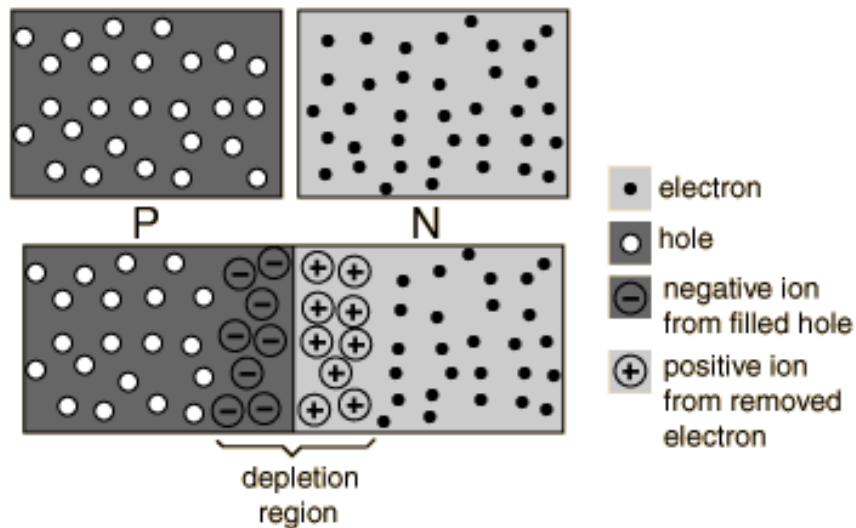


Złącza p-n, zastosowania

- Własności złącza p-n
- Dioda LED
- Fotodioda
- Dioda laserowa
- Tranzystor MOSFET

Złącze p-n, polaryzacja złącza, prąd dyfuzyjny (rekombinacyjny)

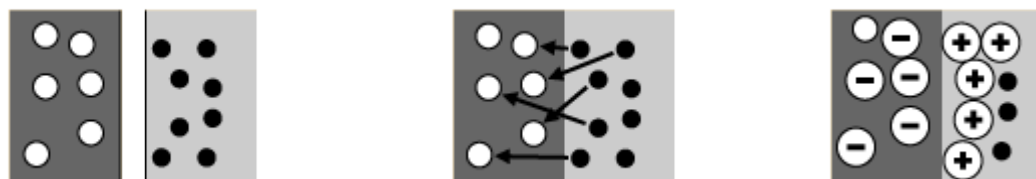


- Elektrony z obszaru „n” na złączu dyfundują do obszaru „p” i łączą się z atomami domieszki tworząc jon ujemny - rekombinacja
- Dziury z obszaru „p” na złączu dyfundują do obszaru „n” i łączą się z atomami domieszki tworząc jon dodatni - rekombinacja

• Przepływ **nośników większościowych** nazywany jest **prądem dyfuzyjnym**

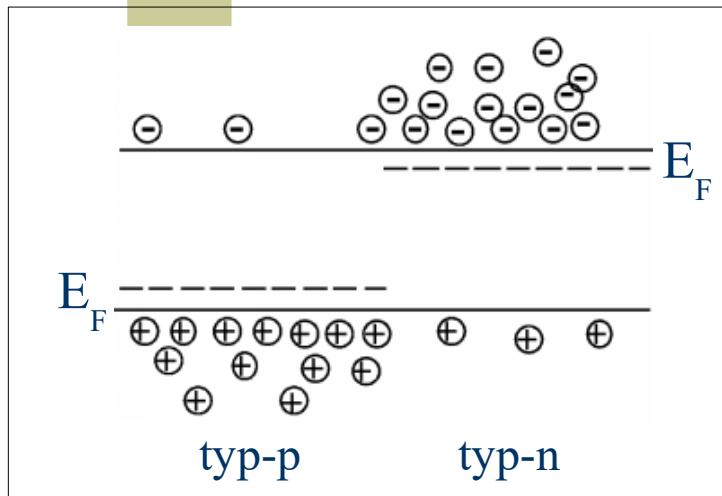
- Ustala się pewna równowaga: na skutek polaryzacji złącza więcej elektronów i dziur już nie przechodzi. Prąd dyfuzyjny ustaje.
- Powstaje warstwa „zaporowa”, gdyż jest ona uboga w nośniki prądu (jony są uwięzione w sieci krystalicznej)

Warstwa zaporowa – jak powstaje?



