

WYKŁAD 8

Fotodioda i ogniwo słoneczne

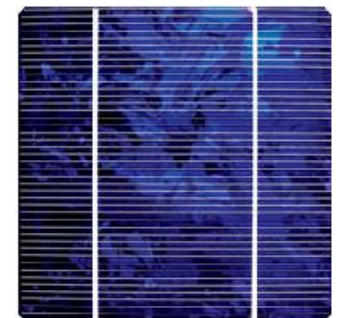
Bateria słoneczna i fotodioda

Fotodioda i ogniwo słoneczne są urządzeniami półprzewodnikowymi, w których zachodzi proces zamiany energii świetlnej fotonów padających na nią w energię elektryczną. Podstawą ich działania jest efekt fotowoltaiczny (tj. fotoelektryczny wewnętrzny). Poniżej przedstawiono na czym polega ten efekt w półprzewodnikowym złączu *p-n*.

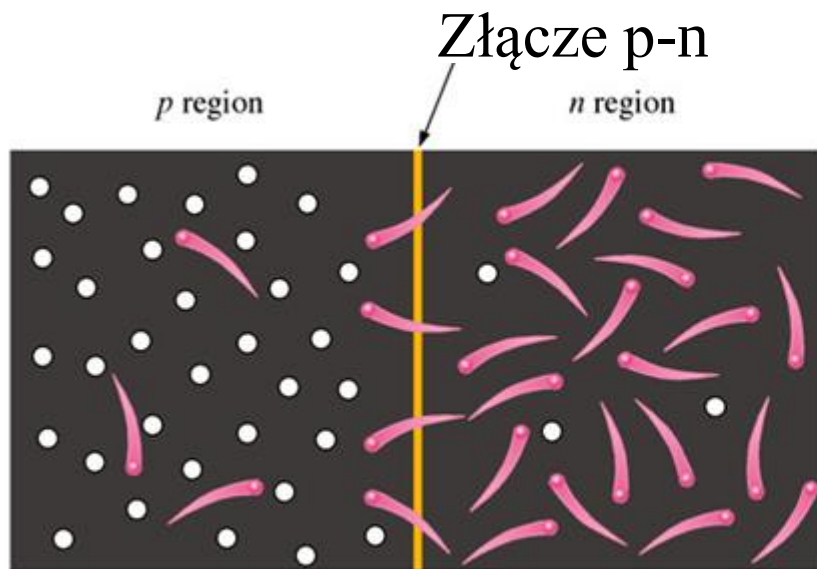
- Światło jest absorbowane dla:

$$h\nu \geq E_g$$

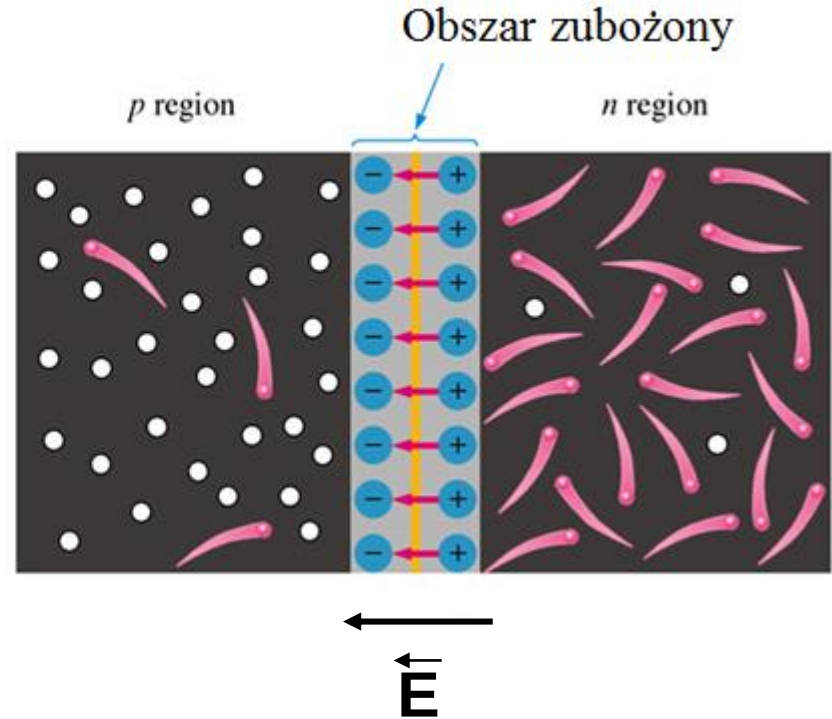
- Tworzą się pary elektron-dziura, które są separowane przez pole w złączu i transportowane przez złącze



