



**Instytut Elektroniki
Zespół Mikroelektroniki
i Nanotechnologii**

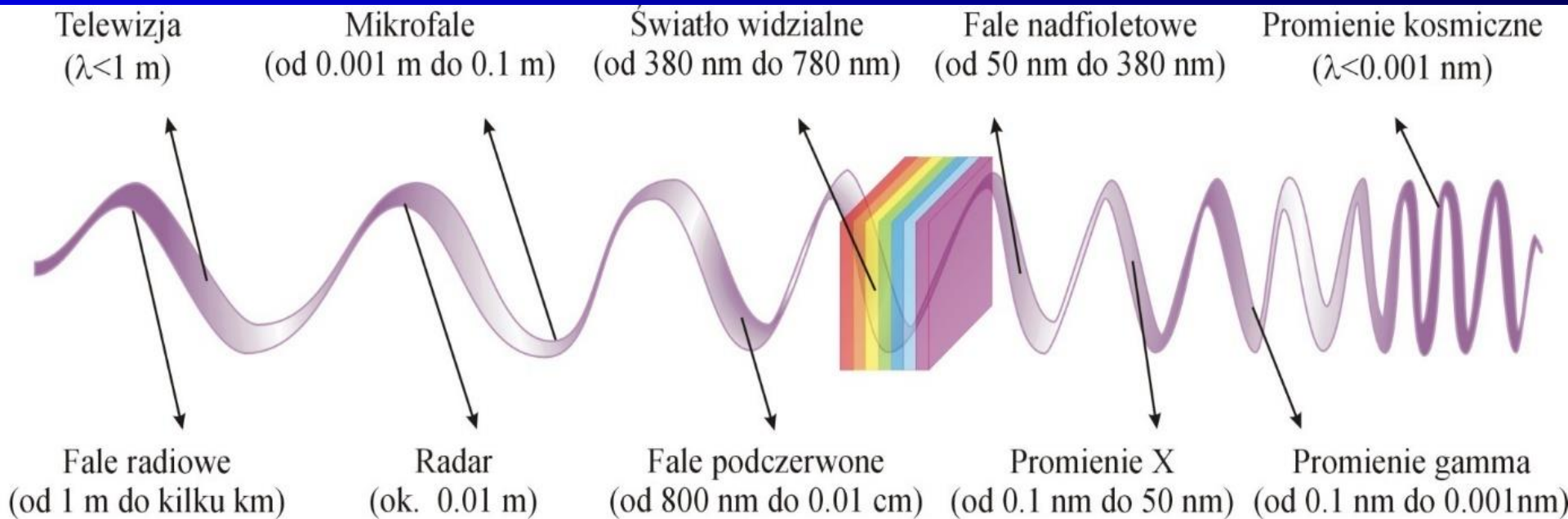


Fotodetektory, ogniwa słoneczne

Weronika Izydorczyk

3

Fotodetektory - fotoogniwa

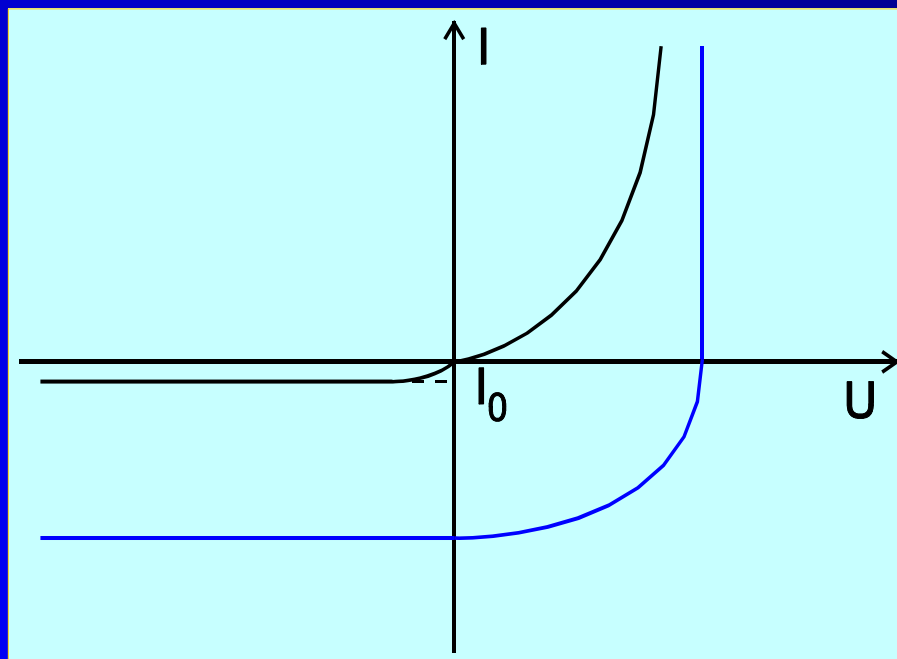


Model złącza p-n, na które zadziałano kwantem światła

Podczas oświetlania złącza można zaobserwować następujące zjawiska:

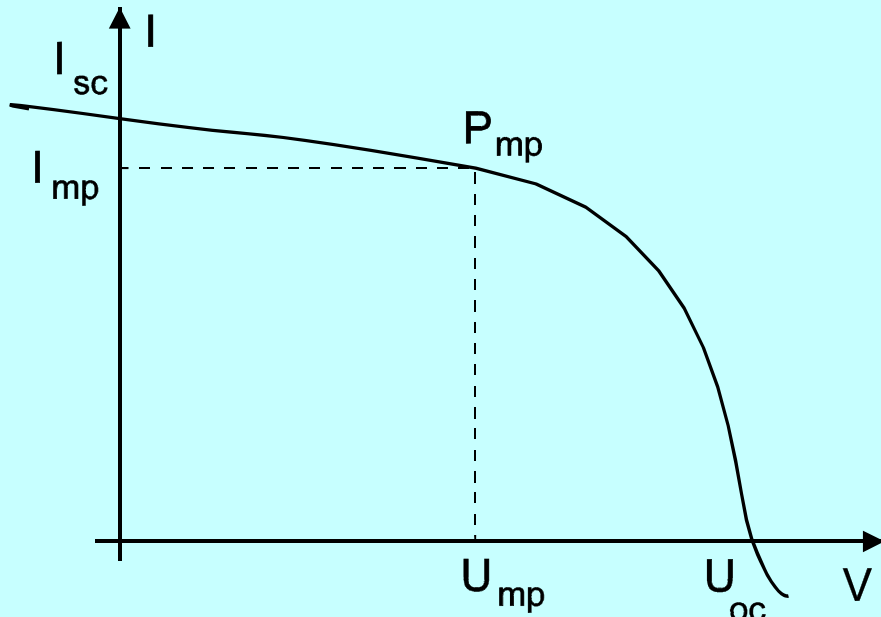
- wytworzenie dodatkowej pary elektron dziura;
- przepływ prądu fotowoltaicznego;
- powstanie napięcia polaryzującego na końcówkach złącza, wskutek czego złącze spolaryzowane jest w kierunku przewodzenia

