

Альтернативна енергетика

Тема 2 Сонячна енергетика

Сонячні фотоелементи
(лекція)

Фотоелемент



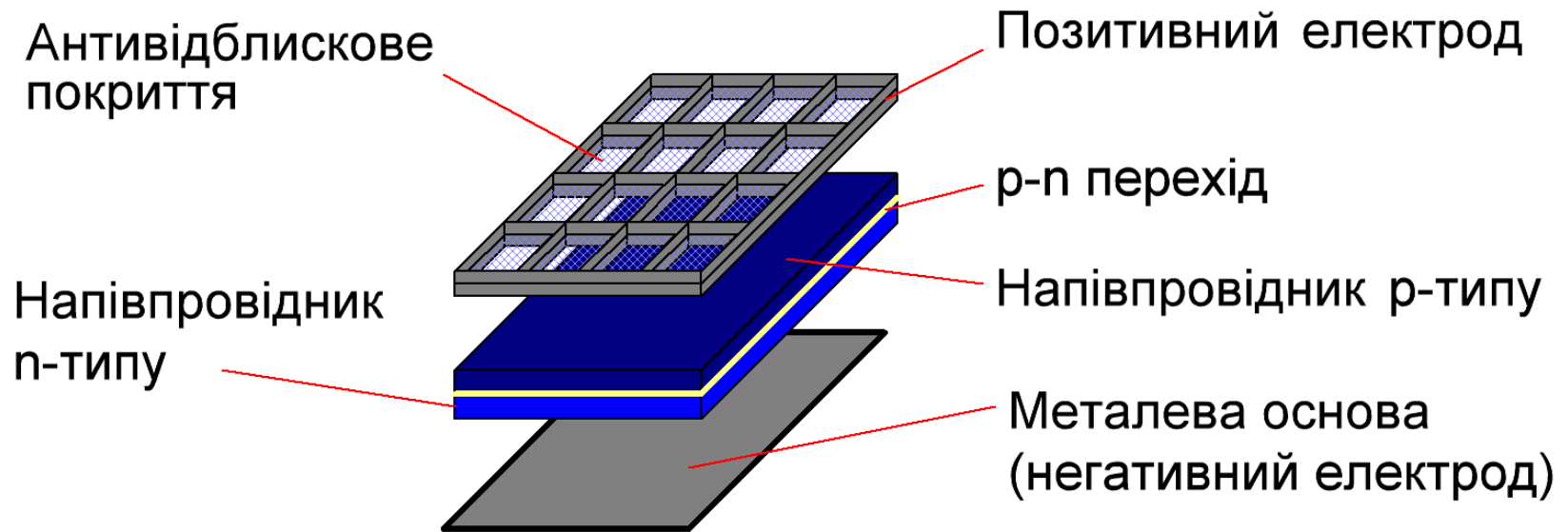
Фотоелемент – електронний прилад, який перетворює енергію фотонів у електричну енергію

Існують два типи фотоелементів:

- Електровакуумні
- Напівпровідникові

Для генерації електричної енергії використовуються напівпровідникові фотоелементи

Будова напівпровідникового фотоелементу



ККД типового фотоелемента 16%, у найкращих (і найдорожчих) моделей – до 25%

Найбільший ККД фотоелемента, що був отриманий у лабораторних умовах – 44,7% (2013 рік)

Вольт-амперна характеристика типового фотоелемента



Фотоелемент є **генератором струму**, величина якого залежить від рівня освітлення

Максимальна напруга на фотоелементі не перевищує 0,6 В

Стандартні тестові умови

Standard Test Conditions (STC)

- Температура модуля – 25 °C
- Освітленість – 1000 Вт/м²
- Швидкість вітру – 0 м/с
- Повний спектр опромінення повинен відповідати масі повітря 1,5 (відповідає спектру сонячного світла та рівню освітлення, що падає на поверхню, спрямовану на південь під кутом до горизонту 37° при висоті Сонця 41,81°)

Характеристики при стандартних тестових умовах є обов'язковими для усіх виробників сонячних панелей

Стандартні тестові умови рідко зустрічаються під час практичної експлуатації сонячних панелей

УМОВИ PTC

Photovoltaics for Utility Systems Applications Test Conditions (PTC або PVUSA)

- Освітленість – 1000 Вт/м^2
- Температура повітря – $20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Швидкість вітру – 1 м/с
- Висота встановлення панелі над рівнем землі – 10 м

Параметри модулів, виміряні при PTC на 10...15% гірші ніж при STC і більш об'єктивно відбивають реальні умови експлуатації

250 WATT

ND-250QC s

module output cables: 12 AWG pV Wire (per UL Subject 4703)



Electrical Characteristics	
Maximum Power (Pmax)*	250 W
Tolerance of Pmax	+5%/-0%
PTC Rating	223.6 W
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	38.3 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	29.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.90 A
Maximum Power Current (Ipm)	8.40 A
Module Efficiency (%)	15.3%
Maximum System (DC) Voltage	600 V (UL)/1000V (IEC)
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	

