

Wykład VII b

Fotodioda i fotoogniwo



Bateria słoneczna i fotodioda

Ogniwo słoneczne i fotodioda działają w oparciu o efekt fotowoltaiczny:

- 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

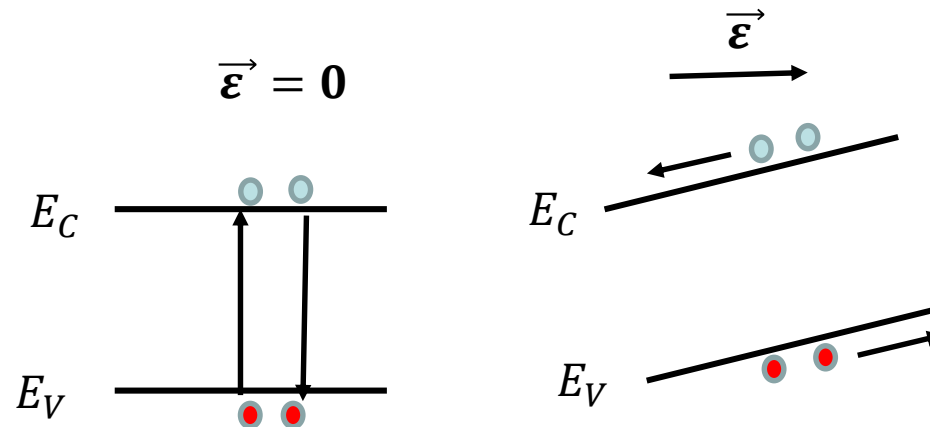


Warunki wystąpienia efektu fotowoltaicznego

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

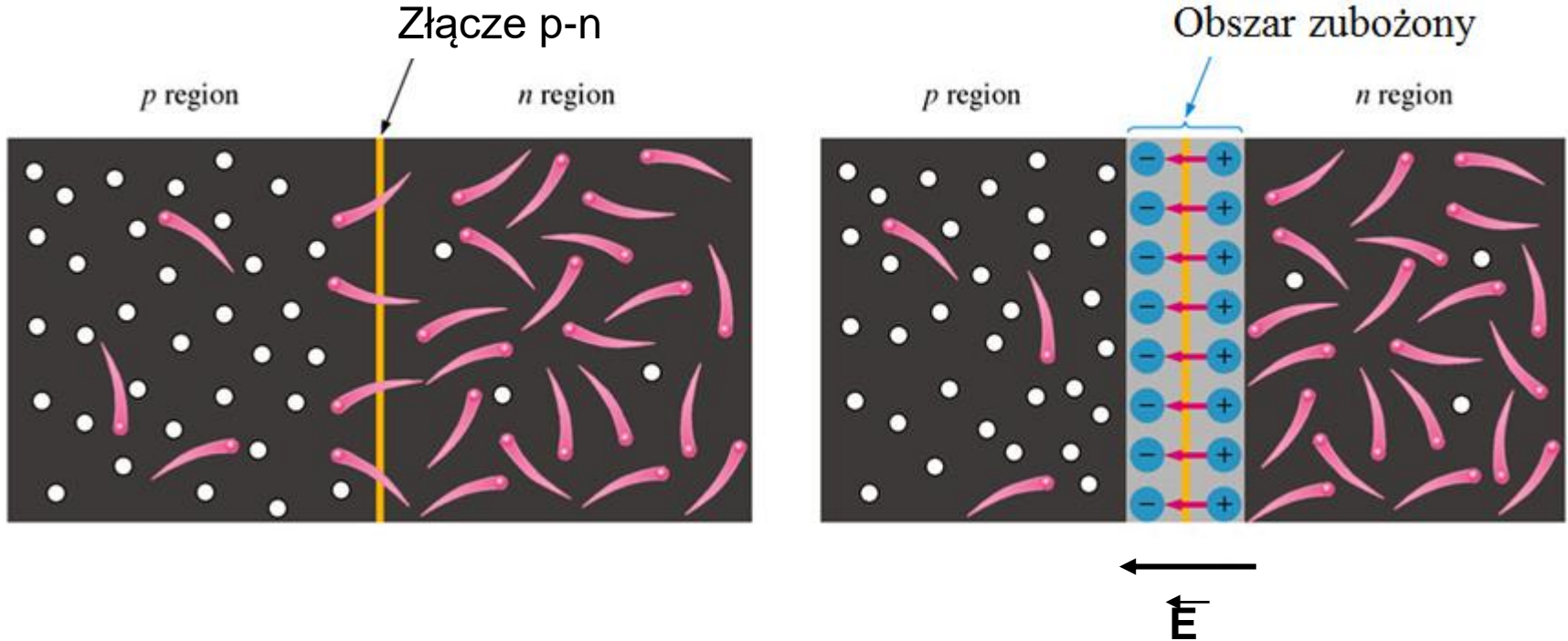
$$E_f \geq E_g$$

- Nośniki nadmiarowe o różnych znakach muszą być rozdzielone przez pewną elektrostatyczną niejednorodność;



- Generowany swobodny nośnik musi zachować swoją ruchliwość dostatecznie długo, tak aby zdążył dotrzeć do niejednorodności powodującej rozdzielenie ładunku.