$$\lambda[\mu m] = \frac{1,24}{W_g[eV]}$$



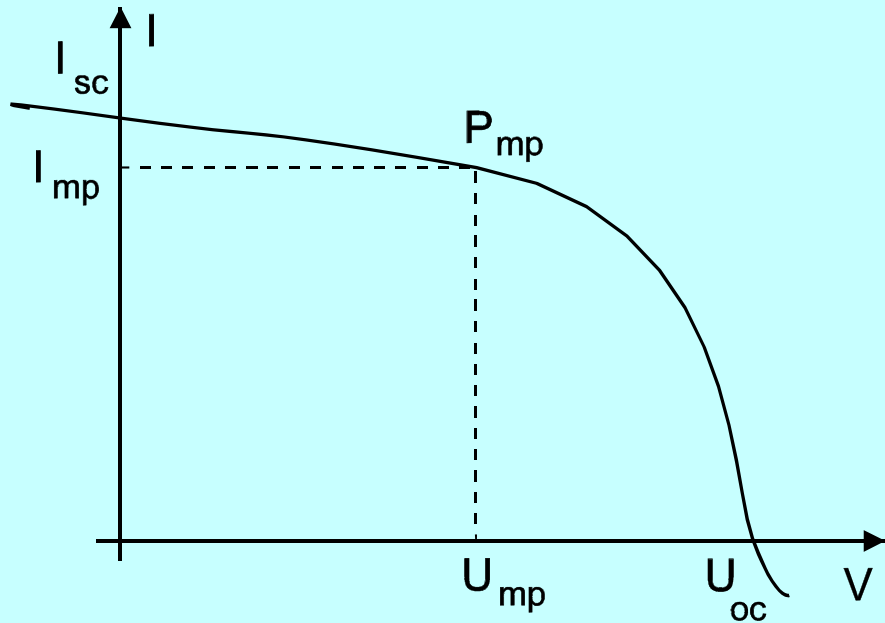
Parametry ogniw słonecznych

- Gęstość prądu zwarcia I_{sc}
- Napięcie rozwarcia U_{oc}
- Maksymalna moc P_{mp}
- Współczynnik wypełnienia FF (fill factor):
- Sprawność ogniwa η (%)
- Wydajność kwantowa Q (λ).
- Współczynniki temperaturowe



I_{mp} , U_{mp} - współrzędne punktu mocy maksymalnej

Parametry ogniw słonecznych



Napięcie rozwarcia:

$$U_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{I_F}{I_0} + 1 \right)$$

Gęstość prądu zwarcia:

$$I_{sc} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{R_s I_{sc}}{\frac{A k T}{q}} \right) - 1 \right] - \frac{R_s I_{sc}}{R_{sh}}$$

$$I_{sc} \approx I_{ph} = \text{const} \cdot E$$

E - natężenie promieniowania.

Parametry ogniw słonecznych

**Współczynnik wypełnienia FF
(fill factor):**

$$FF = \frac{I_{mp} U_{mp}}{I_{sc} U_{oc}}$$

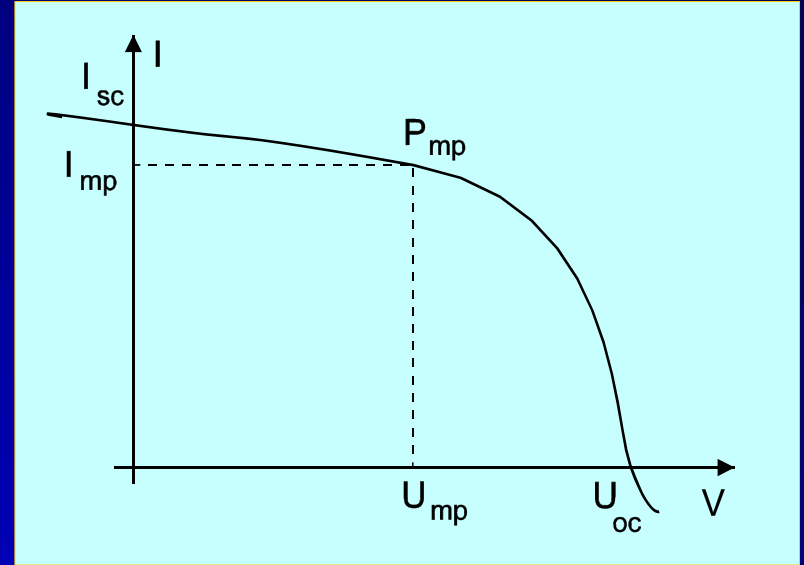
Sprawność ogniwa:

$$\eta [\%] = \frac{U_{mp} I_{mp} A_f}{P_{IN} A_t} \cdot 100 [\%] = FF \frac{U_{oc} I_{sc} A_f}{P_{IN} A_t} \cdot 100 [\%]$$

*Stosunek mocy oddawanej do obciążenia
przez ogniwo do mocy promieniowania
padającego na powierzchnię ogniwa P_{IN}*

A_f - powierzchnia czynna ogniwa;

A_t - całkowita powierzchnia ogniwa.



Parametry ogniw słonecznych

Wydajność kwantowa $Q(\lambda)$ zewnętrzna:

$$Q_e(\lambda) = \frac{I_e(\lambda) + I_h(\lambda) + I'(\lambda)}{qN_{ph}(\lambda)}$$

Stosunek gęstości fotoprądu dla danej długości fali do iloczynu ładunku elementarnego i gęstości strumienia fotonów o długości fali λ padających na czynną powierzchnię ogniwa.

λ - długość fali;

$I_h(\lambda)$ - gęstość prądu dyfuzyjnego (dziurowego);

$I_e(\lambda)$ - gęstość prądu dyfuzyjnego (elektronowego)

N_{ph} - koncentracja par elektron-dziura

Parametry ogniw słonecznych

Wydajność kwantowa $Q_i(\lambda)$ wewnętrzna:

$$Q_i(\lambda) = \frac{I_e(\lambda) + I_h(\lambda) + I'(\lambda)}{qN_{ph}(\lambda)[1 - R(\lambda)]}$$

Stosunek gęstości fotoprądu dla danej długości fali do iloczynu ładunku elementarnego i gęstości strumienia fotonów o długości fali λ pochłoniętych przez półprzewodnik, gdzie $R(\lambda)$ określa stosunek fotonów odbitych do padających na powierzchnię

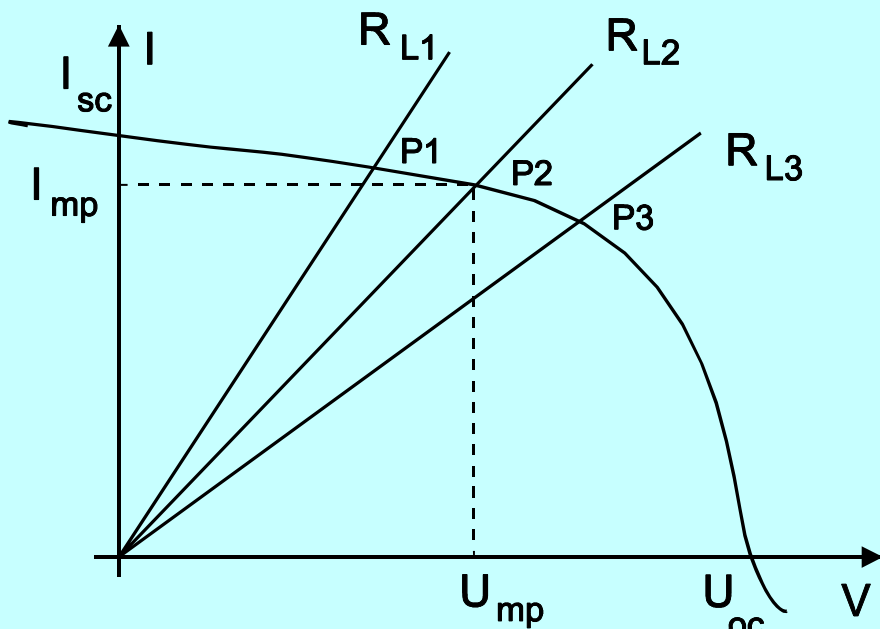
λ - długość fali;