Температура модуля у нормальному режимі експлуатації

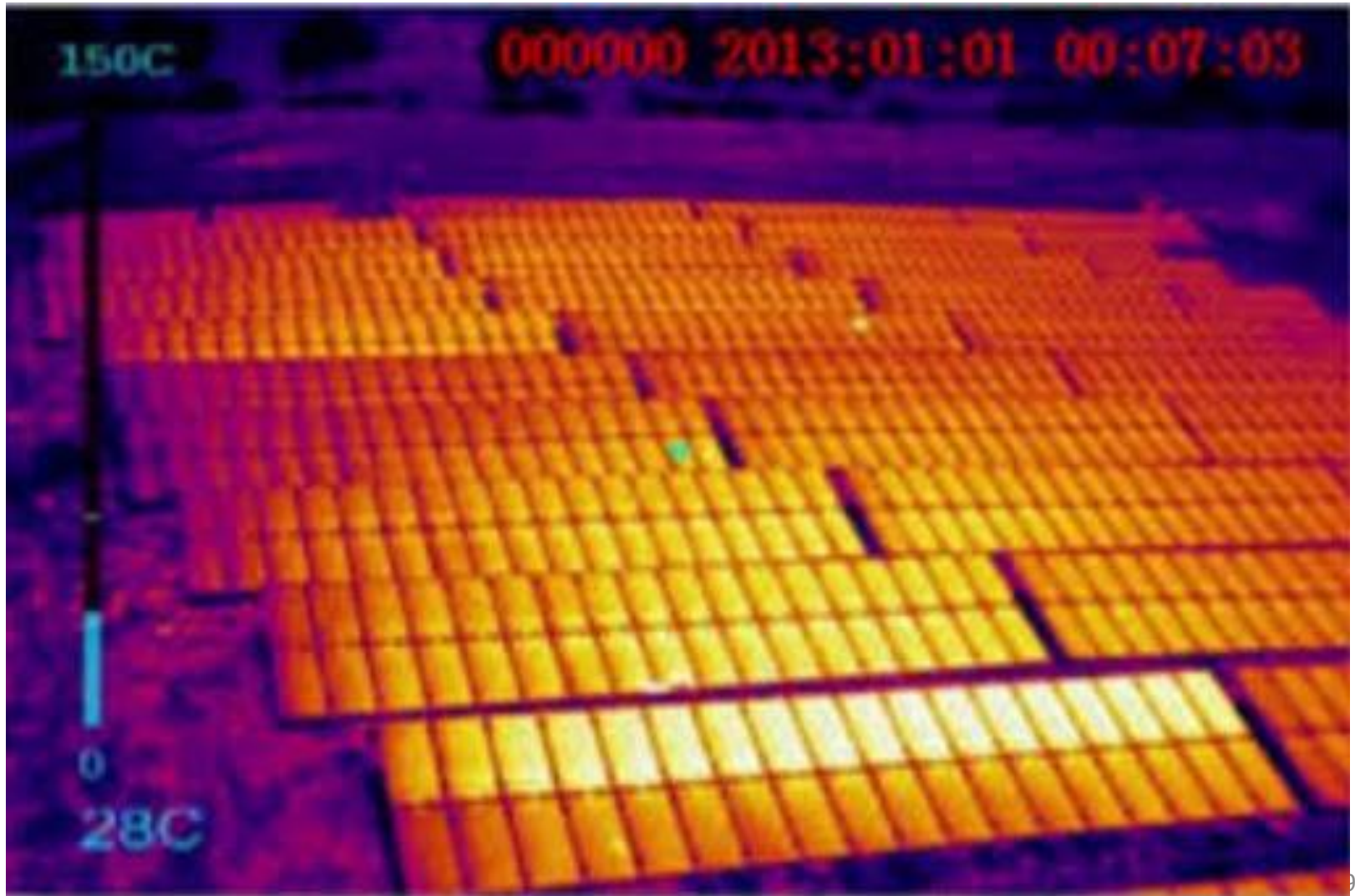
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

- Освітленість – 800 Вт/м²
- Температура повітря – 20 °С
- Кут нахилу сонячної панелі – 45° на південь
- Електричне коло повинно бути розімкнено

Чим нижче NOCT, тим краще буде працювати модуль
Середнє значення NOCT – 48 °С

NOCT не є реальною температурою модуля (реальна температура залежить від умов охолодження)

Тепловізійна фотографія сонячної електростанції



Температура модуля у нормальному режимі експлуатації

Реальна температура модуля залежить від способу монтажу панелі (на 10...15 °С) і може перевищувати 70 °С при температурі повітря 25 °С

При підвищенні температури вихідна напруга сонячного елемента знижується у середньому на 0,08 В/°С

Реальна вихідна напруга панелі, що при STC має напругу 17 В, знижується до 15 В.

Модуль з NOCT = 43 °С згенерує на 3% більше енергії ніж модуль з NOCT = 50 °С за тих самих умов експлуатації

Панелі із NOCT > 50 °С краще не використовувати!

Інші параметри модулів

- **Low Irradiance Conditions (LIC)** – умови низького рівня освітленості (200 Вт/м²)
- **High Temperature Conditions (HTC)** – умови високих температур (75 °C)
- **Low Temperature Conditions (LTC)** – умови низьких температур (15 °C, 500 Вт/м²)
- Спектральні характеристики освітлення визначаються **IEC 60904-3** (Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data)