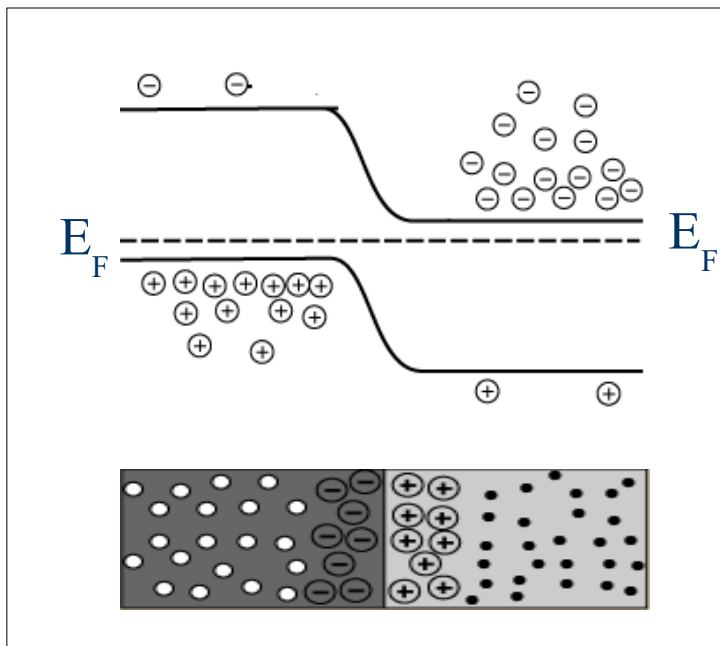
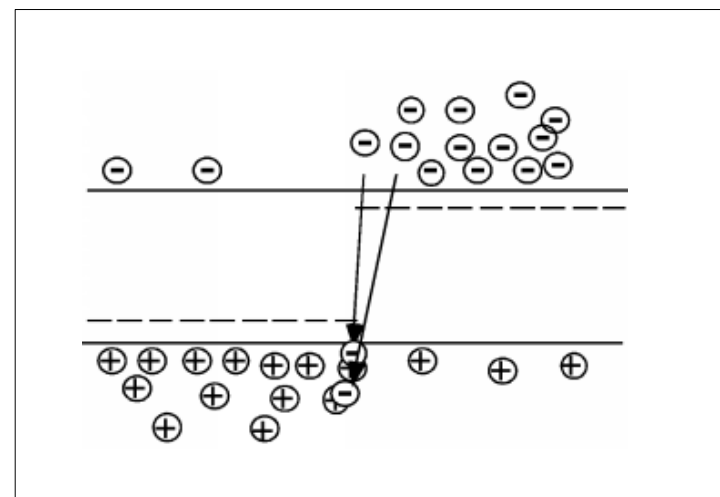
- Electron ○ Hole ⊖ Negative ion from filling of p-type vacancy. ⊕ Positive ion from removal of electron from n-type impurity.

Warstwa zaporowa – model pasmowy.



sytuacja tuż przed złączeniem :

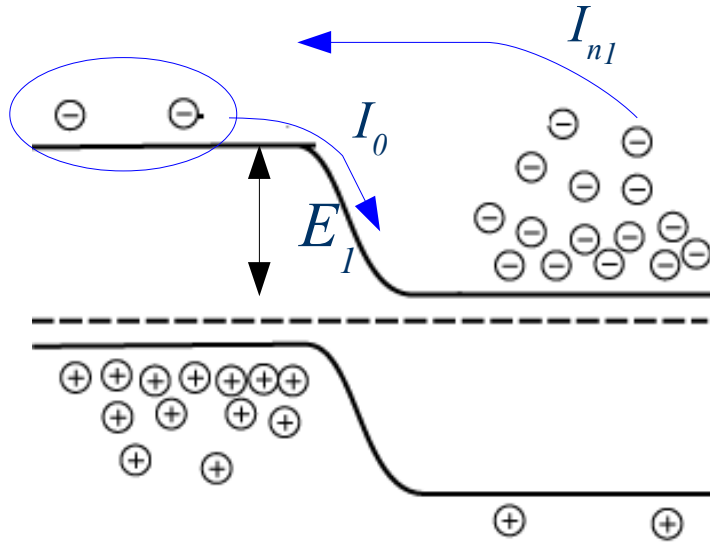
półprzewodniki mają różny poziomy energetyczny Fermiego



proces rekombinacji i tworzenia się warstwy zaporowej, równowaga:

Następuje przepływ elektronów i dziur na złączu, które rekombinują z jonami domieszek – na skutek tego następuje proces takiej modyfikacji poziomów energetycznych, że poziomy Fermiego dla obu półprzewodników wyrównują się.