$I_h(\lambda)$ - gęstość prądu dyfuzyjnego (dziurowego);

$I_e(\lambda)$ - gęstość prądu dyfuzyjnego (elektronowego)

N_{ph} - koncentracja par elektron-dziura

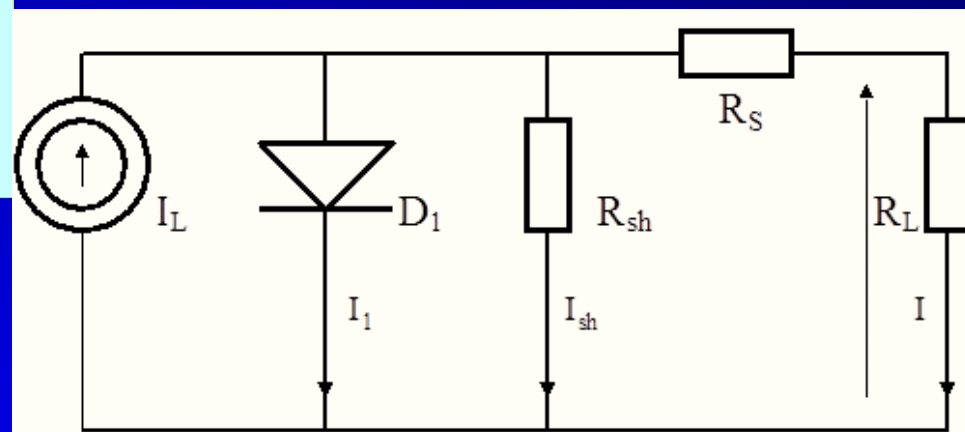
Parametry ogniw słonecznych



I_{mp} , U_{mp} - współrzędne punktu mocy maksymalnej

Maksymalna moc

$$P_{mp} = I_{mp} \cdot U_{mp}$$



Punkt pracy ustala się drogą doboru rezystancji obciążenia R_L
 $R_{L1} < R_{L2} < R_{L3}$; $P_1 < P_2 = P_{mp}$; $P_3 < P_2 = P_{mp}$.

Zależność parametrów ogniw słonecznych od temperatury

Typowe współczynniki temperaturowe wynoszą:

- temperaturowy współczynnik zmian I_{sc} (prądu zwarcia):**

$$\frac{dI_{sc}}{dT} = +0,01 \frac{mA}{cm^2 \text{ } ^\circ C}$$

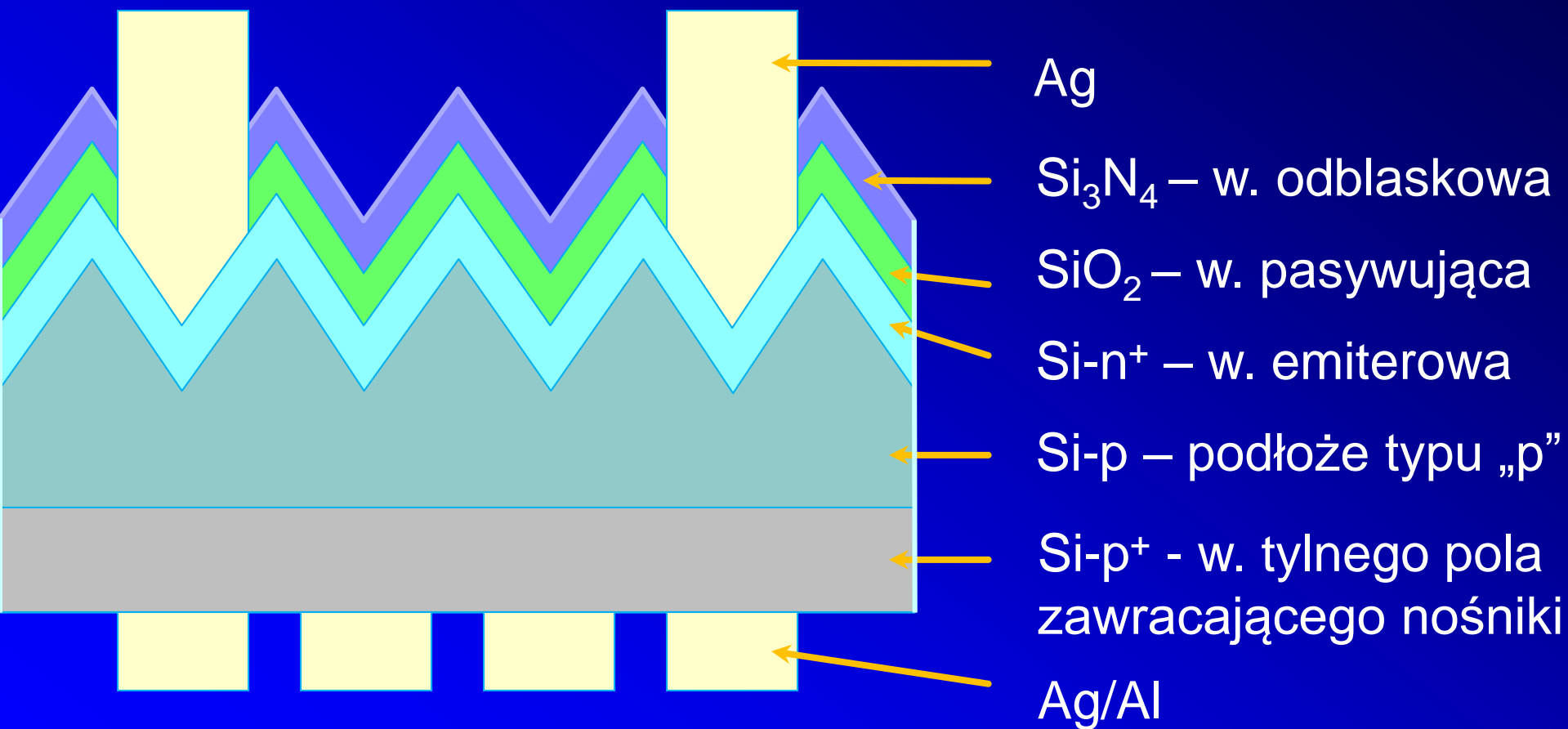
- temperaturowy współczynnik zmian U_{oc} (napięcia obwodu otwartego):**