Złącze p-n



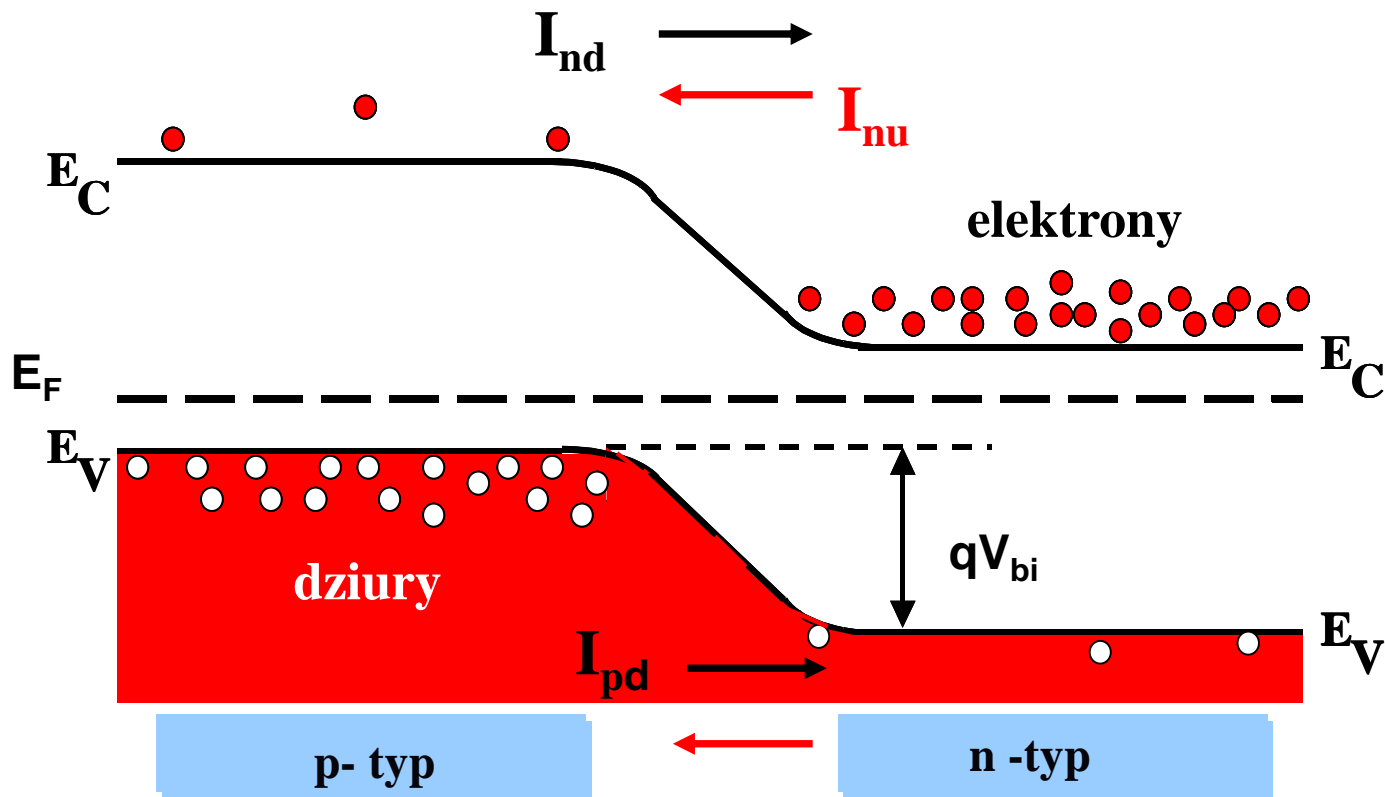
Tworzy się złącze p-n

Złącze po utworzeniu

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



Złącze p-n



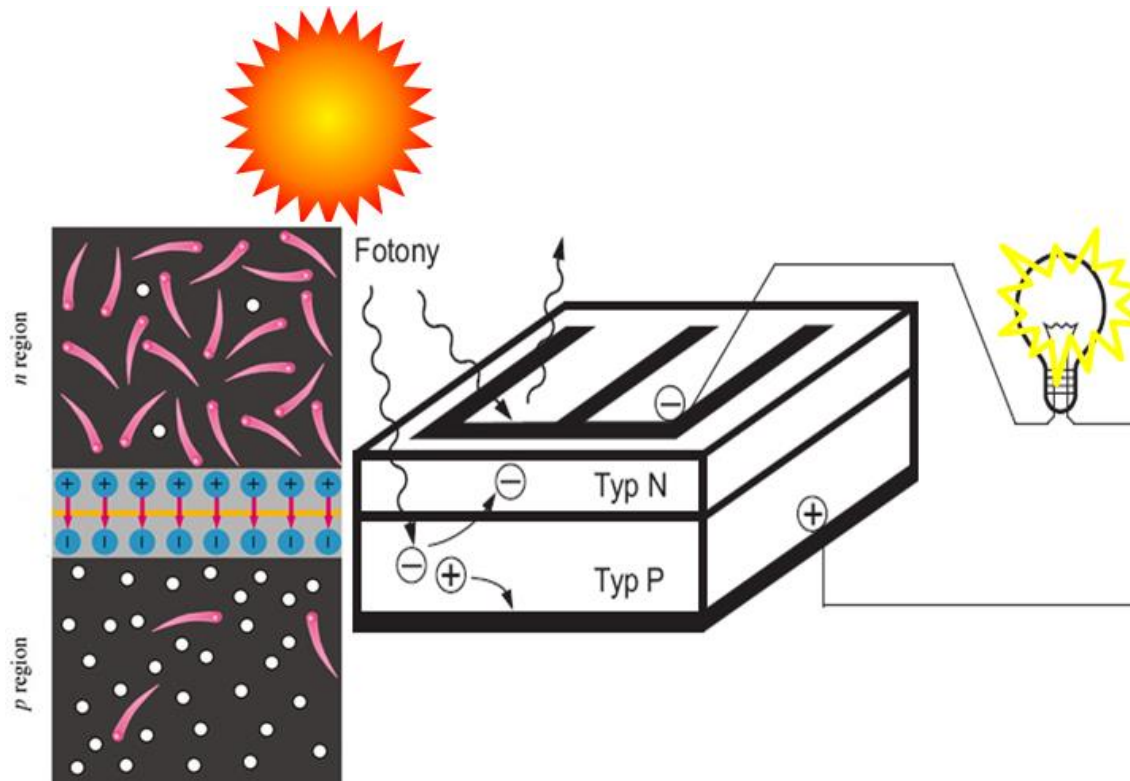
W stanie równowagi termodynamicznej przez złącze zawsze płynie pewien prąd nośników większościowych, (prąd dyfuzyjny) elektronów I_{nd} i dziur I_{pd} które są w stanie pokonać barierę potencjału na złączu. W stronę przeciwną płynie prąd generacji termicznej nośników mniejszościowych: (unoszenia) elektronów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