250 WATT

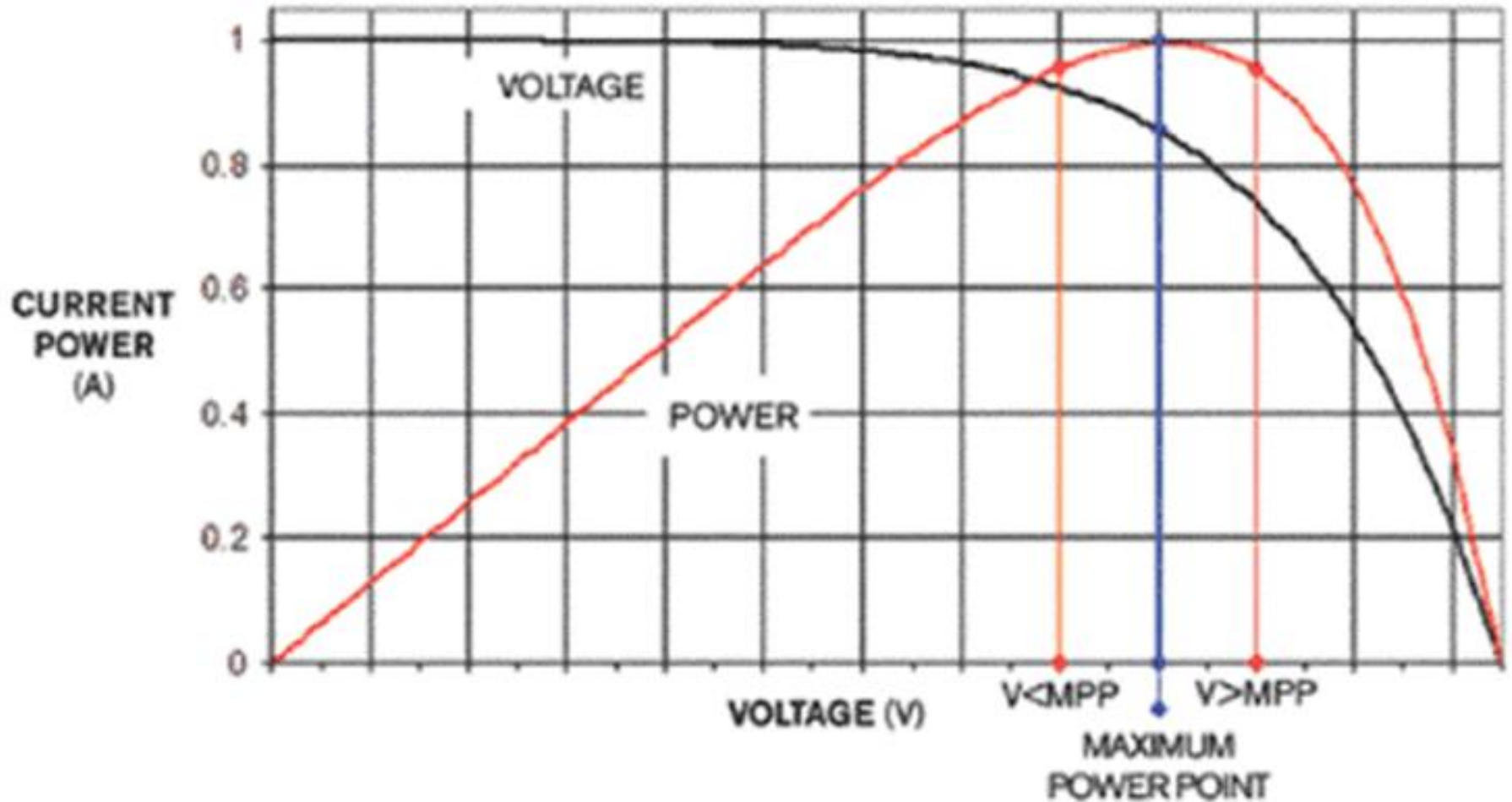
ND-250QC s

module output cables: 12 AWG pV Wire (per UL Subject 4703)



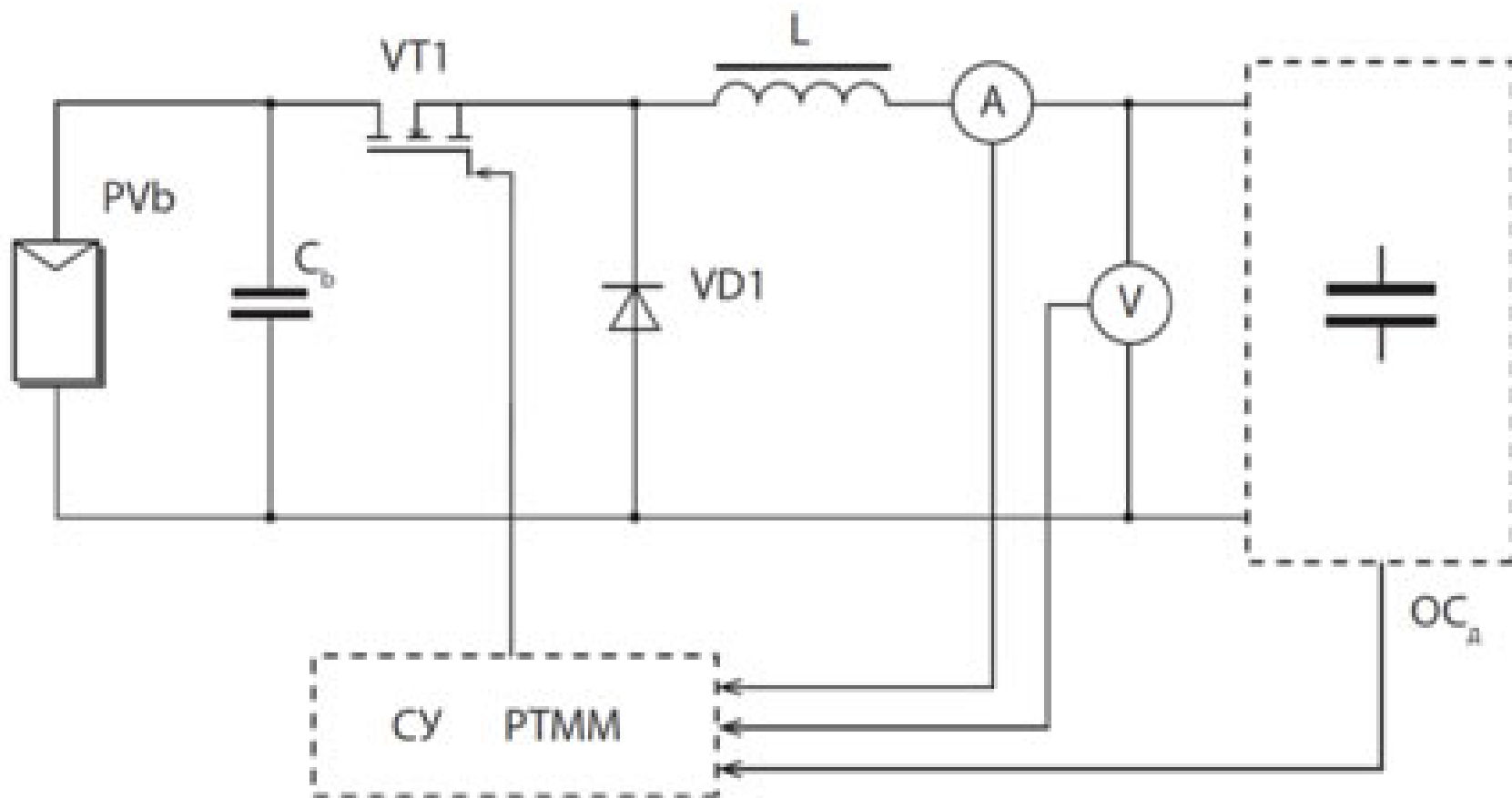
Electrical Characteristics	
Maximum Power (Pmax)*	250 W
Tolerance of Pmax	+5%/-0%
PTC Rating	223.6 W
Type of Cell	Polycrystalline silicon
Cell Configuration	60 in series
Open Circuit Voltage (Voc)	38.3 V
Maximum Power Voltage (Vpm)	29.8 V
Short Circuit Current (Isc)	8.90 A
Maximum Power Current (Ipm)	8.40 A
Module Efficiency (%)	15.3%
Maximum System (DC) Voltage	600 V (UL)/1000V (IEC)
Series Fuse Rating	15 A
NOCT	47.5°C
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.485%/°C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.36%/°C
Temperature Coefficient (Isc)	