$$\frac{dU_{oc}}{dT} = -2,2 \frac{mV}{^\circ C}$$

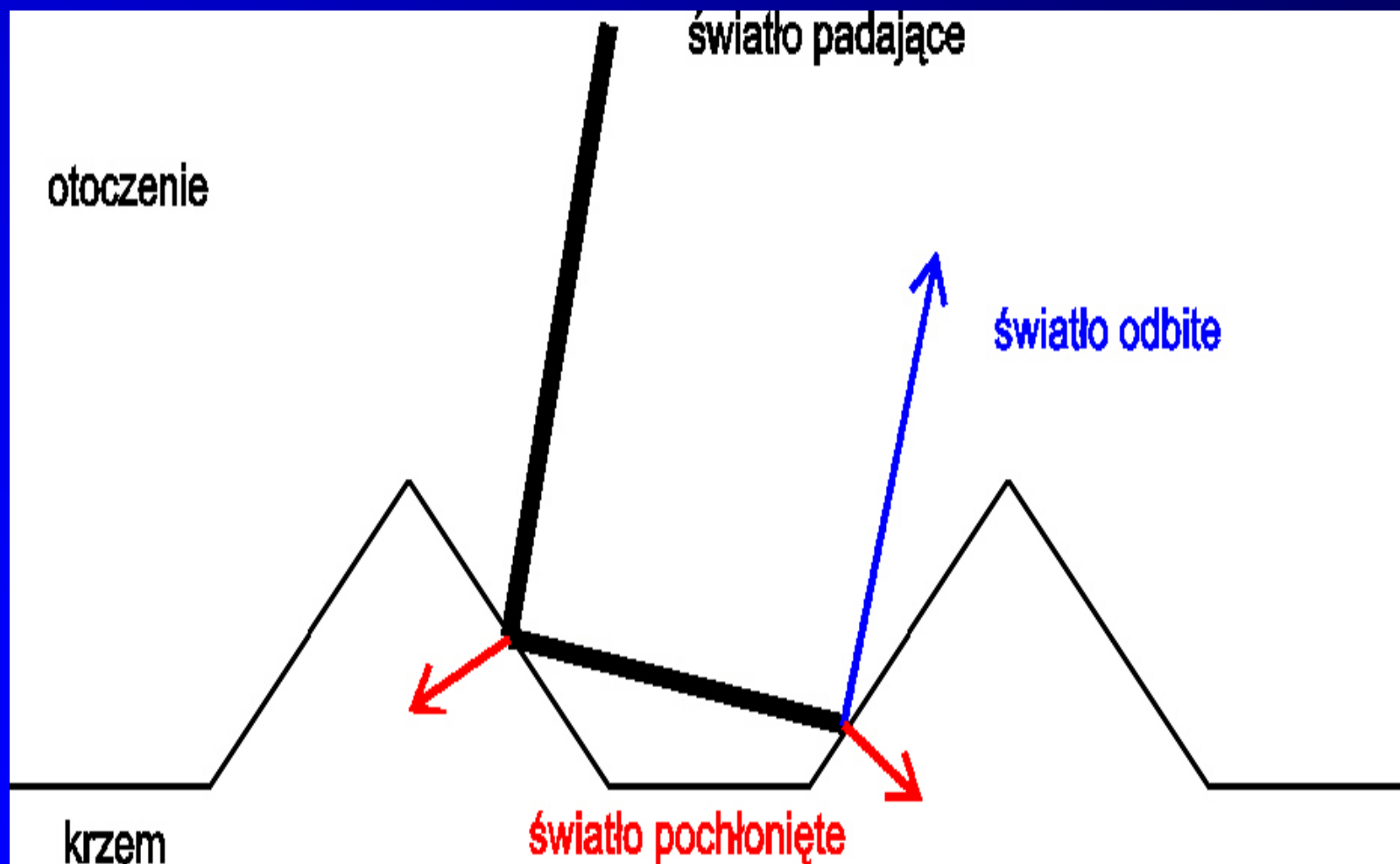
- temperaturowy współczynnik zmian P_{IN} (mocy promieniowania padającego na powierzchnię ogniwa):**