Złącze p-n

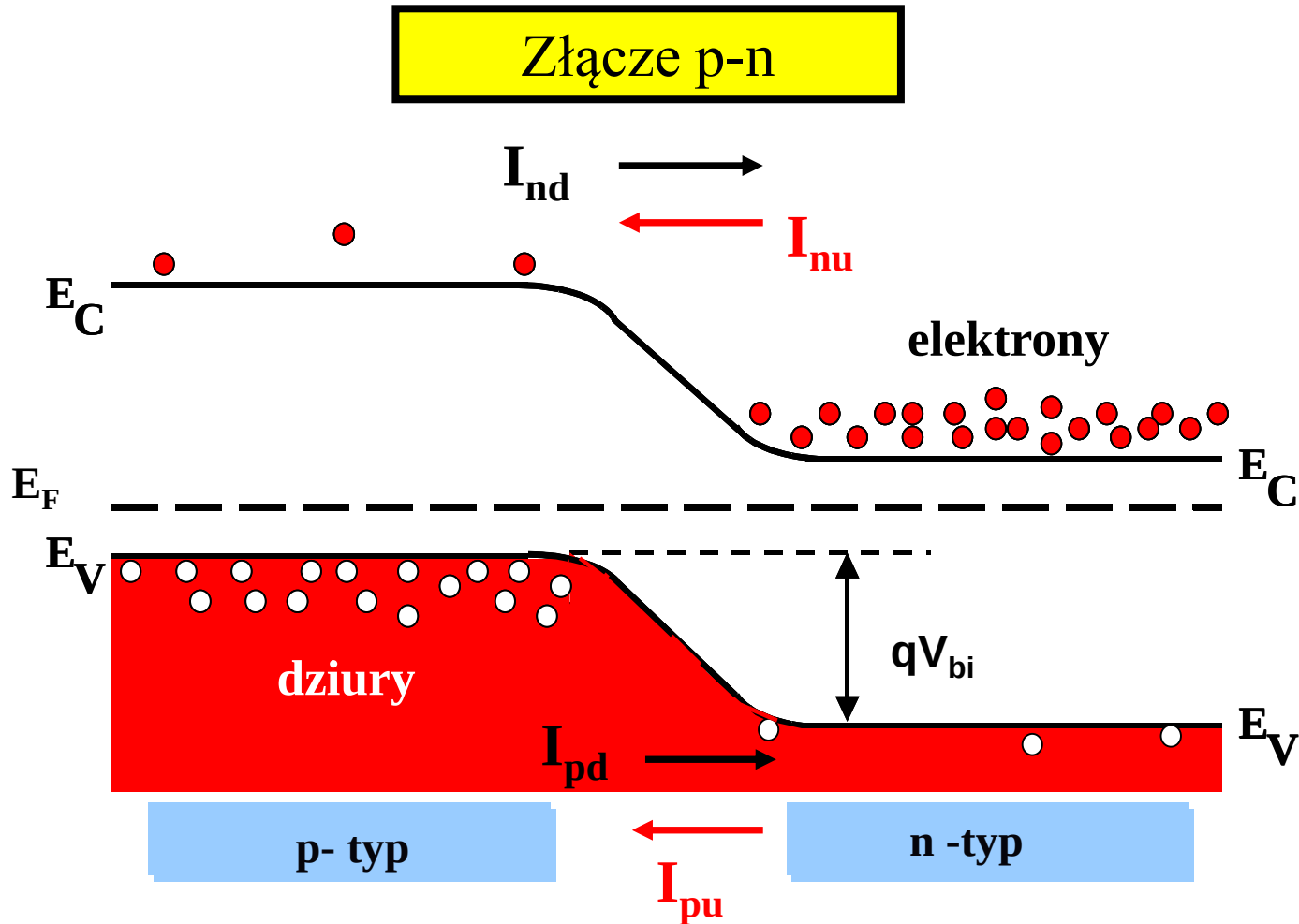


Tworzy się złącze p-n



Złącze po utworzeniu

Pole elektryczne na styku dwóch półprzewodników powoduje, że prąd łatwo płynie w jednym kierunku a przepływ w drugim kierunku jest utrudniony.



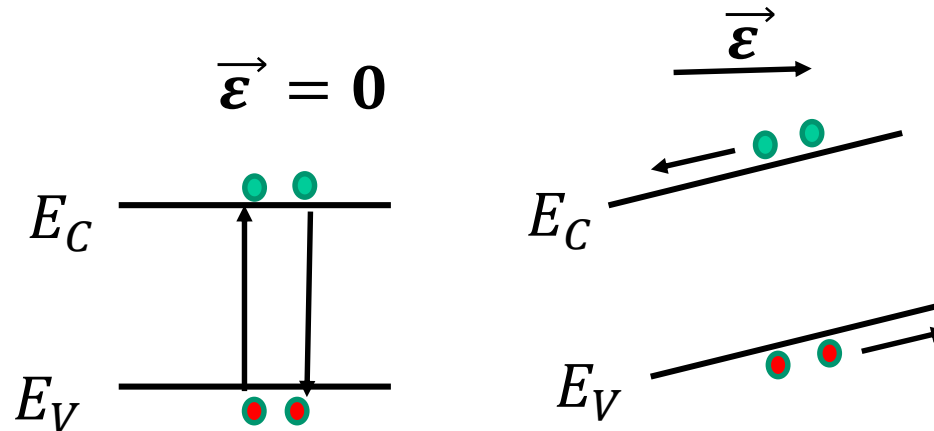
W stanie równowagi termodynamicznej przez złącze zawsze płynie pewien prąd **nośników większościowych**, jest to prąd dyfuzyjny elektronów I_{nd} i dziur I_{pd} , które są w stanie pokonać barierę potencjału na złączu. W stronę przeciwną płynie **prąd nośników mniejszościowych**, tj. prąd unoszenia elektronów I_{nu} i dziur I_{pu} . W stanie równowagi obydwa prądy równoważą się i wypadkowy prąd w złączu jest równy zero.