Точка максимальної потужності

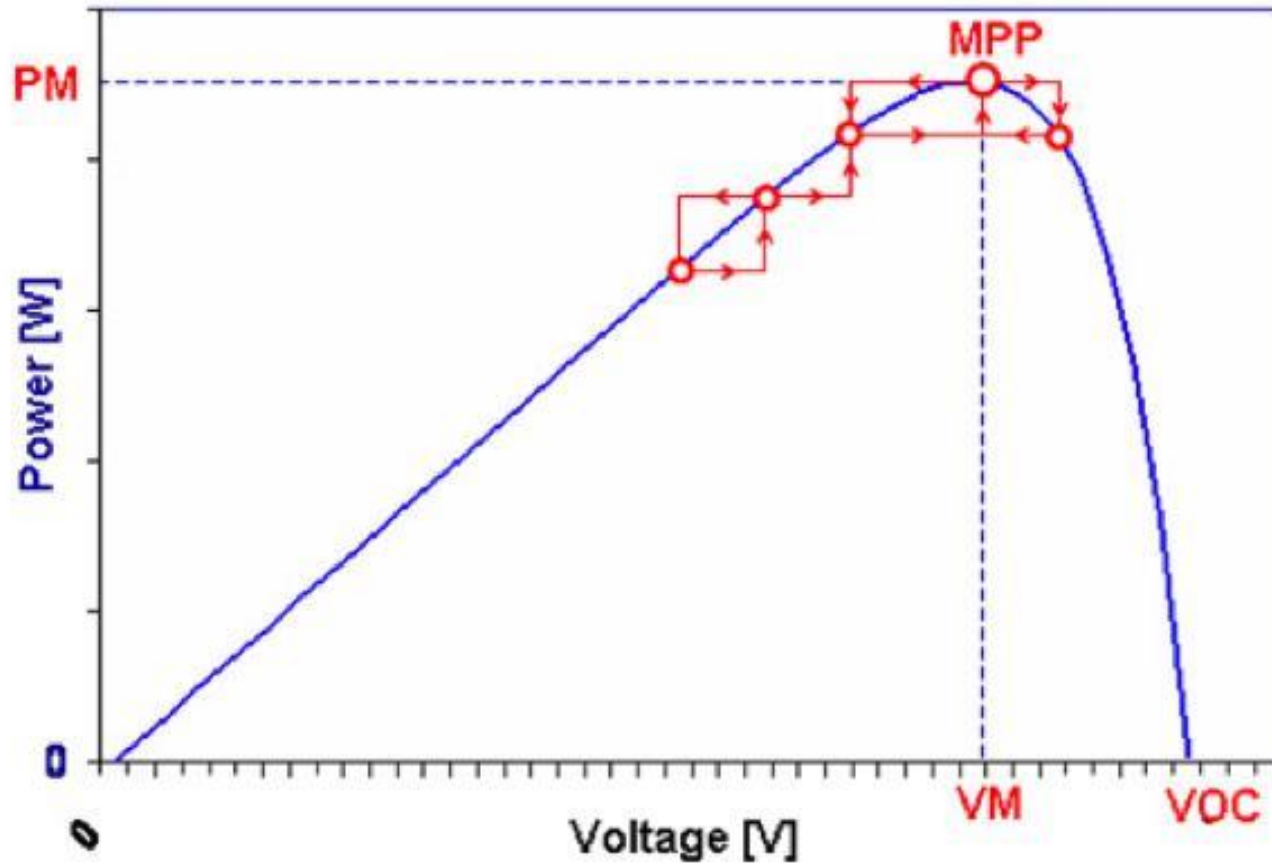


NOTE: MPP=MAXIMUM POWER POINT.