$$\frac{dP_{IN}}{dT} = -0,5 \frac{\%}{^\circ C}$$

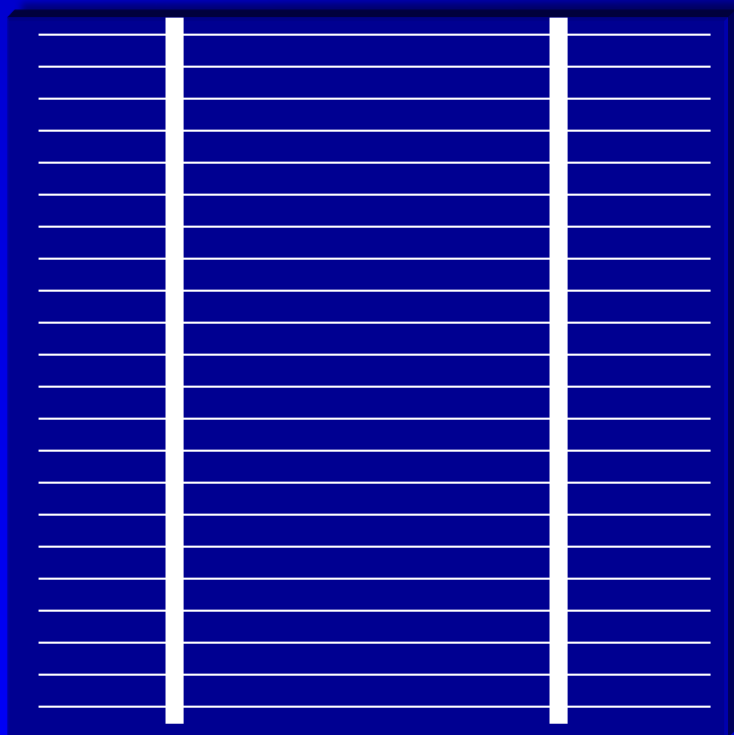
Struktura krzemowego ogniwa słonecznego



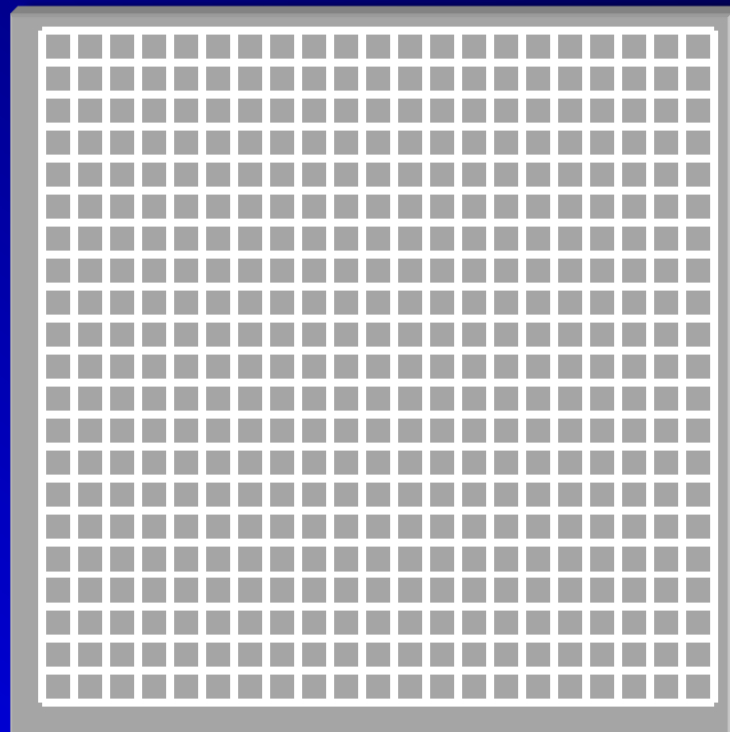
Teksturyzacja



Struktura krzemowego ogniwa słonecznego



Elektroda zbierająca

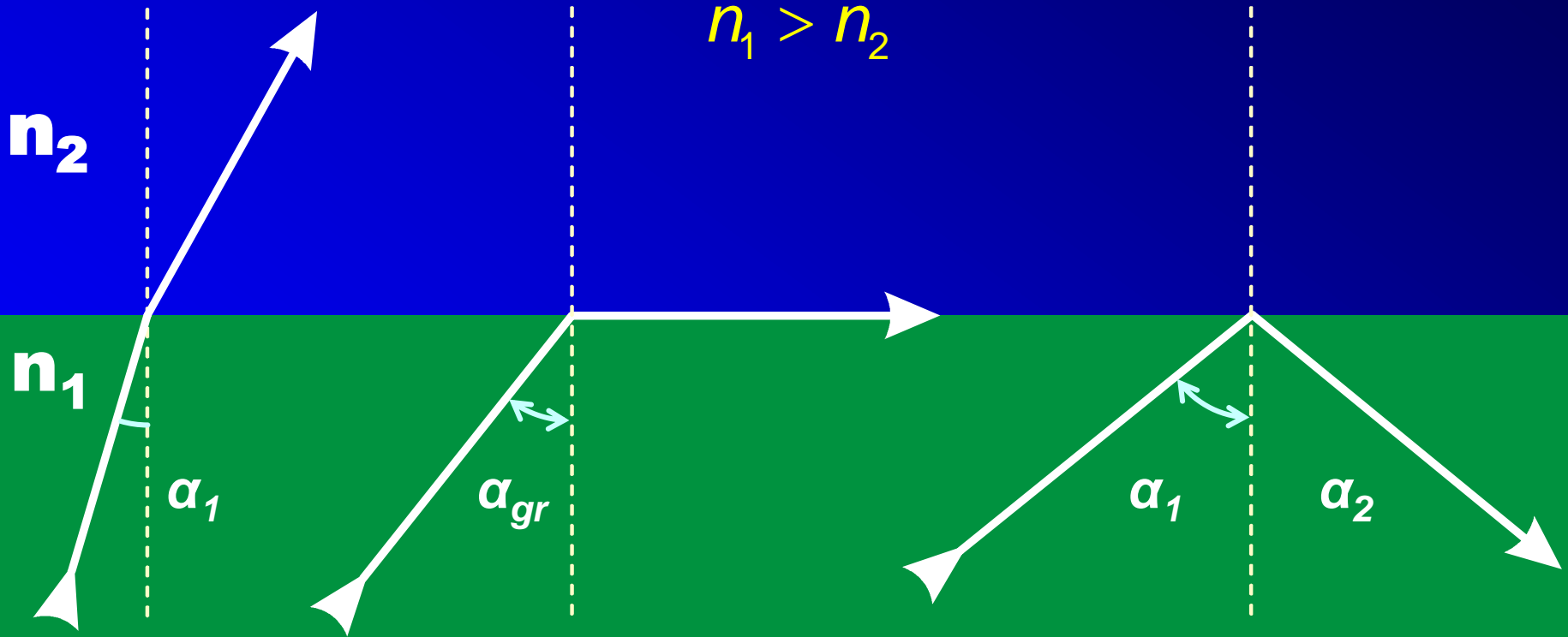


Elektroda tylna

Warstwa odblaskowa Si_3N_4 – całkowite wewnętrzne odbicie

$$\sin \alpha_{gr} = n_2 / n_1$$

$$n_1 > n_2$$



$$n_2 = 1.00$$

$$n_1 = 1.50$$

$$\arcsin\left(\frac{1.00}{1.50}\right) = 41.8^\circ$$

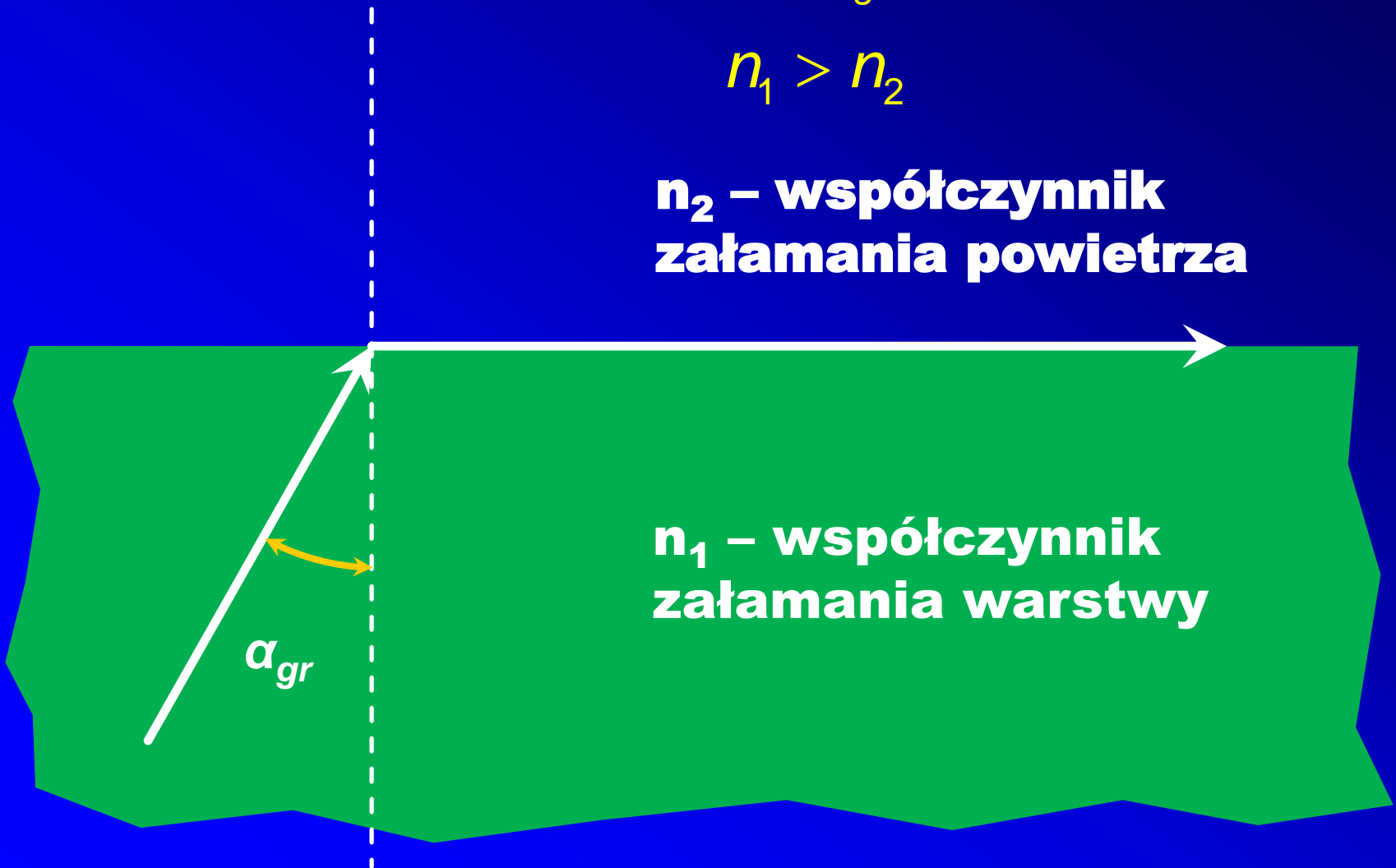
Warstwa Si_3N_4 – całkowite wewnętrzne odbicie

$$\sin \alpha_{gr} = n_2 / n_1$$

$$n_1 > n_2$$

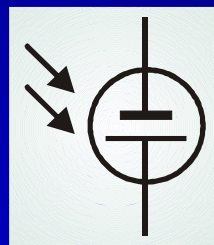
**n_2 – współczynnik
załamania powietrza**

**n_1 – współczynnik
załamania warstwy**



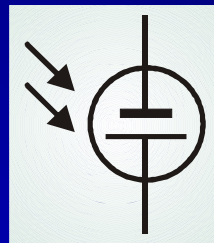
Fotoogniwa

Ogniwa fotowoltaiczne, ogniwa słoneczne lub fotoogniwa – urządzenia, które zamieniają energię promieniowania słonecznego bezpośrednio w energię elektryczną.