Prądy dryfowe (unoszenia) i prądy dyfuzyjne na złączu p-n



Po stronie obszaru *n*

Cześć nośników **-elektrony-** „dyfunduje” do złącza i przechodzą do obszaru **p** - powstaje prąd

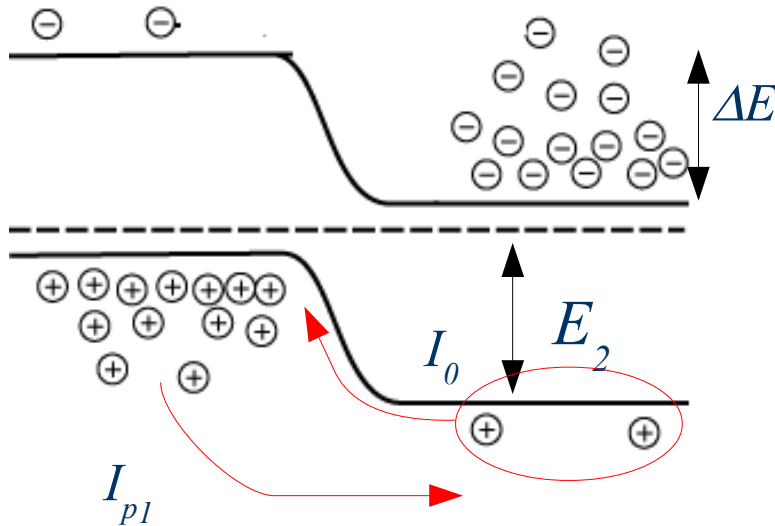
Ten prąd jest proporcjonalny do $I_{n1} \sim e^{-E_1/kT}$

Mniejszościowe nośniki ujemne **-elektrony-** z obszaru **p** docierają do stoku i „dryfują” do obszaru **n** (tworząc prąd unoszenia-dryfu I_0)

W warunkach równowagi na złączu p-n prąd dryfowy jest kompensowany przez prąd dyfuzyjny.

$$I_0 = I_{n1} \sim N_n(\text{obszar } p) = N_n(\text{obszar } n) e^{-E_1/kT}$$

Prądy dryfowe (unoszenia) i prądy dyfuzyjne na złączu p-n



Po stronie obszaru *p*

Cześć nośników **-dziury-** „dyfunduje” do złącza i przechodzą do obszaru *n* - powstaje prąd

Ten prąd jest proporcjonalny do $I_{p1} \sim e^{-E_2/kT}$

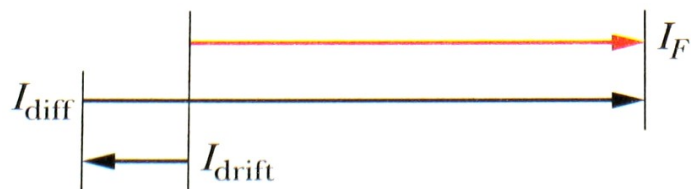
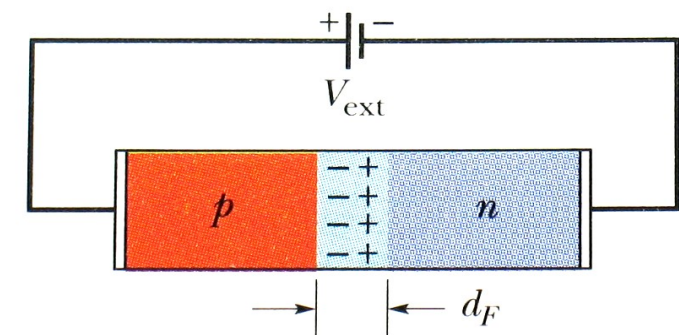
Mniejszościowe nośniki dodatnie **-dziury-** z obszaru *n* docierają do stoku i „dryfują” do obszaru *p* (tworząc prąd unoszenia-dryfu I_0)

W warunkach równowagi na złączu p-n prąd dryfowy jest kompensowany przez prąd dyfuzyjny.