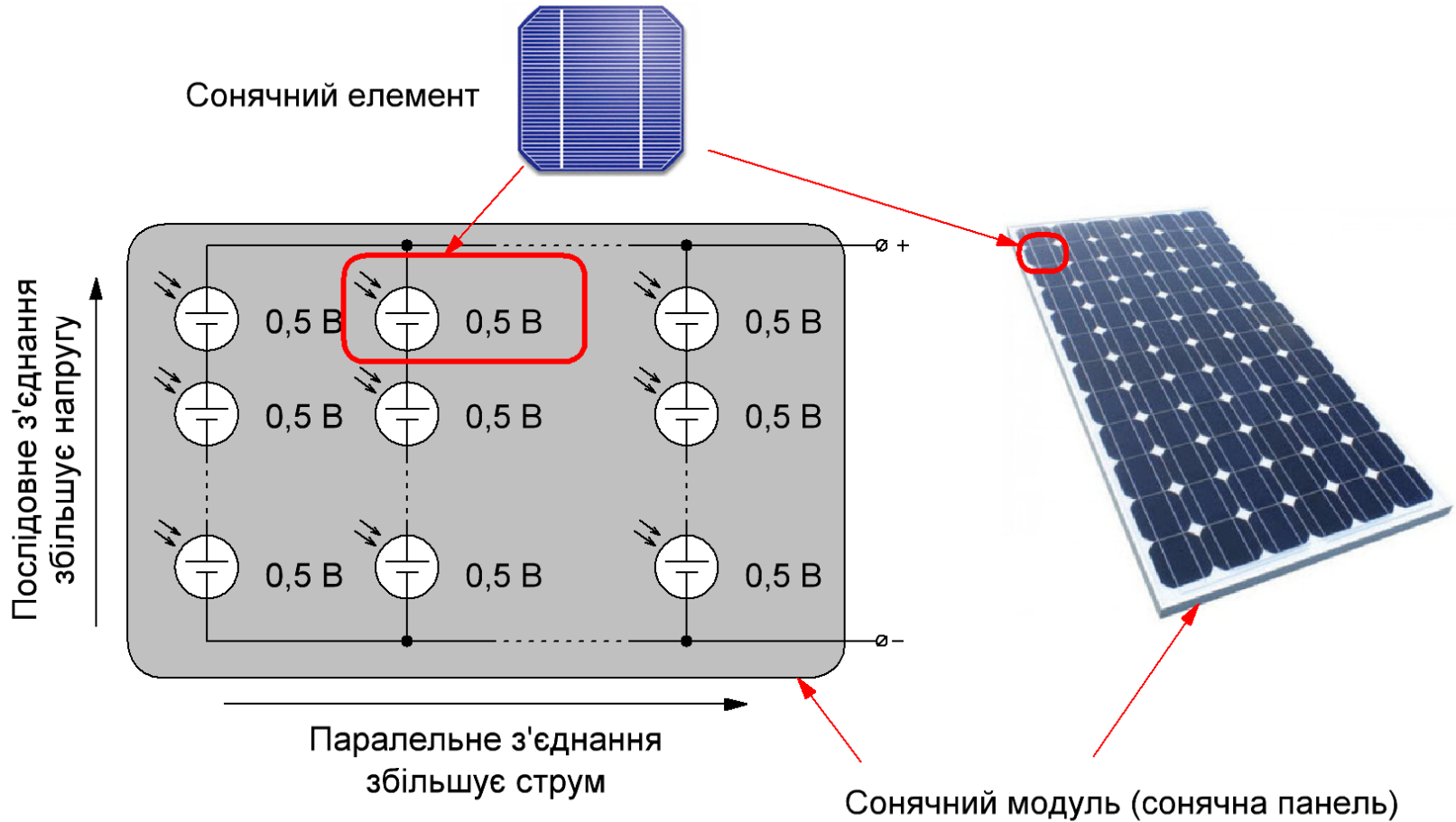
Контролер сонячної батареї



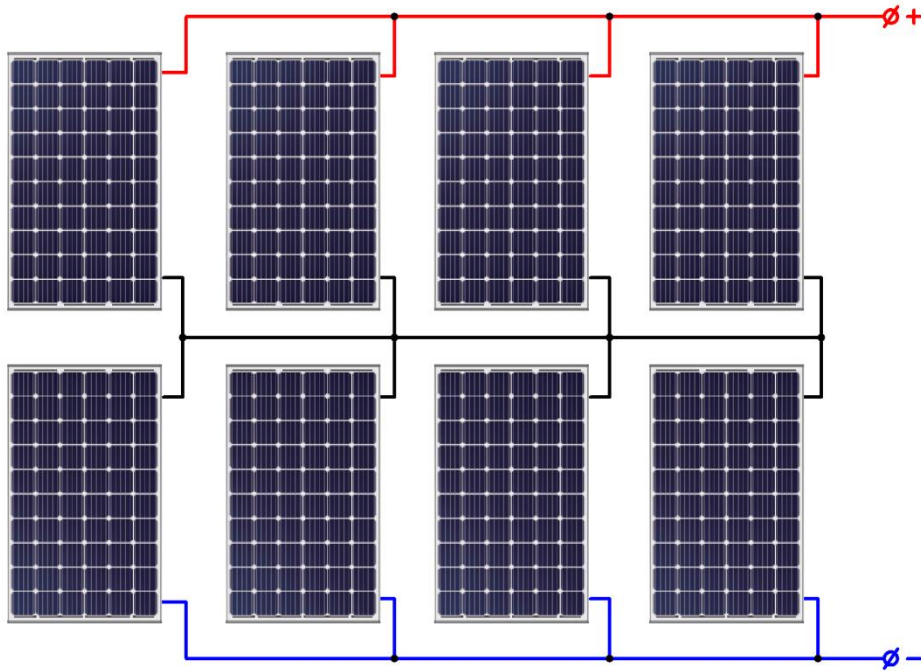
Алгоритм пошуку ТМП (MPP)



З'єднання фотоелементів

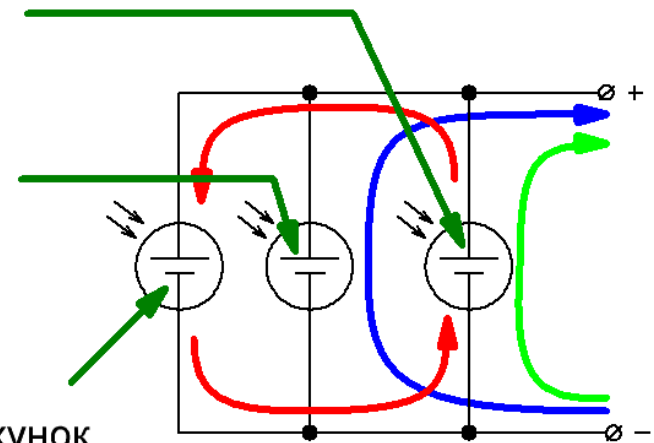
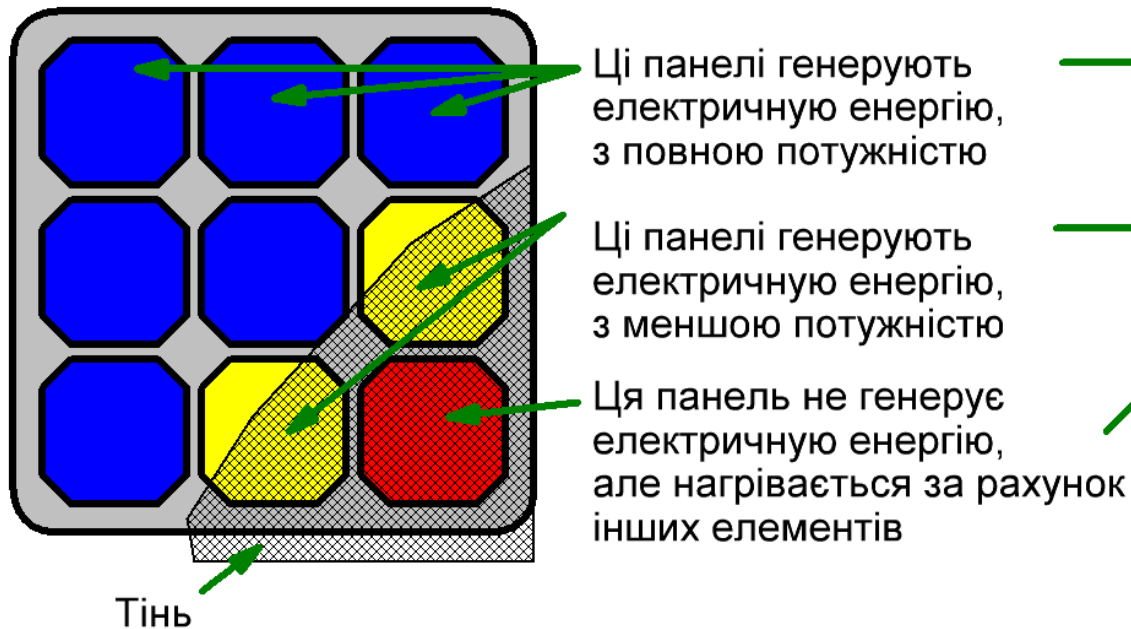