- **Krzemowe:**
 - **monokrystaliczne**
 - **polikrystaliczne**
 - **cienkowarstwowe (krzem bezpostaciowy)**
- **Cienkowarstwowe na bazie CdTe oraz CIGS (selenek indowo (galowo) – miedziowy)**
- **Barwnikowe (III generacja, w trakcie badań)**
- **Polimerowe i organiczne (III generacja, w trakcie badań)**

Fotoogniwa - zasada działania



- **Krzemowe:**
 - **monokrystaliczne**
 - **polikrystaliczne**
 - **cienkowarstwowe (krzem bezpostaciowy)**
- **Cienkowarstwowe na bazie CdTe oraz CIGS (selenek indowo (galowo) – miedziowy)**
- **Barwnikowe (III generacja, w trakcie badań)**
- **Polimerowe i organiczne (III generacja, w trakcie badań)**

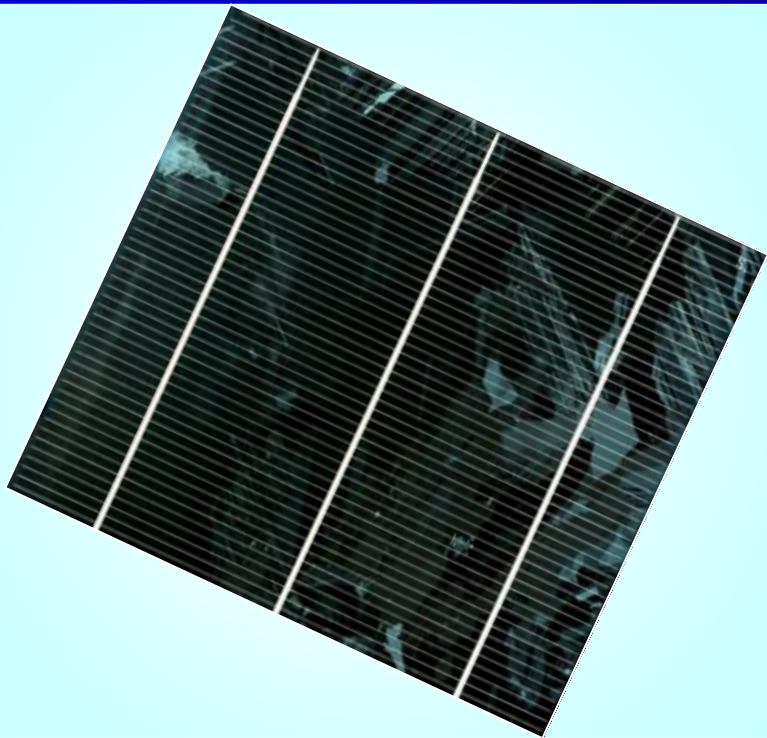
Ogniwa krzemowe I generacji



**monokrystaliczne (sc – Si)
- wykonane z jednego
monolitycznego kryształu
krzemu. Sprawność do
22%**

http://www.eere.energy.gov/solar/pv_systems.html Department of Energy

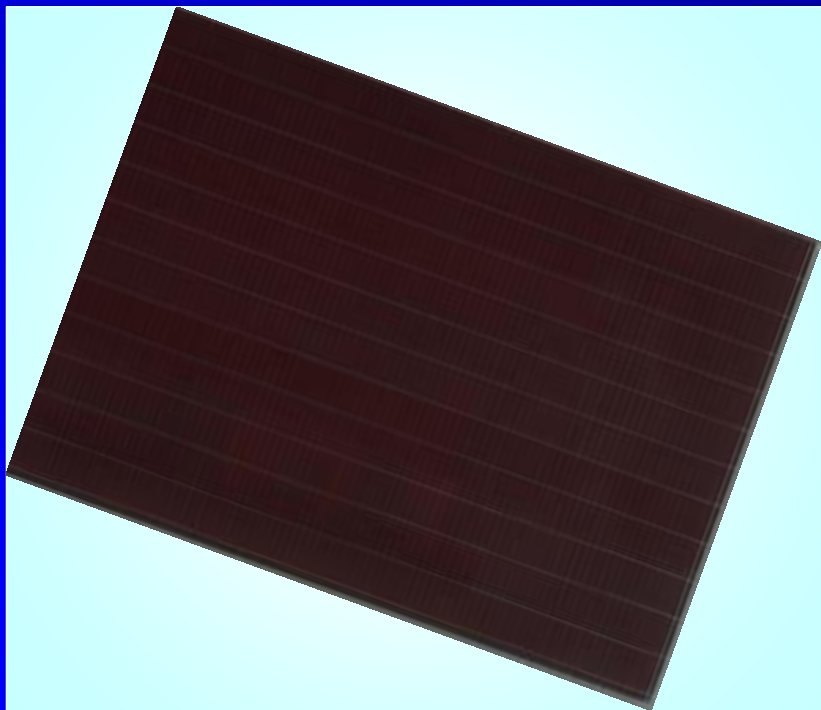
Ogniwa krzemowe I generacji



**polikrystaliczne (mc – Si) -
wykonane z
wykryształizowanego
krzemu. Sprawność do 18%**

[http://mlsystem.pl/pl/00098,ogniwa_
i_generacji](http://mlsystem.pl/pl/00098,ogniwa_i_generacji)