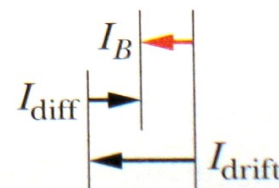
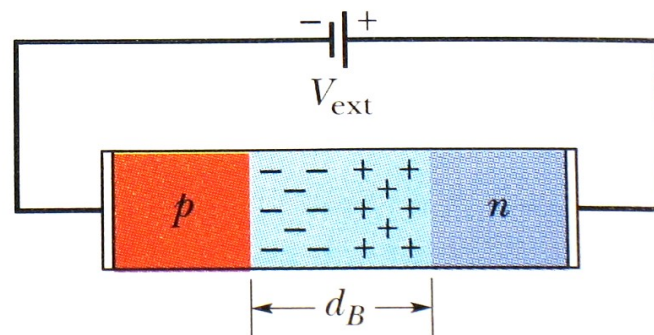
$$I_0 = I_{p1} \sim N_p(\text{obszar } n) = N_p(\text{obszar } p) e^{-E_2/kT}$$

$$\frac{N_p(\text{obszar } n)}{N_p(\text{obszar } p)} = e^{-E_2/kT}$$

Polaryzacja złącza p-n



(a)



(b)

■ Polaryzacja w kierunku przewodzenia

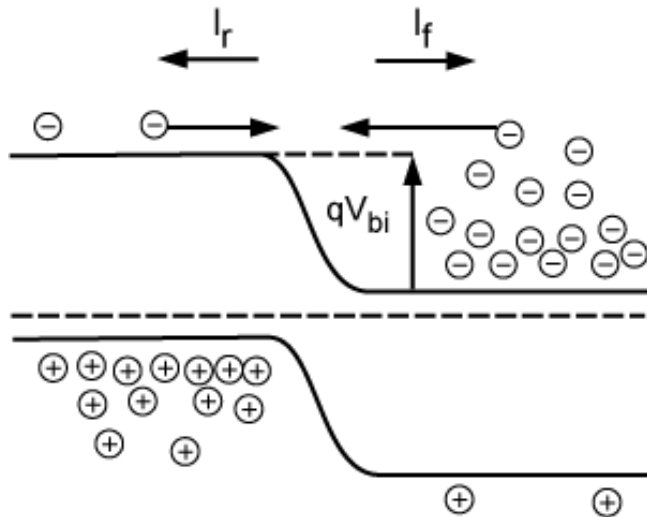
- Wzrost prądu dyfuzyjnego ponieważ maleje bariera potencjału na złączu
- Warstwa zaporowa maleje
- Prąd dryfowy pozostaje mały

■ Polaryzacja w kierunku zaporowym

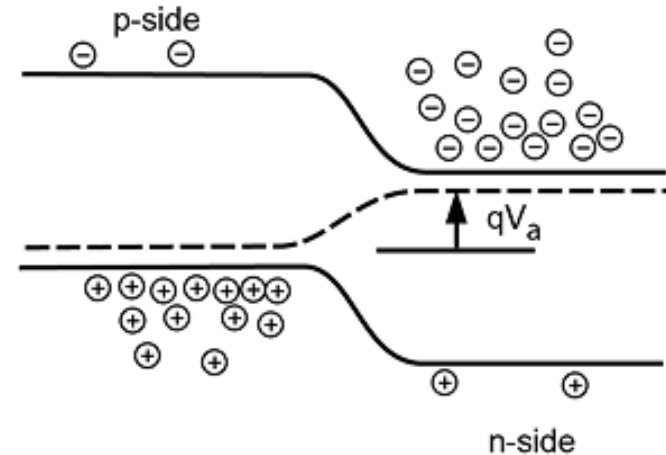
- Spadek prądu dyfuzyjnego ponieważ rośnie bariera potencjału na złączu
- Rozrost warstwy zaporowej
- Prąd dryfowy pozostaje mały