Efekt fotowoltaiczny

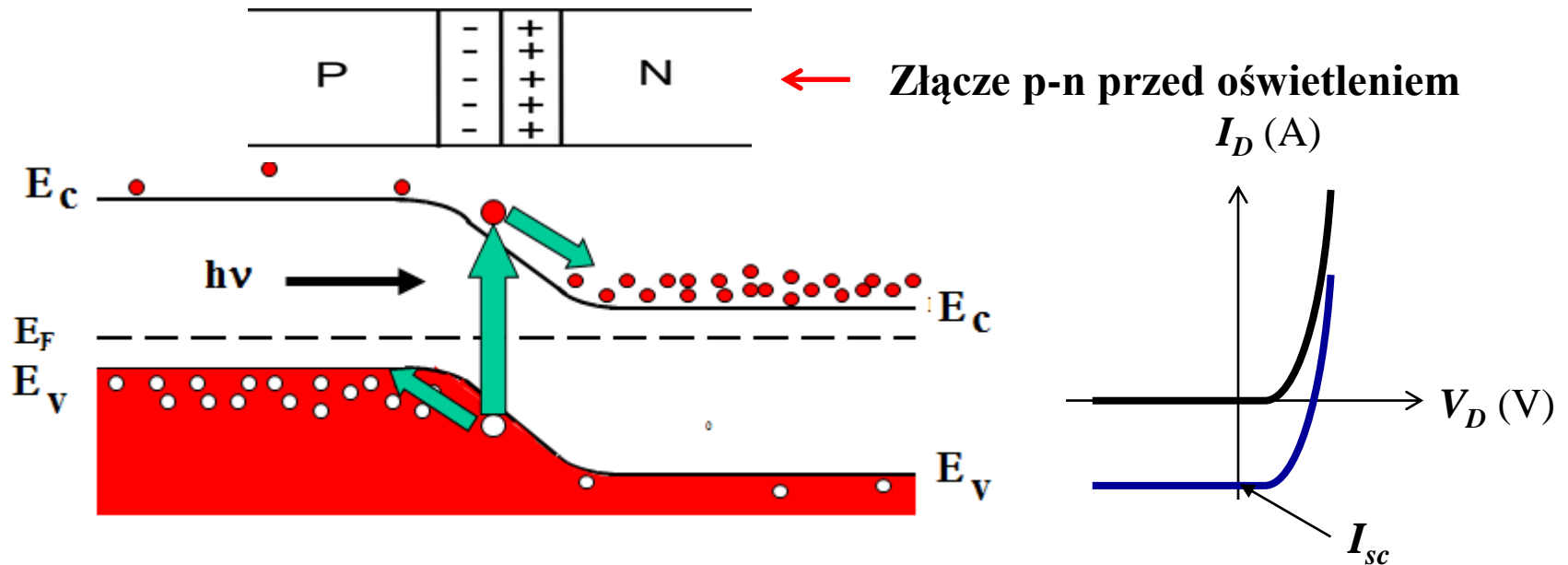
$$h\nu \geq E_g$$

Światło jest absorbowane, tworzą się pary elektron-dziura, które są separowane przez pole w złączu i transportowane przez złącze – gdy złącze jest zwarte - płynie prąd zwarcia, I_{sc} .



Efekt fotowoltaiczny

- Złącze jest zwarte



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

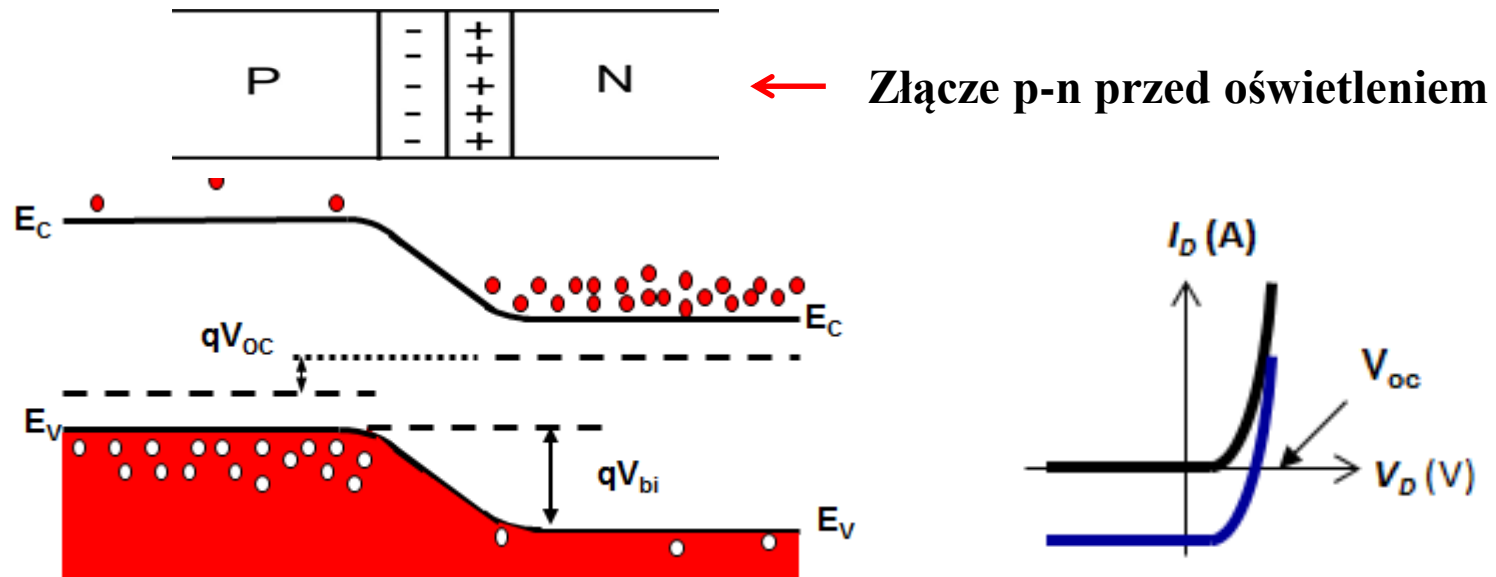
$$I_{sc} = qN_{ph}(E_g) = qP/h\nu \sim P$$