Warunki wystąpienia efektu fotowoltaicznego

- Pod wpływem promieniowania muszą być generowane w półprzewodniku mniejszościowe nośniki ładunku dodatniego i ujemnego

$$E_f \geq E_g$$

- Nośniki mniejszościowe o różnych znakach muszą być rozdzielone przez wbudowane pole elektryczne w złączu p-n;

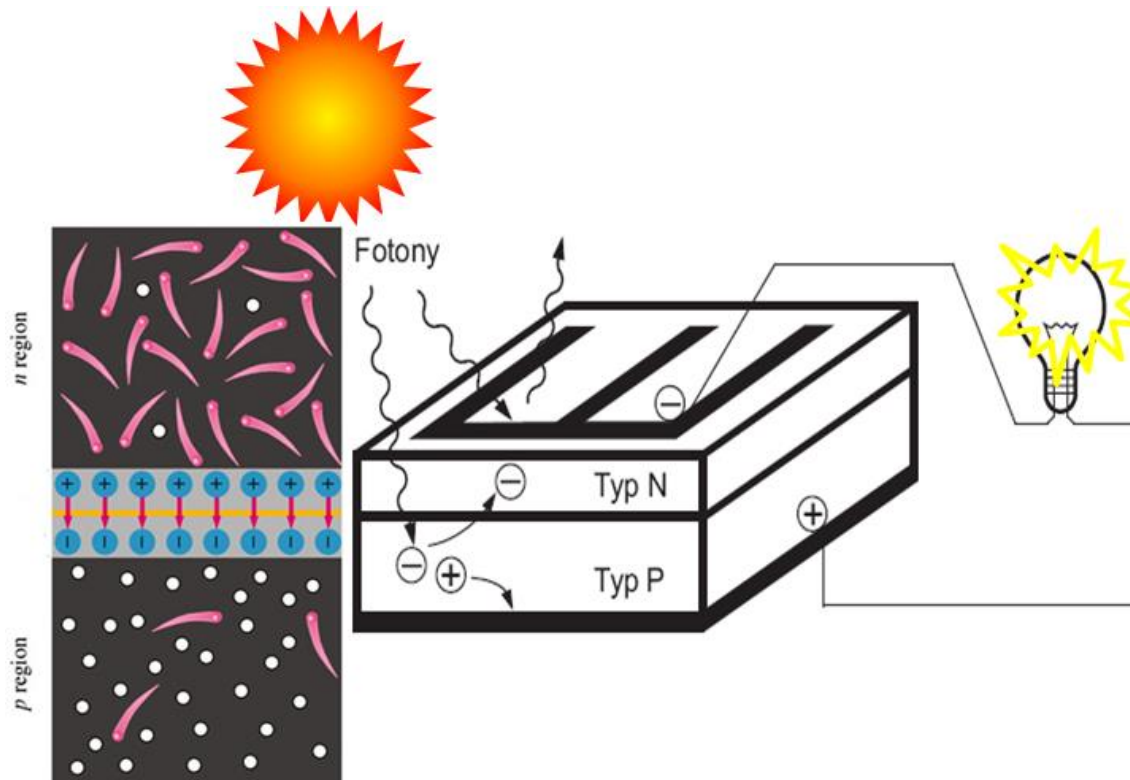


- Generowane swobodne nośniki ładunku muszą zachować swoją ruchliwość dostatecznie długo, tak aby zdążyły być rozdzielone przez pole elektryczne złącza p-n zanim zrekombinują do stanu podstawowego.