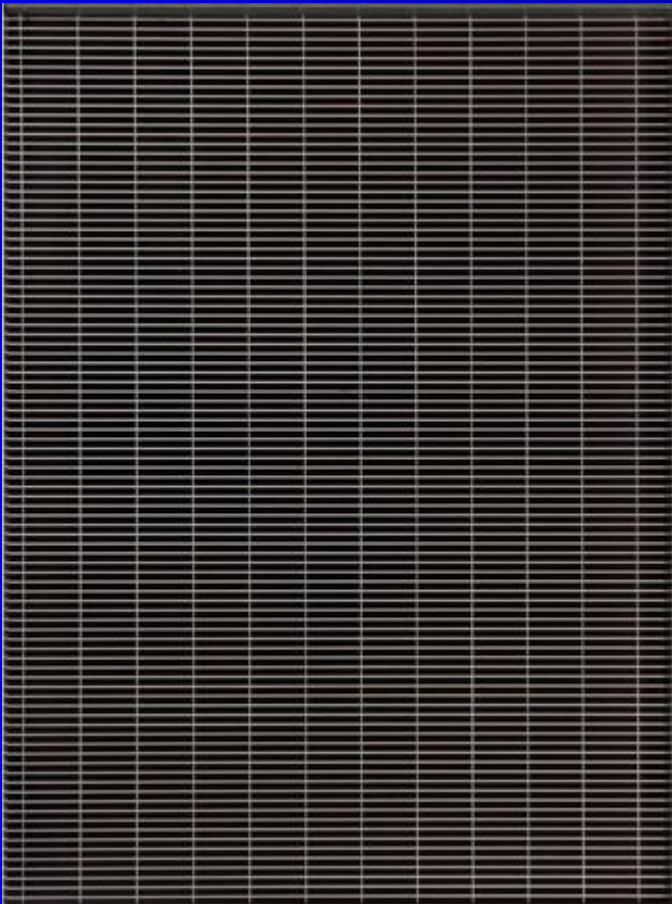
Ogniwa krzemowe II generacji



**Ogniwa cienkowarstwowe -
wykonane z amorficznego,
bezpłciowego i
mikrokryształicznego krzemu.
Sprawność do 12%**

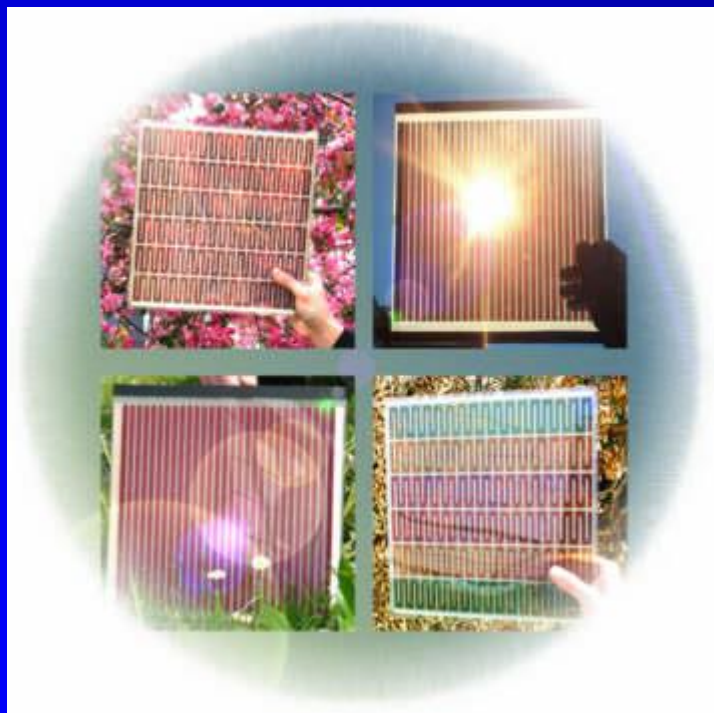
[http://mlsystem.pl/pl/00098,ogniwa_
i_generacji](http://mlsystem.pl/pl/00098,ogniwa_i_generacji)

Ogniwa cienkowarstwowe ze związków półprzewodnikowych:



- **Ogniwa CdTe (tellurek kadmu)** – wykonane z wykorzystaniem półprzewodnikowego tellurku kadmu. Sprawność do 11% .
- **Ogniwa Cl(G)S (selenek indowo (galu) – miedziowy)** – wykonane z mieszaniny pierwiastków takich jak miedź, ind, gal, selen tzw. **ClGS**. Sprawność do 12%.

Ogniwa III generacji – ogniwa barwnikowe



Charakterystyka DSSC:

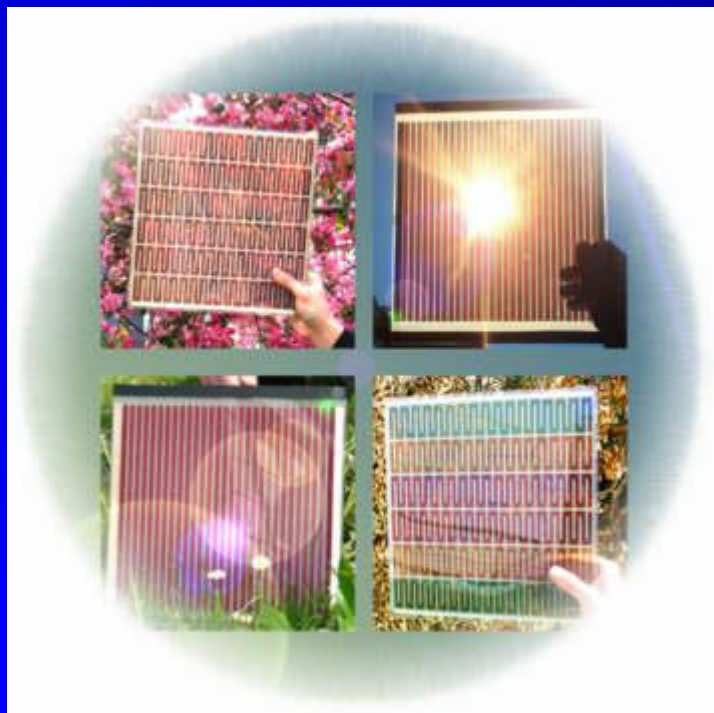
- Wysoka transparentność oraz możliwość doboru barw
- Działanie w obniżonych warunkach promieniowania, w świetle rozproszonym i świetle odbitym
- Działanie dwustronne

Możliwości zastosowań:

- fasady – ściany osłonowe budynków
- szklane powierzchnie budynków
- przedsionki, wiatrołapy
- świetliki dachowe
- ścianki, przegrody wewnętrzne
- mała architektura
- elektronika użytkowa

http://mlsystem.pl/pl/00101,ogniwa_iii_generacji_

Ogniwa III generacji – ogniwa barwnikowe



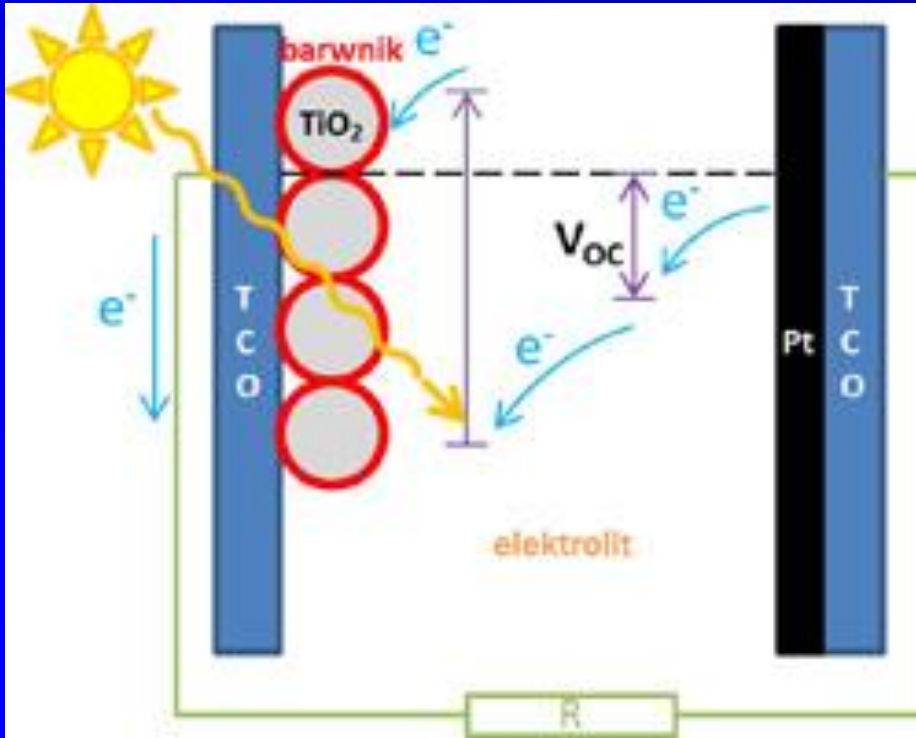
Możliwości zastosowań:

- fasady – ściany osłonowe budynków
- szklane powierzchnie budynków
- przedsionki, wiatrołapy
- świetliki dachowe
- ścianki, przegrody wewnętrzne
- mała architektura
- elektronika użytkowa

http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:DSC_Modules.jpg

http://mlsystem.pl/pl/00101,ogniwa_iii_generacji_

Ogniwa III generacji – ogniwa barwnikowe



Cienkowarstwowe ogniwa fotowoltaiczne wykonane przy użyciu technologii DSC (ogniwo barwnikowe – ang. dye-sensitized solar cel) – sprawność $< 14\%$ - działanie oparte na zasadzie sztucznej fotosyntezy

http://mlsystem.pl/pl/00101,ogniwa_iii_generacji_

Ogniwa Back Contact

- Ogniwa typu Back Contact i Metal Wrap Through – ogniwa krzemowe wykonane w technologii „tylnej elektrody”. Sprawność ponad 22%. Poprzez wyprowadzenie elektrody na tył ogniwa oszczędzają powierzchnię aktywną warstwy wierzchniej co dodatkowo podnosi jego wydajność.
- Są to obecnie najwydajniejsze ogniwa fotowoltaiczne w produkcji komercyjnej na świecie.

