СЕ показує відсоток перетворення сонячного випромінювання в електрику. Фактор заповнення показує, яка частина потужності, що виробляється сонячним елементом, використовується в навантаженні. Напруга холостого ходу - це максимальна напруга, що виникає на розімкнутих виводах сонячного елемента. Струм короткого замикання - це максимальний струм, що протікає через виводи СЕ при їх короткому замиканні.

Фотоелектричні панелі (ФЕП) проходять випробування при стандартних умовах тестування (Standard Test Conditions) STC, при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 і робочій температурі панелі 25°C в лабораторних умовах. У реальних умовах роботи параметри ФЕП будуть відрізнятися від тестових. Більшість виробників ФЕП вказують параметри батарей за температури роботи модуля $40\text{-}45^\circ\text{C}$ і освітленості 800 Вт/м^2 (NOCT – Normal Operating Cell Temperature). В реальних умовах роботи сонячної батареї освітленість може бути і понад 1000 Вт/м^2 , а температура нижче 45°C . Окрім вищевказаних умов стандартного тестування панелей, також застосовуються умови: PV-USA Test Conditions (PTC), Standard

Test Conditions (STC), Low Irradiance Conditions (LIC), High Temperature Conditions (HTC) and Low Temperature Conditions (LTC). Дані умови тестування не відображають дійсну потужність, продуктивність і ефективність фотоелектричних батарей. Реальні умови експлуатації ФЕП в різних регіонах відрізняються, наприклад, в європейських країнах температура не така висока, як в регіонах Азії.

З ростом робочої температури кожен тип сонячної панелі поводить по-різному. Так, у кремнієвих елементів номінальна потужність падає з кожним градусом перевищення номінальної температури на $0,43\text{-}0,47\%$, сонячні елементи з телуриду кадмію втрачають всього $0,25\%$. Для вирішення питання перегріву сонячних панелей розроблені комбіновані конструкції для повітряного, водяного охладження, відведення тепла з панелей з примусовим охолодженням, комбіновані конструкції.

Найбільшого використання набули фотоелектричні панелі на кремнієвій основі [3], що зумовлено широким розповсюдженням даного мінералу у земній корі. Проте останнім часом набувають поширення ФЕП, виготовлені з інших напівпровідникових матеріалів, зокрема на плівковій основі [4-8].

Мета статті. Метою дослідження є оглядовий аналіз ефективності основних видів сонячних панелей.

Основні матеріали дослідження. Батареї, основою яких служить кремній, на сьогоднішній день є найпопулярнішими. Монокристалічні сонячні батареї являють собою силіконові осередки, об'єднані між собою, рис. 1.



Рисунок 1 – Монокристалічна сонячна батарея

Для їх виготовлення використовують максимально чистий кремній, одержуваний за методом Чохральського. Після затвердіння готовий монокристал розрізають на тонкі пластини товщиною $250\text{-}300 \text{ мкм}$, які пронизують сіткою з металевих електродів. Техноло-

гія є порівняно дорогою, тому й коштують монокристалічні батареї дорожче, ніж полікристалічні або аморфні. Вибирають даний вид сонячних батарей за високий показник ККД (близько 17-22 %).

Для отримання полікристалів (рис. 2) кремнієвий розплав піддається повільному охолодженню. Така технологія вимагає менших енерговитрат, отже і собівартість кремнію, отриманого з її допомогою, менша. Єдиний мінус – полікристалічні сонячні батареї мають більш низький ККД (12-18 %), ніж у монокристалів. Причина полягає в тому, що всередині полікристала утворюються області з зернистими межами, які і призводять до зменшення ефективності елементів. У табл. 1 наведені основні відмінності між моно- і полікристалічними сонячними елементами.

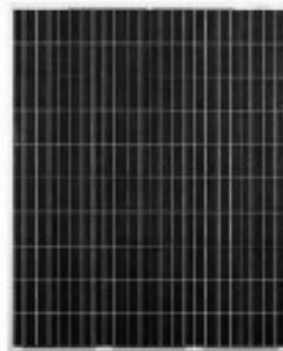


Рисунок 2 – Полікристалічна сонячна батарея

Таблиця 1 – Відмінності між моно- і полікристалічними сонячними елементами

Показник	Монокристалічні елементи	Полікристалічні елементи
Кристалічна структура	Зерна кристалів паралельні Кристали орієнтовані в один бік	Зерна кристалів непаралельні Кристали орієнтовані в різні боки
Температура виробництва	1400 °С	800-1000 °С
Колір	Чорний	Темно-синій
Стабільність	Висока	Висока, але нижча ніж у моноелементів
Вартість	Висока	Висока, але нижча ніж у моноелементів

Якщо проводити розподіл в залежності від використовуваного матеріалу, то батареї з аморфного кремнію (рис. 3) відносяться до кремнієвих, а якщо в залежності від технології виробництва - до плівкових. У разі виготовлення аморфних панелей використовується не кристалічний кремній, а силан або кремневодень, який тонким шаром наноситься на матеріал підкладки. ККД таких батарей становить всього 5-6 %, у них дуже низький показник ефективності, але, незважаючи на ці недоліки, вони мають і ряд переваг:

- показник оптичного поглинання в 20 разів вищий, ніж у полі-і монокристалів;
- товщина елементів менше 1 мкм;
- вища в порівнянні з полі- та монокристалічними продуктивність при похмурій погоді;
- підвищена гнучкість.



Рисунок 3 – Батарея з аморфного кремнію

Окрім описаних вище видів кремнієвих сонячних батарей, існують і їх гібриди. Так, для більшої стабільності елементів використовують двофазний матеріал, що являє собою аморфний кремній з включеннями нано- або мікрокристалів. За властивостями отриманий матеріал схожий з полікристалічним кремнієм.