Polaryzacja złącza p-n w kierunku przewodzenia

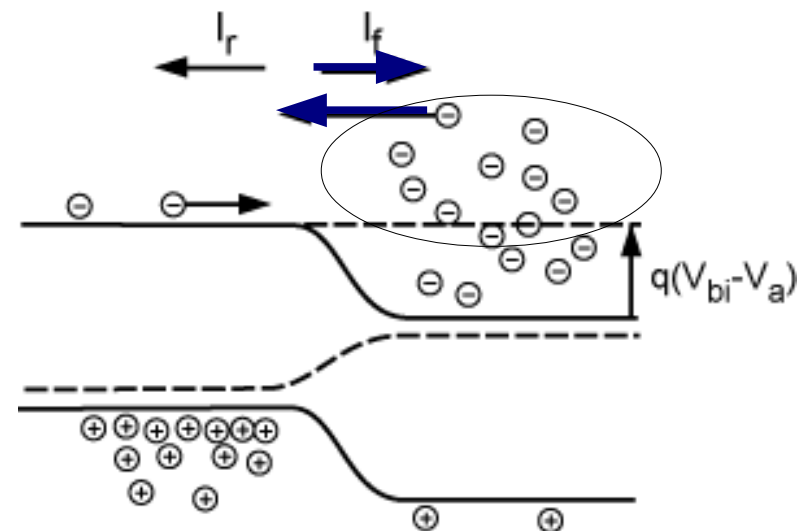
Bez polaryzacji



Polaryzacja w kierunku przewodzenia

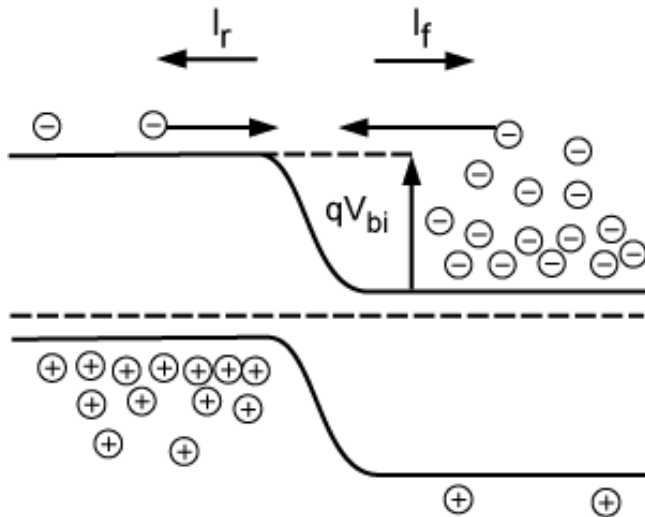


Elektrony są „pompowane” w złącze

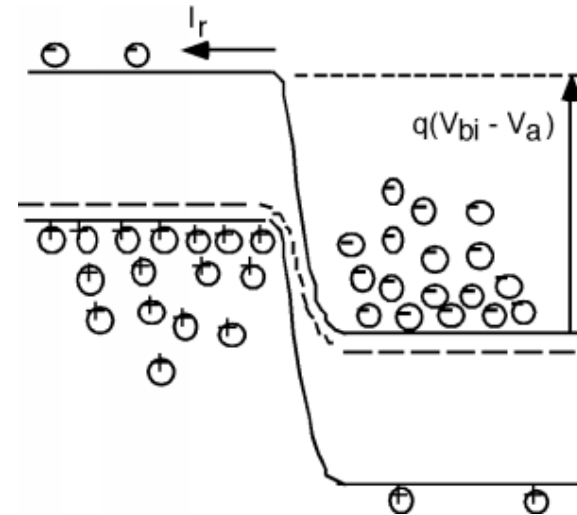


Polaryzacja złącza p-n w kierunku zaporowym

Bez polaryzacji

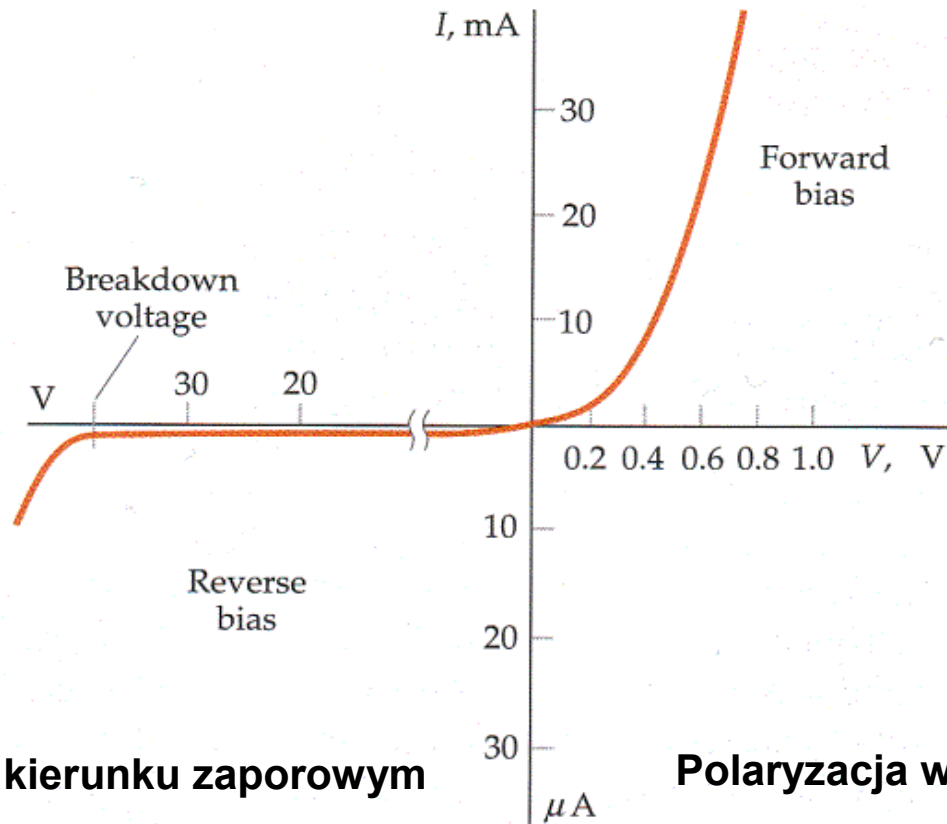


■ Polaryzacja w kierunku zaporowym



Ładunki coraz bardziej blokowane