Efekt fotowoltaiczny – w ujęciu makroskopowym

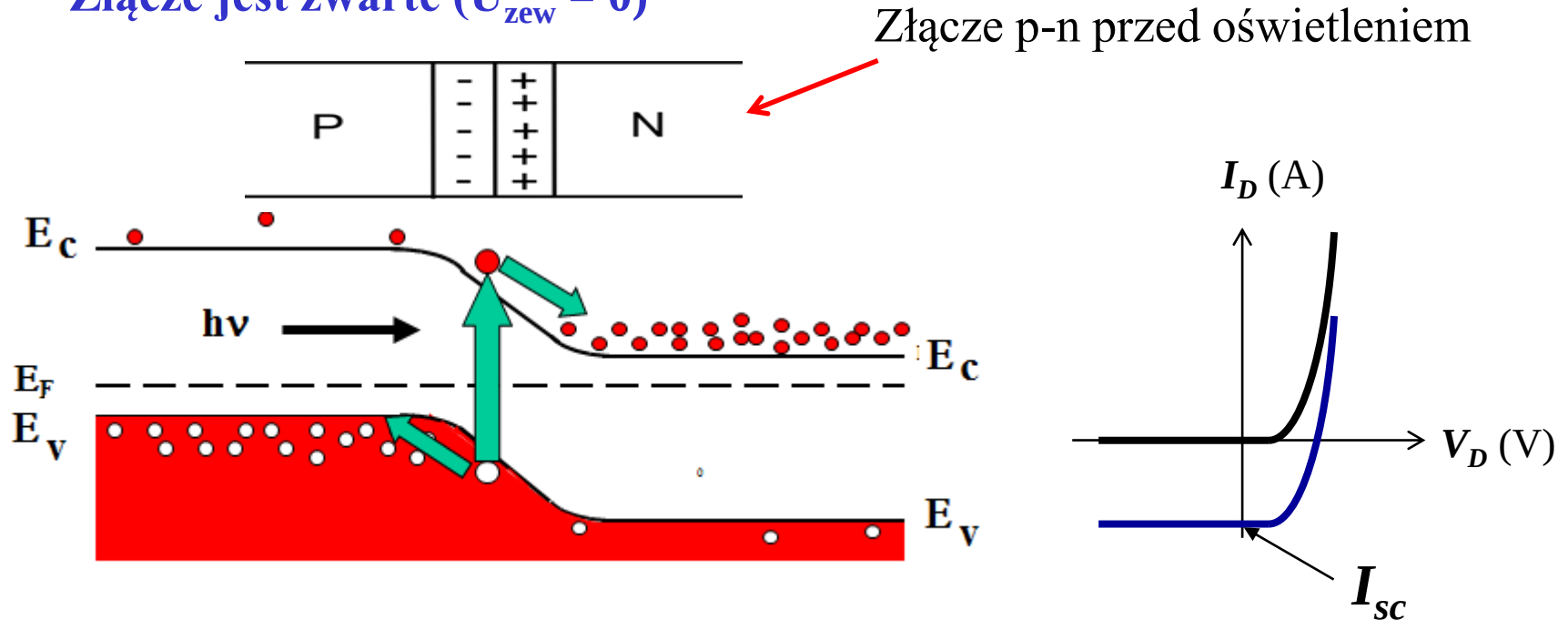
$$h\nu \geq E_g$$

Światło o energii $h\nu \geq E_g$ jest absorbowane, tworzą się pary elektron-dziura, które są separowane przez pole w złączu i transportowane przez złącze – płynie wówczas prąd zwarcia, I_{sc} a na krańcach złącza wytwarza się różnica potencjałów.



Efekt fotowoltaiczny – w ujęciu mikroskopowym

- Złącze jest zwarte ($U_{zew} = 0$)



Bariera potencjału na złączu nie zmienia się. Gęstości prądów wstrzykiwanych nośników mniejszościowych są takie same jak w złączu nieoświetlonym. Prądy te równoważą prądy unoszenia ale pozostają niezrównoważone prądy fotogeneracji. Stanowią je: strumień elektronów z obszaru p do n i dziur z n do p.

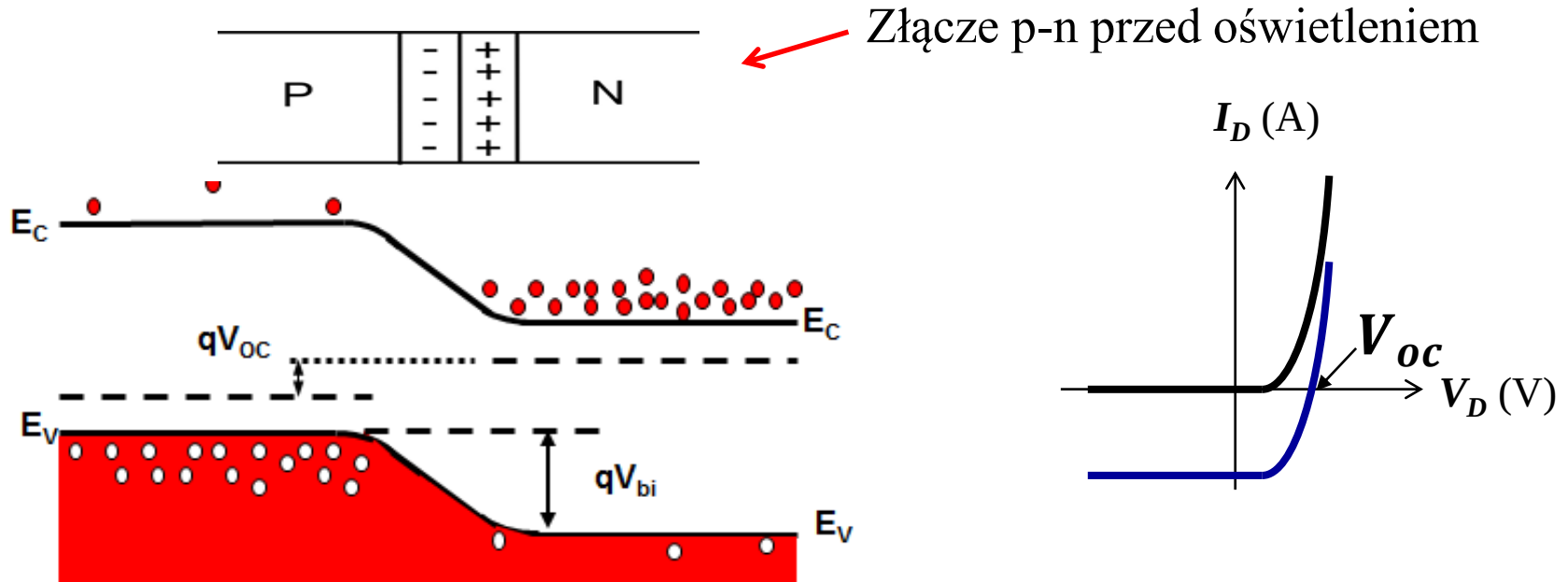
$$I_{sc} = qN_{ph}(E_g) = qP/h\nu \sim P$$

N_{ph} - liczba fotonów o energii równej energii przerwy wzbronionej (E_G).

Prąd zwarcia (I_{sc}) jest proporcjonalny do strumienia padającego promieniowania.