Prąd zwarcia jest proporcjonalny do strumienia padającego promieniowania.



Efekt fotowoltaiczny

- Złącze jest rozwarte



- 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 tego napięcia polaryzacji nazywa się fotonapięciem rozwarcia V_{oc} .
- Obniżenie bariery potencjału w złączu p-n powoduje, że rośnie prąd ciemny. W stanie równowagi, ten prąd jest równoważony prądami fotogeneracji.

$$I_{sc} - I_d = 0$$



Efekt fotowoltaiczny

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

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

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

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

Po przekształceniu:

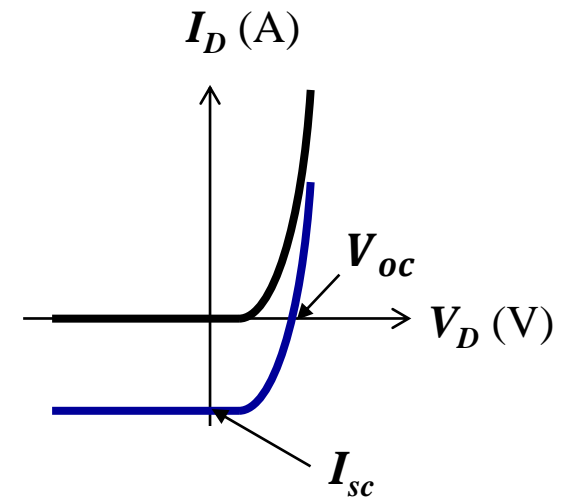
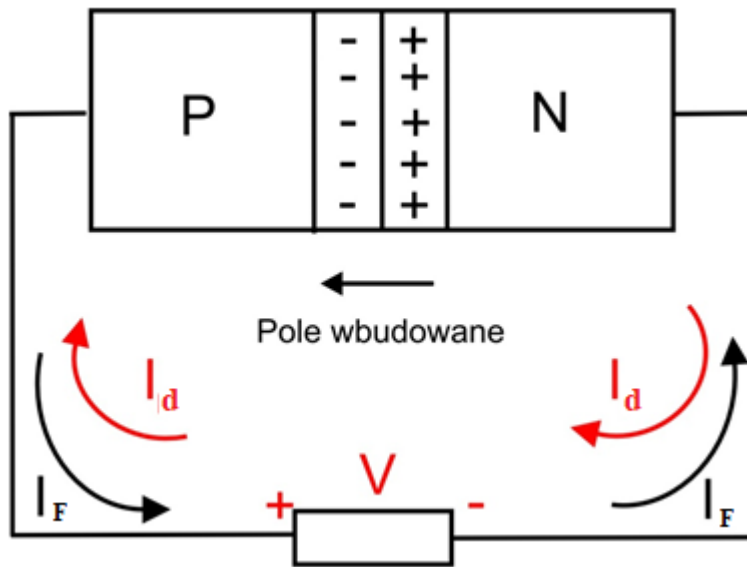
$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \approx \frac{kT}{q} \ln \frac{I_{sc}}{I_0}$$

Ponieważ $I_{sc} \sim P$, to

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



Charakterystyka I-V



- Światło generuje parę elektron-dziura.
- Pole elektryczne porusza nośniki: elektrony w stronę n a dziury w stronę p
Zatem przez opornik płynie fotoprąd - prąd wsteczny I_F
- Ten prąd powoduje pojawienie się spadku napięcia V na oporze R .
- Napięcie V polaryzuje złącze w kierunku przewodzenia: pojawia się więc prąd I_d