Сонячна батарея



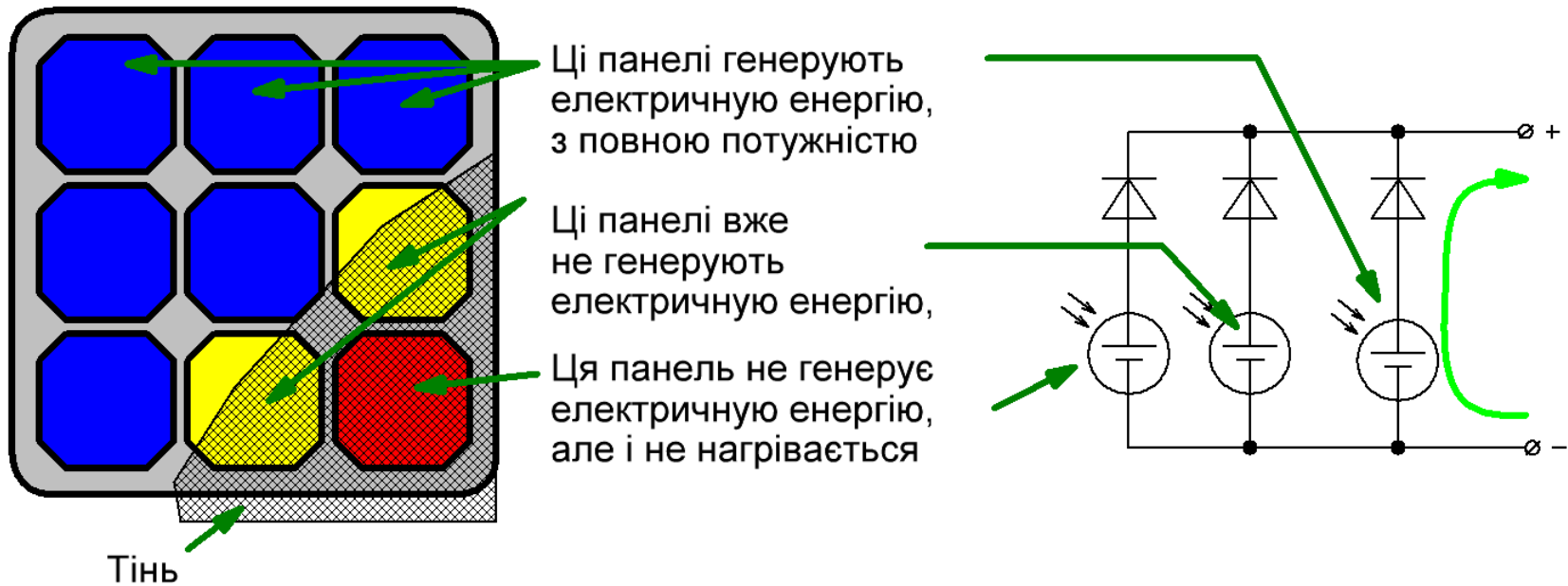
Сонячна батарея – це послідовне та/або паралельне з'єднання сонячних панелей, хоча часто сонячною батареєю називають сонячні панелі (послідовне та/або паралельне з'єднання сонячних елементів)

Проблема батарей із великою площею



Якщо не приймати необхідних заходів, то у випадку часткового затінення батареї затінені панелі почнуть перегріватися та швидко деградувати, а потужність батареї зменшиться через витрати енергії на розігрів затінених панелей

Проблема батарей із великою площею



Використання блокувальних діодів, у якості яких зазвичай використовують діоди Шотткі, дозволяє підвищити ККД та подовжити термін служби сонячних панелей

Типи сонячних елементів



Монокристалічний



Полікристалічний



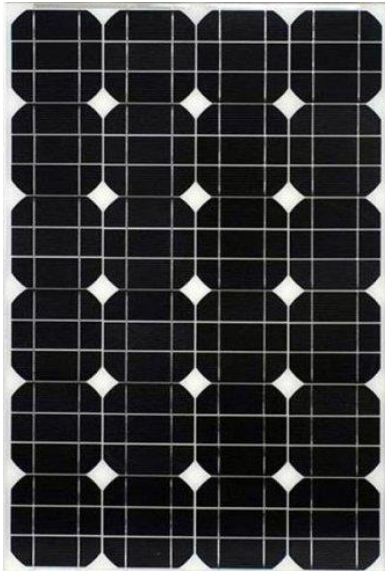
Аморфний

Монокристалічний кремній



Монокристалічний кремній вирощується з невеликого затравочного кристала, який повільно витягується з розплаву полікремнію в циліндричний злиток (ingot). Такий процес вимагає великих енергетичних витрат та більш тривалого часу виробництва.

Монокристалічний кремній

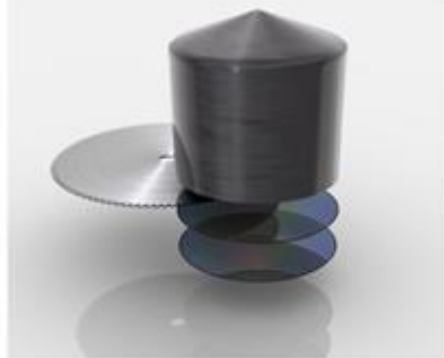


- Високий ККД (до 22%)
- Тривалий термін служби (до 40 років)
- Низький рівень деградації при підвищенні температури (можуть працювати до 70 °С)
- Вихідна потужність суттєво залежить від рівня освітлення (погано працюють у хмарну погоду, бажано використання систем наведення на Сонце)
- Менший процент браку за рахунок більш міцного матеріалу
- Висока вартість

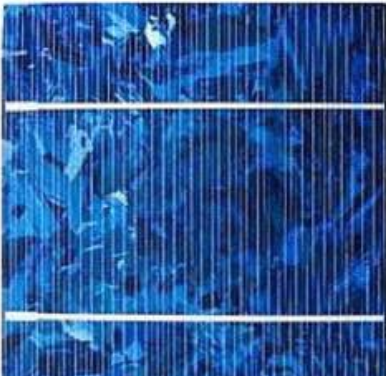
Полікристалічний кремній



Полікристалічний кремній отримують шляхом плавлення кремнію в прямокутній формі, тому активний матеріал містить безліч окремих кристалів кремнію. Потім отриманий сплав розрізається на тонкі пластини, які після відповідної обробки та нанесення металевих провідників ще раз розрізаються на окремі елементи.