Efekt fotowoltaiczny – w ujęciu mikroskopowym

- Złącze jest rozwarte ($I_{zew} = 0$)



- Wygenerowane światłem elektrony płyną do obszaru n a dziury do obszaru p. W wyniku tego obszar typu n ładuje się ujemnie a typu p dodatnio. Taka polaryzacja obszarów złącza jest równoważna polaryzacji w kierunku przewodzenia. Wartość napięcia, które wynika z różnicy potencjałów na krańcach złącza nazywa się fotonapięciem rozwarcia V_{oc} .
- Napięcie rozwarcia powoduje pojawienie się tzw. prądu ciemnego (I_d), który jest prądem wstrzykiwania, równoważącym prąd fotogeneracji (tj. prąd zwarcia).

$$I_{sc} = I_d$$

Napięcie rozwarcia w złączu p-n

Prąd ciemny płynący przez złącze p-n spolaryzowane napięciem V_{oc} , wyraża się równaniem Shockley'a:

$$I_d = I_0 [\exp(\frac{qV_{oc}}{kT}) - 1]$$

Ten prąd równoważy w rozwartym oświetlonym złączu p-n maksymalny prąd fotogeneracji, czyli I_{sc} :

$$I_{sc} = I_d = I_0 [\exp(\frac{qV_{oc}}{kT}) - 1]$$

Po przekształceniu:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1) \approx \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{sc}}{I_0}$$

Ponieważ $I_{sc} \sim P$, to:

$$V_{oc} \sim \ln P$$

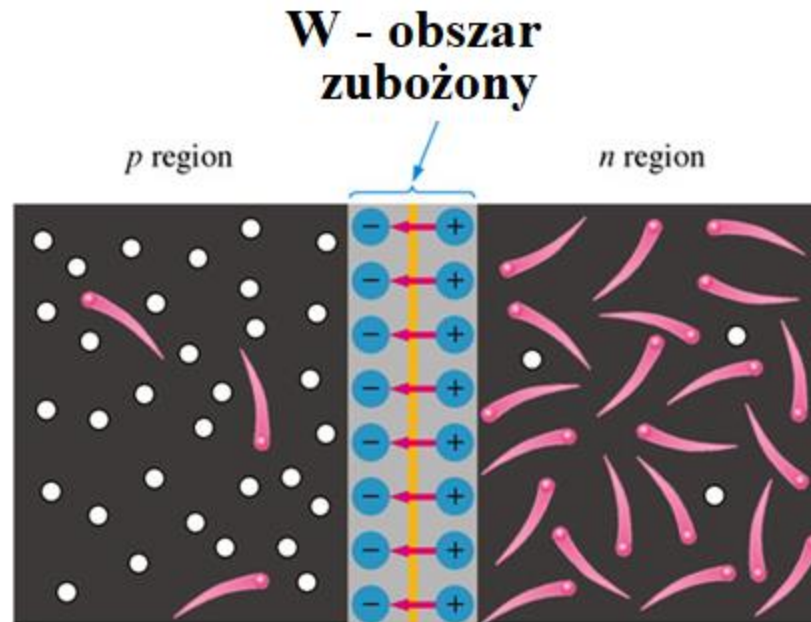
Fotoprąd zwarcia w złączu p-n

$$I_{sc} = qg(L_n + L_p + W)A$$

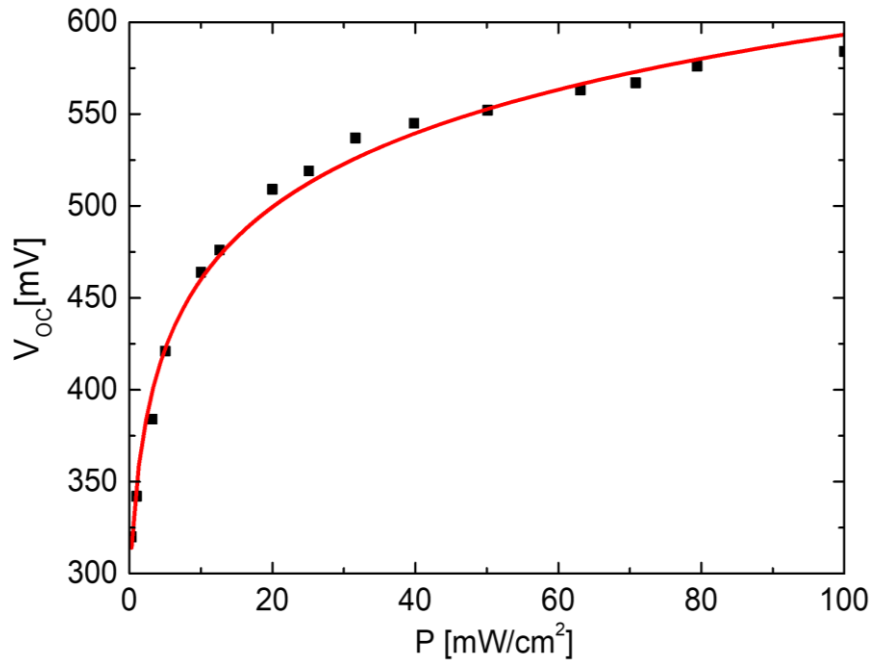
g - szybkość generacji optycznej

L_n, L_p długość drogi dyfuzji nośników mniejszościowych (elektronów po stronie p i dziur po stronie n);