Istnieje tylko prąd dryfu, b. mały

Charakterystyka złącza p-n



Polaryzacja w kierunku zaporowym

Polaryzacja w kierunku przewodzenia

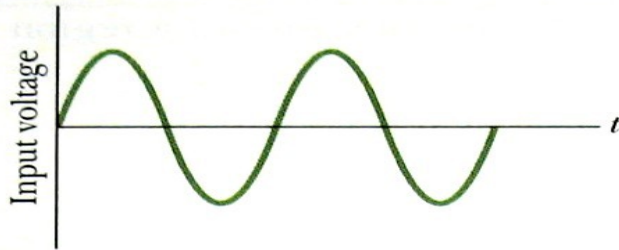
$$I_1 \sim N_p(\text{obszar } p)e^{-(E_2 - qV)/kT}$$

$$I_1 = I_0 e^{qV/kT}$$

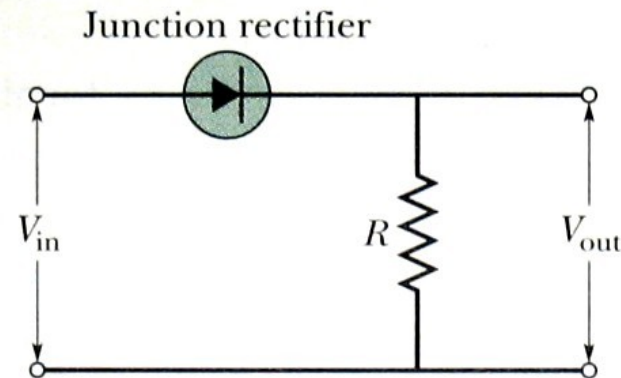
Prąd wypadkowy : $I = I_1 - I_0$

$$I = I_0(e^{qV/kT} - 1)$$

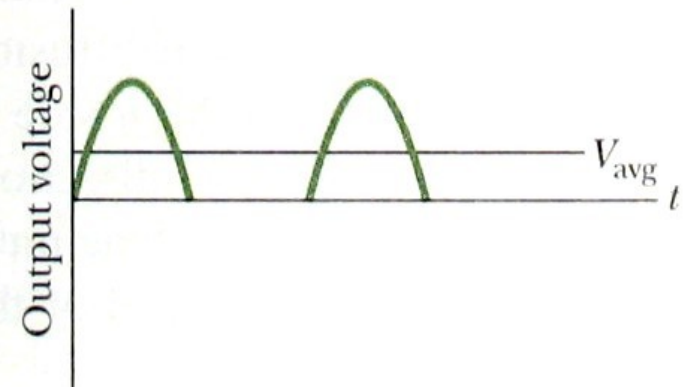
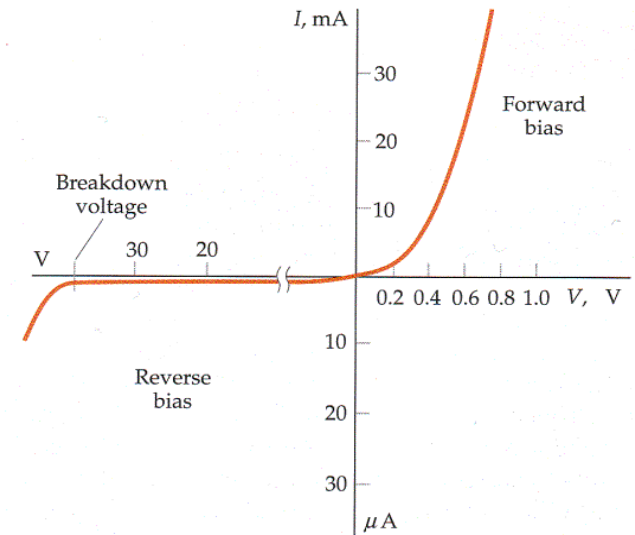
Złącze p-n jako prostownik