Całkowity prąd:

$$I = I_d - I_F$$



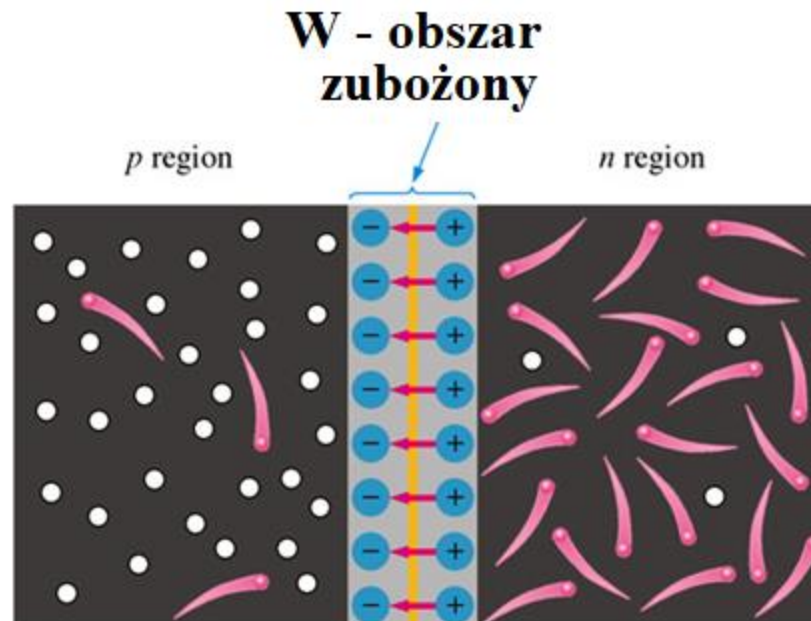
Fotoprąd w złączu p-n

$$I_F = qg(L_n + L_p + W)A$$

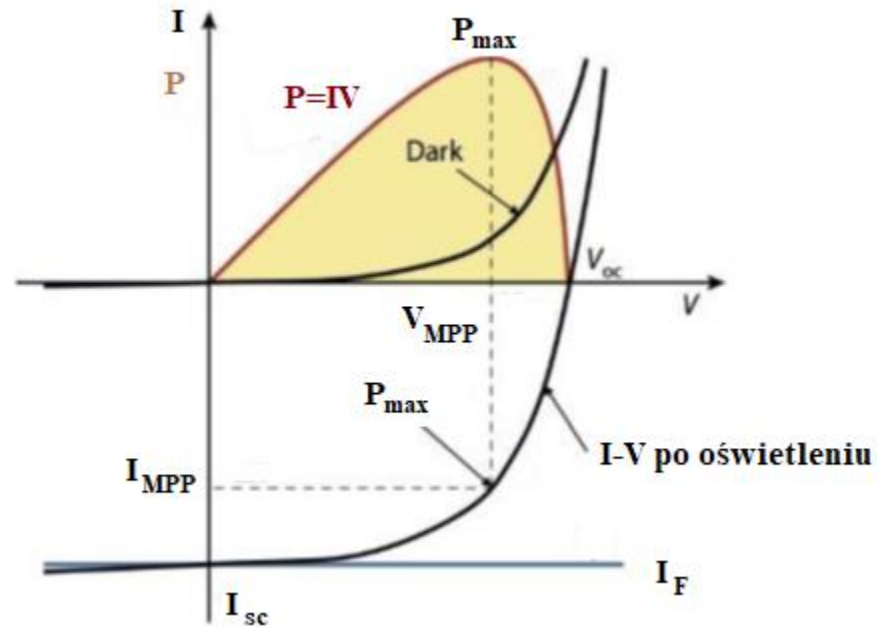
g - szybkość generacji optycznej

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.



Charakterystyka I-V



$$I = I_d - I_F = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - qg(L_n + L_p + W)A$$



Fotodioda vs bateria słoneczna

FOTODIODA

- Urządzenie, które jest stosowane jako czujnik promieniowania elektromagnetycznego:

$$S_{\lambda} = \frac{I_F}{P_{\lambda}} \quad \left[\frac{A}{W} \right]$$

- Zwykle pracuje przy polaryzacji zaporowej

BATERIA SŁONECZNA

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