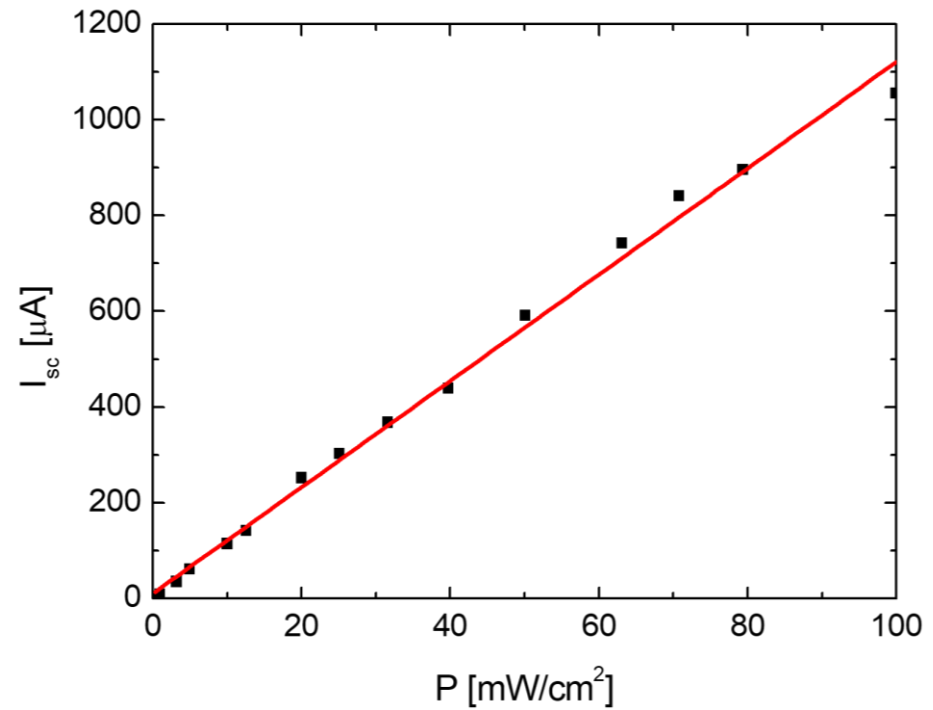
W – szerokość obszaru zubożonego w złączu p-n.



Zależność V_{oc} i I_{sc} od mocy światła



$$V_{oc} = \frac{k_B T}{q} \ln(P)$$



$$I_{sc} = q N_{ph}(E_g)$$

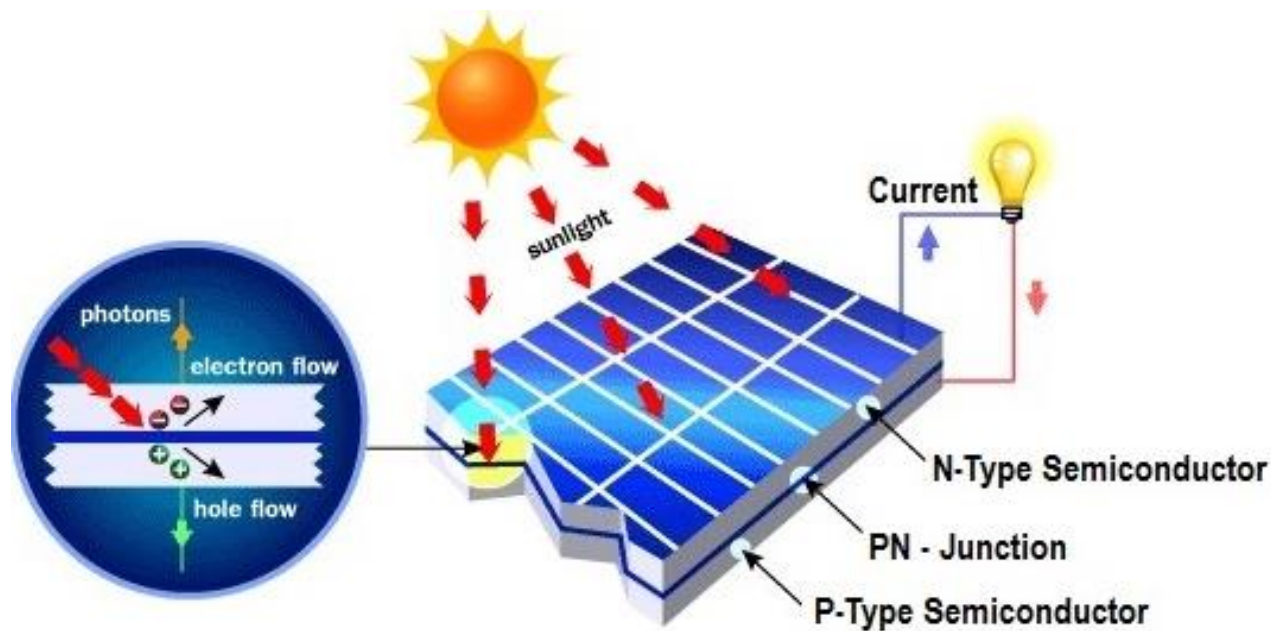
N_{ph} - liczba fotonów o energii równej energii przerwy wzbronionej (E_G).