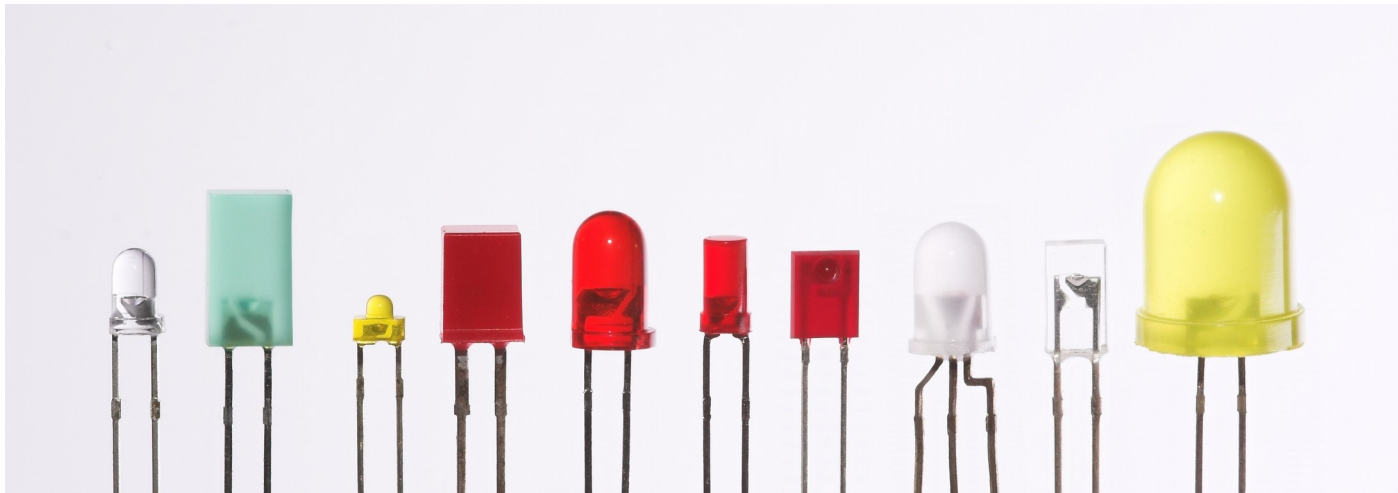
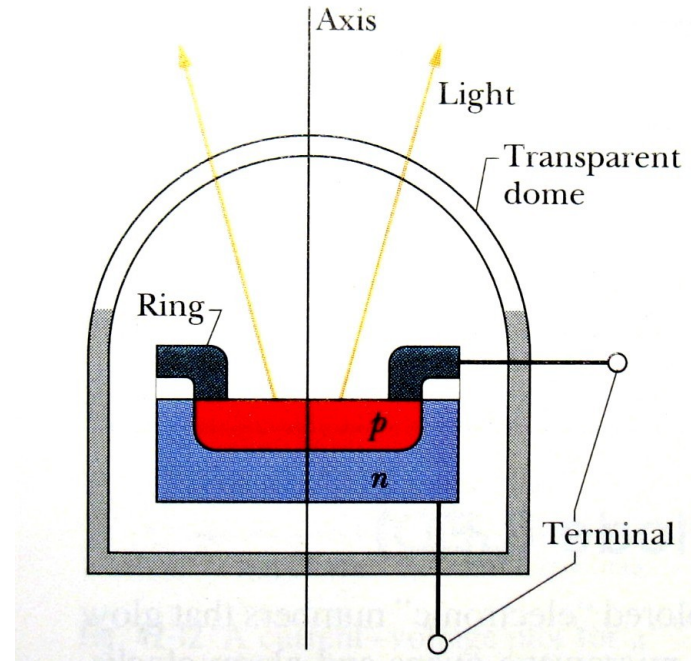
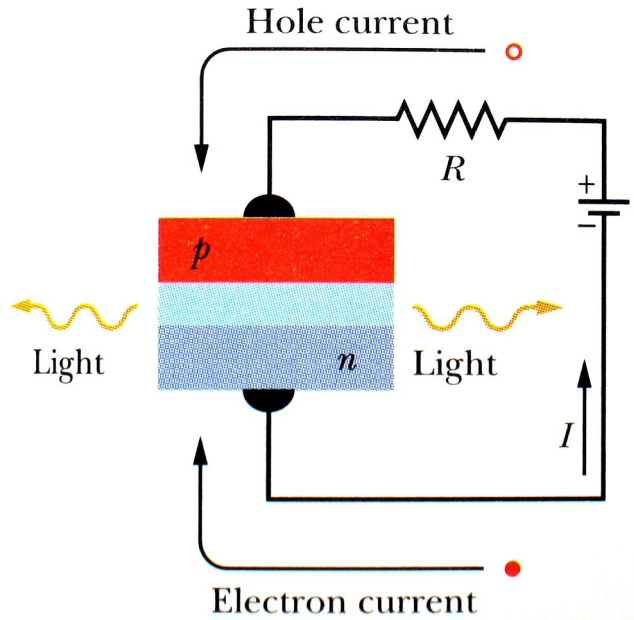
(a)