Полікристалічний кремній



- Менший ККД (до 17%)
- Потребують більшої площі (на 5% більше порівняно із монокристалічними елементами)
- Більший рівень деградації при підвищенні температури
- Менший термін служби (до 20 років)
- Мають неоднорідності, що видно неозброєним оком (зменшення естетичного вигляду)
- Здатні працювати у хмарну погоду (не потребують систем наведення на Сонце)
- Менша вартість

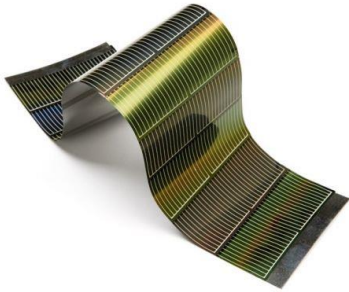
Аморфний кремній

Аморфний кремній – некристалічна форма кремнію, що використовується для виготовлення тонкоплівкових транзисторів (використовуються у матрицях рідкокристалічних дисплеїв) та сонячних панелей



Аморфний кремній є перспективною технологією із високим потенціалом

Аморфний кремній



- Висока ефективність при підвищенні температури
- Висока ефективність при зниженні рівня освітлення (у хмарний день можуть працювати навіть коли кристалічні елементи вже не генерують)
- Можливість непомітної інтеграції у будівлю (гнучкі та напівпрозорі – їх можна наклеїти на стіни, та навіть віконне скло, не потребують додаткових конструкцій)
- Більш просте виробництво та менший відсоток браку. Можна виготовити монолітну панель будь яких розмірів (не потребують збірки панелей із окремих елементів)
- Низький ККД (7...13%), хоча вже є експериментальні зразки з ККД 22,3%
- Невеликий термін служби (у середньому 10 років)
- Найнижча вартість

Фасад будинку з інтегрованими сонячними панелями із аморфного кремнію



Сонячний елемент 4,2 Вт

Полікристалічний сонячний елемент потужністю 4.2 Вт. Можна використовувати як в створенні сонячних панелей, так і для звичайного живлення електроприладів та акумуляторів. Для отримання максимальної ефективності потрібно хоча б 3 елементи з'єднати послідовно.



Характеристики:

- Максимальна потужність – 4,2 Вт (точка максимальної потужності – 0,523 В, 8,03 А)
- Напруга без навантаження – 0,623 В
- Струм короткого замикання – 8,57 А
- ККД – 17,2%
- Розмір – 156 x 156 x 0,5 мм

Роздрібна ціна (2018 рік) – 63 грн

Сонячний елемент 2,6 Вт

Монокристалічний сонячний елемент потужністю 2,6 Вт. Можна використовувати як в створенні сонячних панелей, так і для звичайного живлення електроприладів та акумуляторів. Для отримання максимальної ефективності потрібно хоча б 3 елементи з'єднати послідовно.

Характеристики:

- Максимальна потужність – 2,6 Вт (точка максимальної потужності – 0,503 В 5,16 А)
- Напруга без навантаження – 0,527 В
- Струм короткого замикання – 5,59 А
- ККД – 16.4%
- Розмір: 125 x 125 x 0,5 мм

Роздрібна ціна (2018 рік) – 50 грн



Телурид-кадмієві



Сонячні панелі із телуриду кадмію CdTe виробляються на підкладці з прозорим провідником, який виготовляється з оксиду індію та олова і використовується як передній контакт.

Особливості:

- ККД 8,5%...10%
- Випускаються та використовуються із 70-х років ХХ-сторіччя
- Активно використовуються у космосі
- Колір від дзеркального темно-зеленого до чорного, зовнішній вигляд – однорідний
- **Кадмій є отруйною речовиною**

Селено-індієво-мідні

Активним напівпровідниковим матеріалом в **CIS (CIGS) фотоелементах** є діселенід індію і міді, що часто легується галієм і (або) сіркою



Особливості:

- ККД від 9% до 11% (15%...20%)
- Форма елемента відповідає формі модуля
- Товщина модуля в незагартованим склі від 2 мм до 4мм
- Колір від темно-сірого до чорного, однорідний зовнішній вигляд
- **Замість індію (що використовуються для виготовлення рідкокристалічних моніторів) широко використовують галій**

Полімерні сонячні панелі

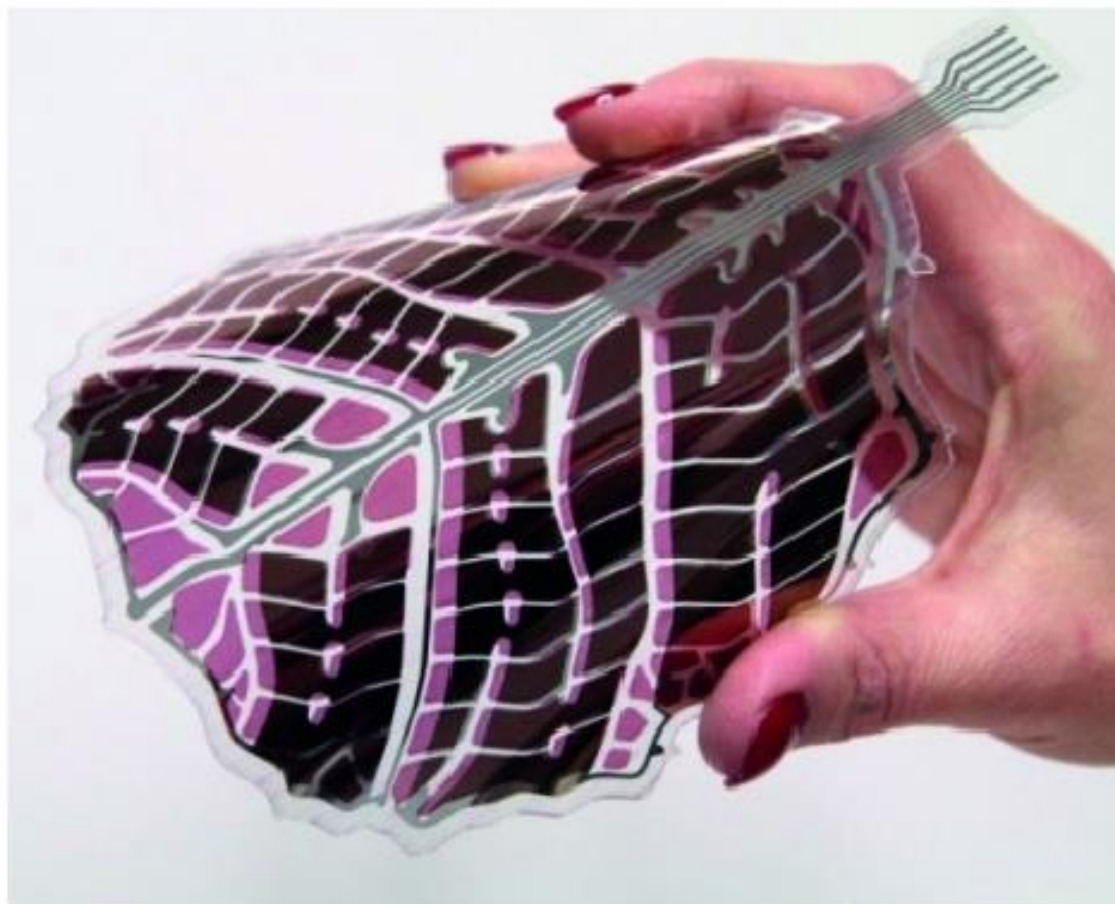
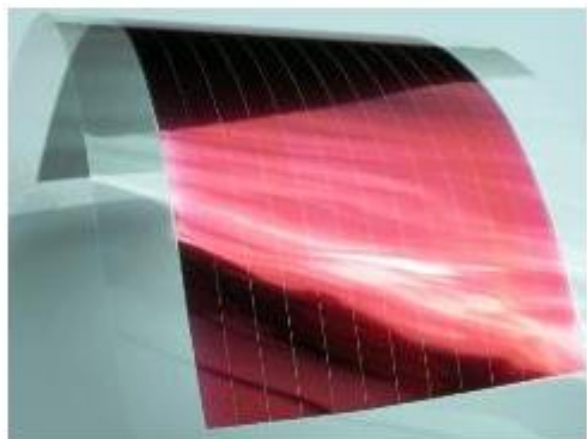