Ogniwo słoneczne – zasada działania

- Przyrząd, który zamienia energię słoneczną w energię elektryczną:

$$P = I_{SC} \times V_{OC} = I^2 \times R = U^2/R$$

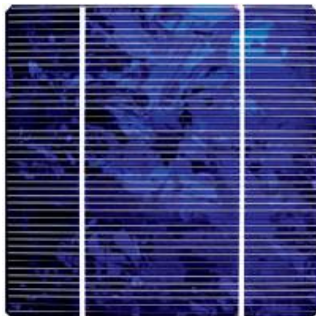
- Można porównywać go do baterii, bo dostarcza mocy prądu stałego.
- Różni się od baterii tym, że napięcie, które wytwarza zależy od oporności obciążenia R .



Baterie słoneczne

I Generacji - Krzemowe (Si)

- Monokrystaliczny Si
- Poli-(multi) krystaliczny Si



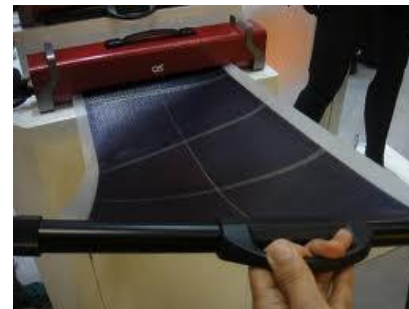
II Generacji - Cienkowarstwowe

- Tellurek kadmu (CdTe)
- CIGS (Cu-In-Ga-Se)
- Amorficzny Si



III Generacji

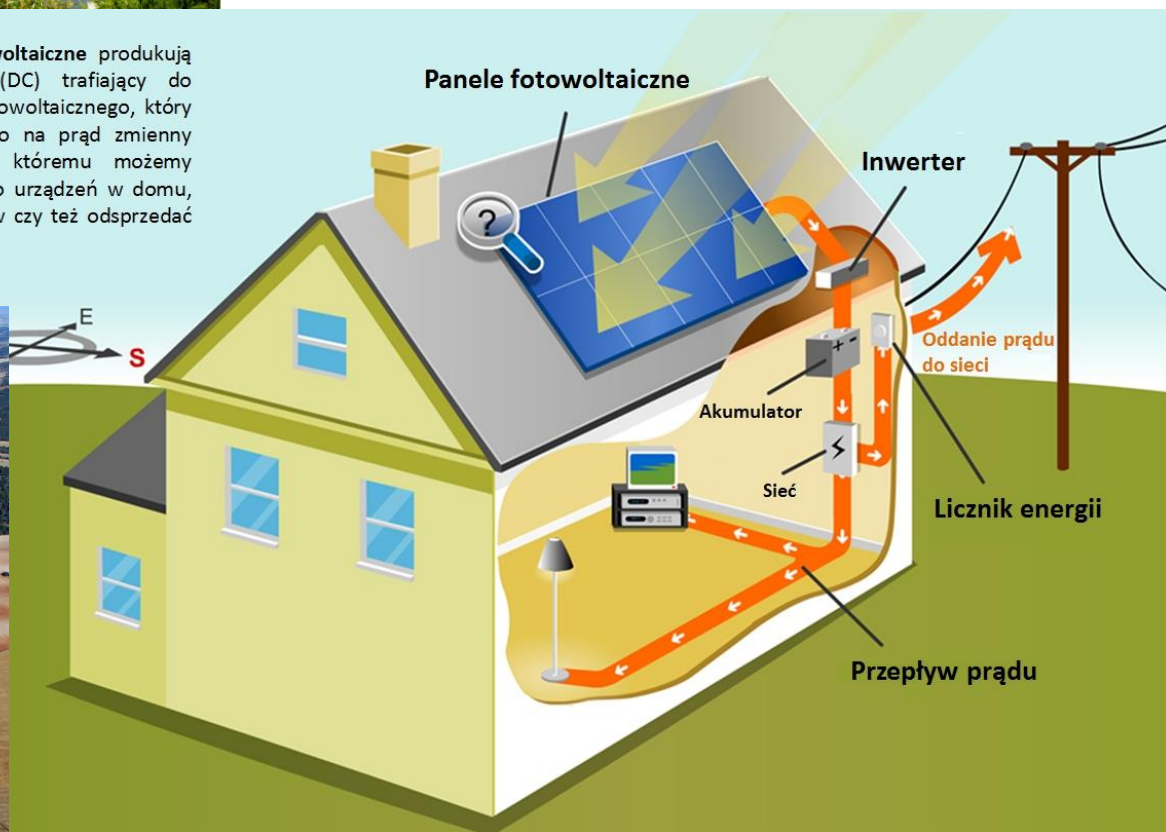
- Ogniwa wielozłączowe
- Ogniwa polimerowe i organiczne
- Na nanorurkach węglowych
- Z kropkami kwantowymi
- Barwnikowe