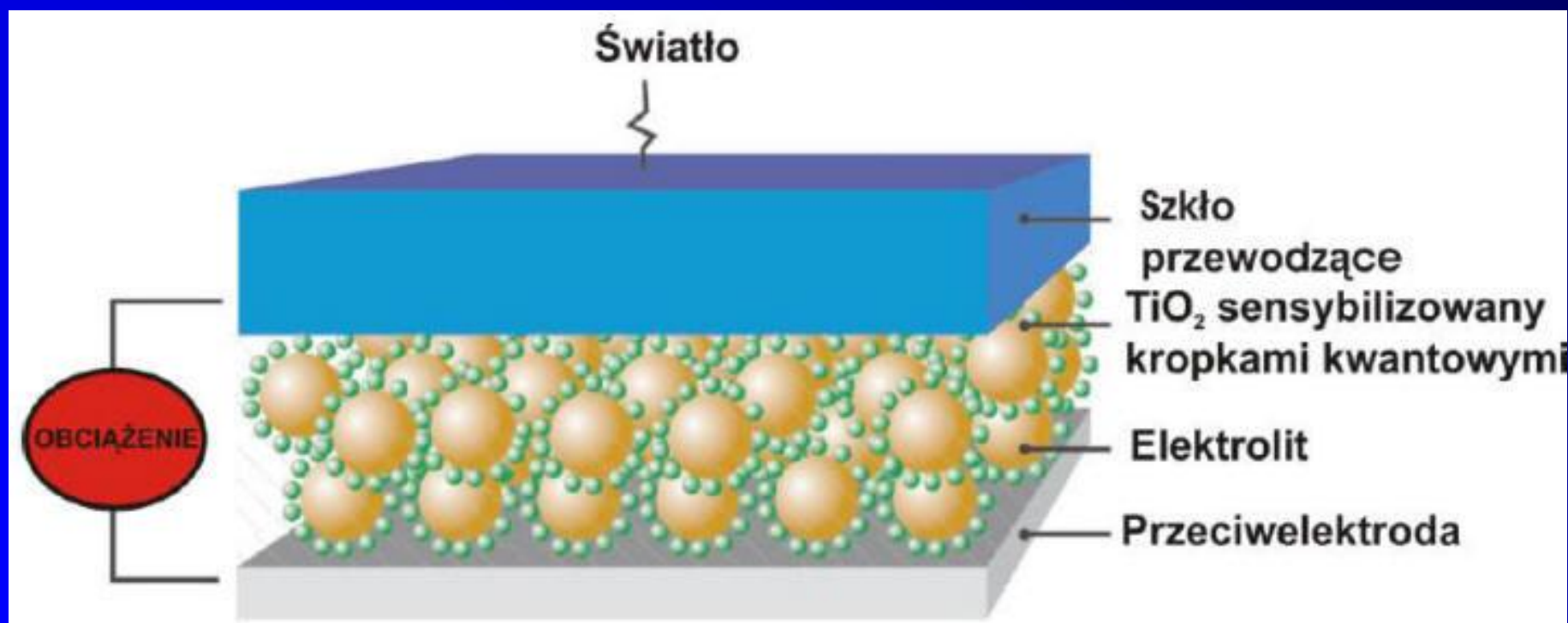


Ogniwa organiczne – firma Konarka



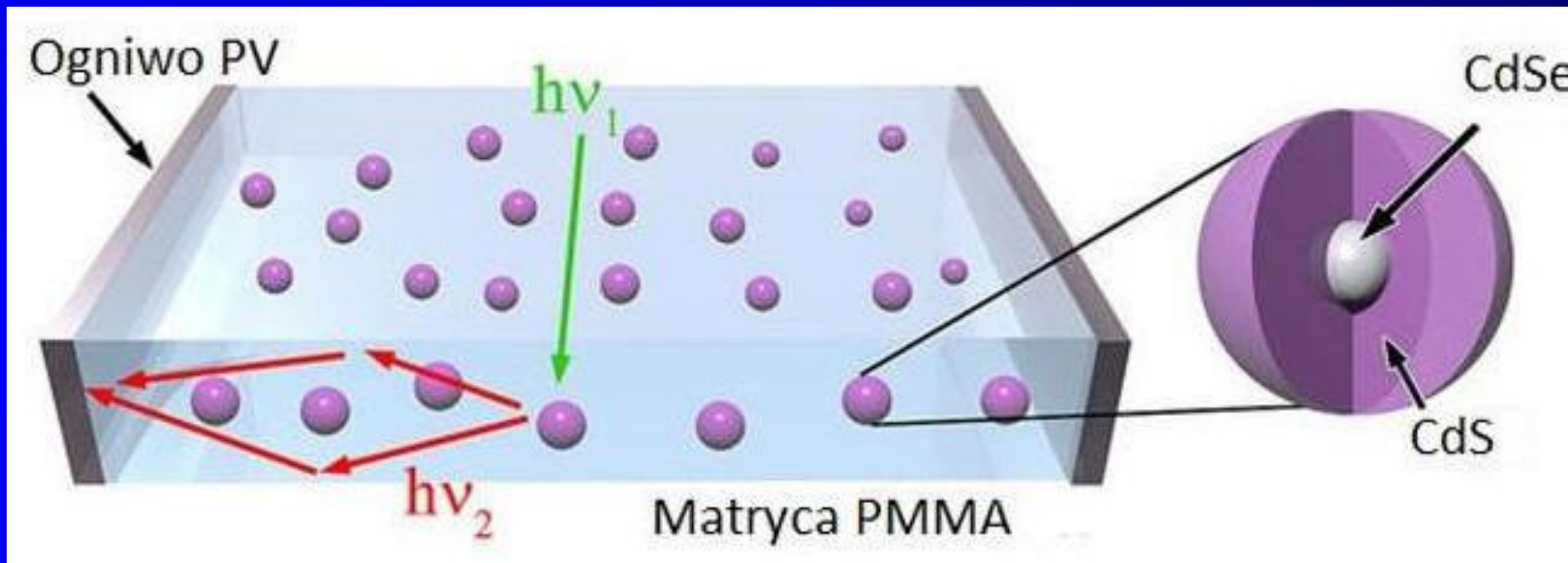
Fotoogniwa Power Plastic produkowane są ze specjalnego polimerowego atramentu metodą nadruku. Ich wydajność energetyczna nie przekracza 6%, trwałość – do 5 lat (krzemowe do 30 lat). Zalety - możliwość wykonania dowolnej struktury ogniwa i umieszczenia go na każdej powierzchni o nietypowym kształcie.

Ogniwa III generacji – ogniwa barwnikowe zbudowane na bazie kropek kwantowych



Ogniwa III generacji – na bazie kropek kwantowych z CdSe/CdS

Kropki kwantowe absorbują promieniowanie i transportują je przez matrycę z tworzywa sztucznego PMMA (polimetakrylan metylu) do ogniw PV na krawędziach



Porównanie efektywności ogniw słonecznych wytwarzanych w różnych technologiach

Best Research-Cell Efficiencies