У якості напівпровідника виступають поліфенілен, фуреллен, фталоціанін міді

Особливості:

- Товщина плівки 100 нм
- ККД – 5%
- Наднизька вартість
- Доступність матеріалів
- Відсутність шкідливих виділень в атмосферу
- Еластичні та екологічні

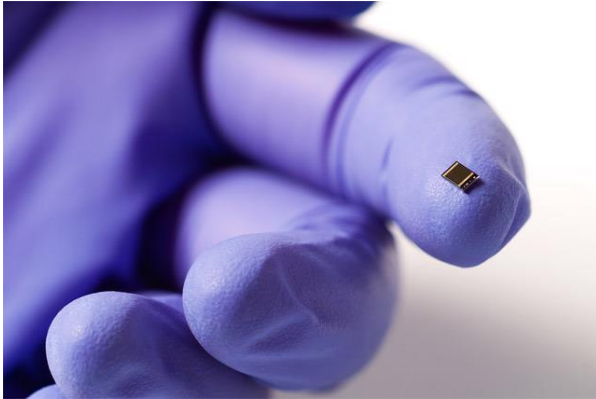
Полімерні сонячні панелі



Порівняльна характеристика сонячних панелей різних типів

Тип панелі	ККД
Монокристалічні	17...22%
Полікристалічні	12...18%
Аморфні	5...6%
Телурід кадмію	10...12%
Селенід міді-індія	15...20%
Полімерні	5...6%

Фотоелемент із найбільшим ККД (44,7%)



Створений групою фахівців з Інституту систем сонячної енергії суспільства Фраунгофера, компаній Soitec, CEA-Leti і Центру імені Гельмгольца (Берлін) у 2013 році.



Призначений для роботи з концентратором, який концентрує потік сонячних променів в 297,3 рази (площа лінз приблизно в 300 разів більше площі фотоелемента). Енергія хвиль довжиною 200-1800 нм забирається чотирма внутрішніми шарами.

Комірки Гретцеля

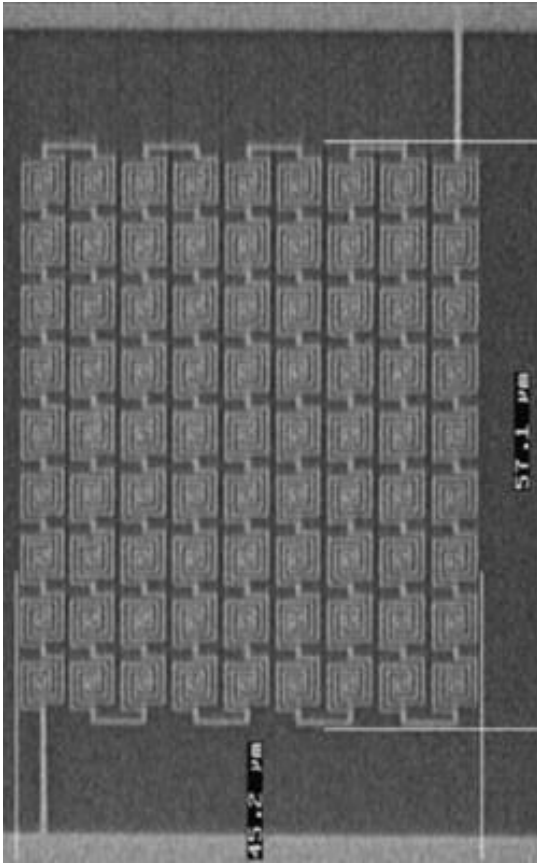


Сенсибілізовані барвником сонячні батареї – фотоелектрохімічні осередки, в яких використовуються фоточутливі мезопористі оксидні напівпровідники з широкою забороненою зоною

Винайдені в 1991 році Гретцелем і ін., На ім'я якого і отримали назву осередків Гретцеля

Принцип роботи схожий із реакцією фотосинтезу

Сонячні наноантени



Наноантена – пристрій перетворення сонячної енергії в електричний струм шляхом випрямлення високочастотних коливань струму

- Запропонована Ніколою Тесла в патенті № 685,957 від 05.11.1901
- Підтримана Робертом Бейлі в 1972 році

Made in Ukraine



Висновки

- На сьогоднішній день найбільш перспективним напрямом є використання кремнієвих (монокристалічних та полікристалічних) фотоелементів
- Пошук шляхів збільшення ККД фотоелементів на сьогоднішній день триває

Дякую за увагу!

О.П. Русу

2020 р.