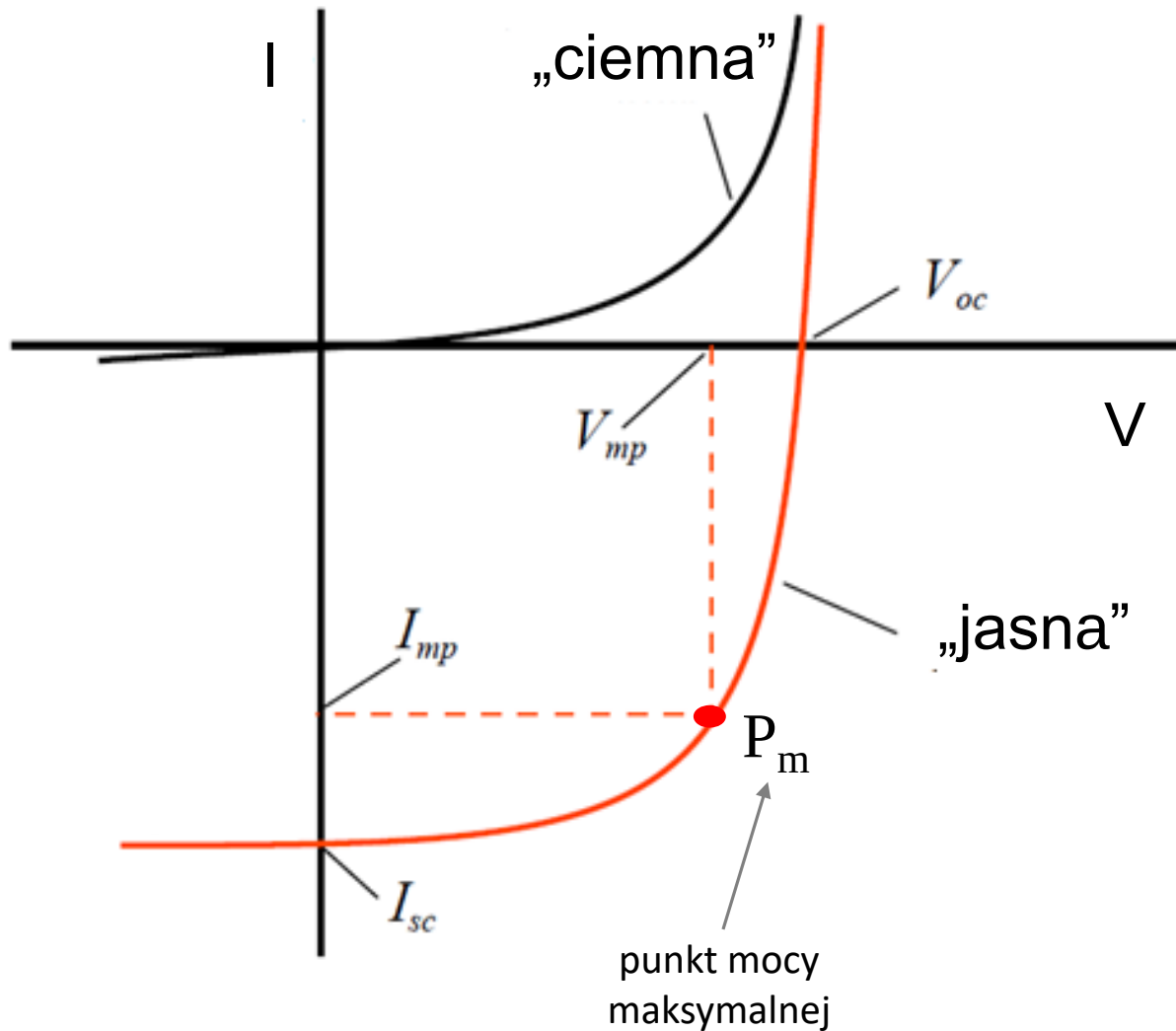
Baterie słoneczne – zastosowania



Panele fotowoltaiczne produkują prąd stały (DC) trafiający do inwertera fotowoltaicznego, który przemienia go na prąd zmienny (AC), dzięki któremu możemy używać go do urządzeń w domu, akumulatorów czy też odsprzedać go do sieci.



Charakterystyka I-V ogniwa słonecznego



**Współczynnik
wypełnienia:**

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

Sprawność:

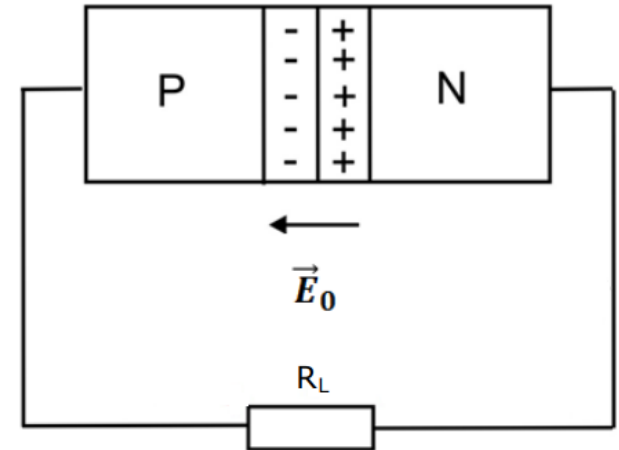
$$\eta = FF \frac{I_{sc} V_{oc}}{P}$$

P – moc wejściowa
(z oświetlenia ogniwa)

Fotodioda vs bateria słoneczna

BATERIA SŁONECZNA

- Urządzenie, które zamienia energię słoneczną w energię elektryczną.
- Jest podobne do baterii, bo dostarcza mocy prądu stałego.
- Różni się od zwykłej baterii, bo napięcie które wytwarza zależy od oporności obciążenia.



FOTODIODA

- Urządzenie, które jest stosowane jako czujnik promieniowania elektromagnetycznego:
- Pobiera moc z promieniowania elektromagnetycznego