Дослідження телуриду кадмію (CdTe) як світлопоглинаючого матеріалу для сонячних батарей почалися ще в 70-х роках попереднього століття. У той час його розглядали як один з оптимальних варіантів для використання в космосі, сьогодні ж батареї на основі CdTe, рис. 4, є одними з найперспективніших в земній сонячній енергетиці.

Так як кадмій є кумулятивною отрутою, то дискусії виникають лише з питання токсичності матеріалу. Але дослідження показують, що рівень кадмію, який вивільняється в атмосферу, мізерно малий, і побоюватися його шкоди не варто. Значення ККД батареї на основі CdTe становить близько 11%, але вартість 1 Вт потужності таких батарей на 20-30 % менше, ніж у кремнієвих.



Рисунок 4 – Батарея на основі телуриду кадмію

Плівкові сонячні батареї на основі селеніду-міді-індію (рис. 5) мають ККД рівний 15-20 %. Іноді деякі елементи індію заміщають галієм. Така практика пояснюється тим, що більша частина індію, що виробляється на сьогодні, потрібна для виробництва плоских моніторів. Саме тому з метою економії індію заміщають на галій, який має схожі властивості.



Рисунок 5 – Плівкова сонячна батарея на основі селеніду-міді-індію

Розробка сонячних батарей на основі полімерів почалася порівняно недавно (рис. 6). В якості матеріалів використовуються органічні напівпровідники, такі як поліфенілен, вуглецеві фулерени, фталоціанин міді та інші.

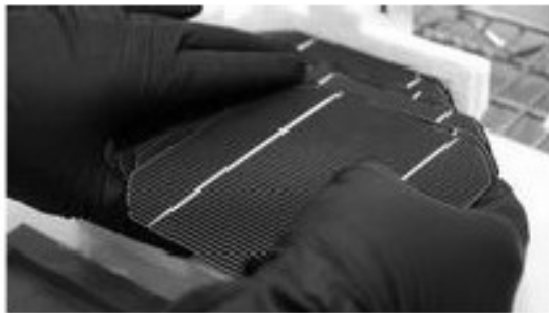


Рисунок 6 – Сонячна батарея на основі полімерів

Товщина плівок становить 100 нм. Полімерні сонячні батареї, як на рис. 6, мають на сьогоднішній день ККД всього 5-6 %. Але їх головними перевагами вважаються:

1. Низька вартість виробництва.
2. Легкість і доступність.
3. Відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Застосовуються полімерні батареї у випадках, де найбільше значення має механічна еластичність і екологічність утилізації.

У табл. 2 наведені узагальнені дані про ККД різних видів сонячних батарей.

Таблиця 2 – ККД різних видів сонячних батарей

Тип сонячної батареї	ККД, %
Монокристалічний кремній	17-22
Полікристалічний кремній	12-18
Аморфний кремній	5-6
Батареї на основі телуриду кадмію	10-12
Батареї на основі селеніду-міді-індію	15-20
Батареї на основі полімерів	5-6

Висновки. На даний момент плівкові сонячні батареї являють собою потенційну альтернативу кремнієвим панелям. В першу чергу, велику роль відіграє дешевизна їх виробництва за рахунок більш економічної технології виготовлення.

Однак, на даний момент ефективність таких панелей відносно невисока при ККД близько 10-12 %. Проте, тонкоплівкові панелі продовжують розвиватися, що дозволить їм в доступному для огляду майбутньому витіснити з ринку кристалічні батареї.

Список використаних джерел

1. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії: навч. посібник / Соловей О. І., Ю. Г. Лега, В. П. Розен та ін.; за заг. ред. Солов'я О. І. Черкаси : ЧДТУ, 2007. 490 с.
2. Величко С. А. Энергетика навколишнього середовища України (з електронними картами): навчально-методичний посібник для магістрантів / наук. редактор проф. Черваньов І. Г. Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2003. 52 с.
3. X-SERIES SOLAR PANELS. SunPower. [Electronic resource]. URL: <http://us.sunpower.com/homes/products-services/solar-panels/x-series>.
4. Solar cell efficiency tables / Green M., Emery K., Hishikawa Y., Warta W., Dunlop E. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. 2012. Vol. 20. P. 12–20.
5. Гременок В. Ф., Тиванов М. С., Залегкий В. Б. Солнечные элементы на основе полупроводниковых элементов. Минск : Центр БГУ, 2007. 222 с.
6. Беляев Л. С. Энергетика XXI века: условия развития, технологии, прогнозы / Л. С. Беляев, Лагереv А. В., Посекалин В. В. и др.; отв. ред. Воропай И. И. Новосибирск : Наука, 2004. 386 с.
7. The Multi Solar System (PVT). Millennium Electric. [Electronic resource]. URL: <http://www.millenniumsolar.com/default.asp?catid>
8. PV Thermal (PVT) Module. Helios Photovoltaic. [Electronic resource]. URL: <http://www.helios-pv.com/en/products/pv-thermal>.

Аннотация

ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСНОВНЫХ ВИДОВ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ

Савченко А. А., Попадченко С. А., Коломиец В. О.

Рассмотрены основные виды солнечных панелей по типам полупроводниковых материалов, проведен обзорный анализ их эффективности

Abstract

REVIEW ANALYSIS OF EFFICIENCY OF BASIC TYPES OF SOLAR PANELS

O. Savchenko, S. Popadchenko, V. Kolomiets

The main types of solar panels by types of semiconductor materials are considered, a review analysis of their efficiency is carried out.