(b)



Dioda LED



Dioda LED

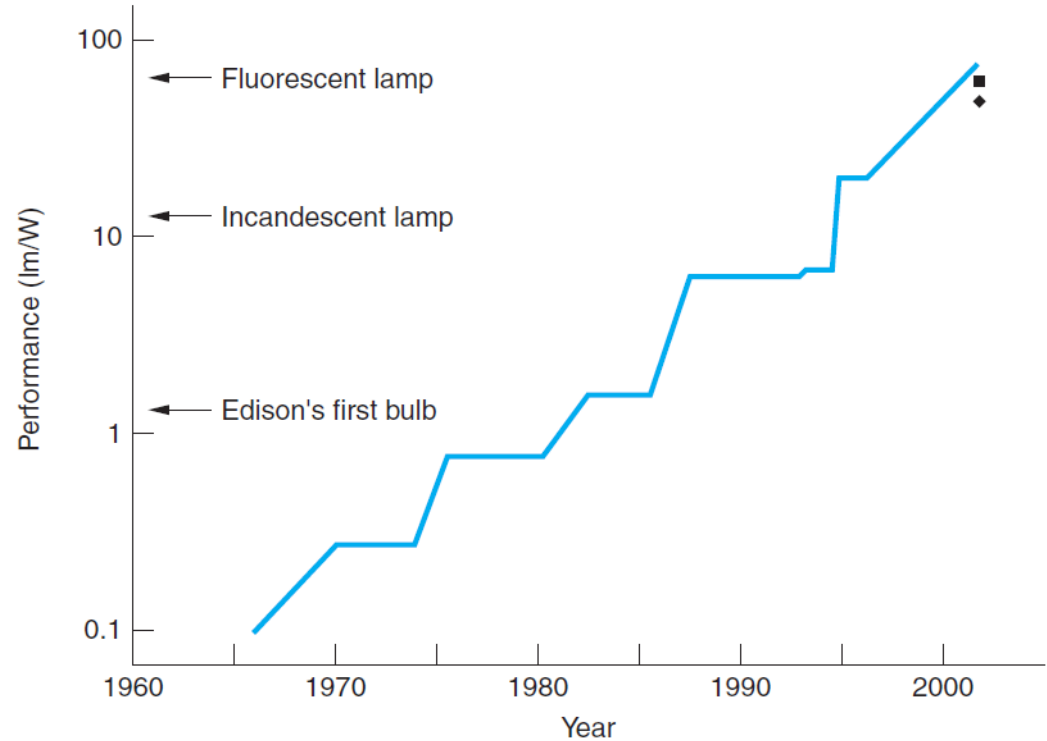
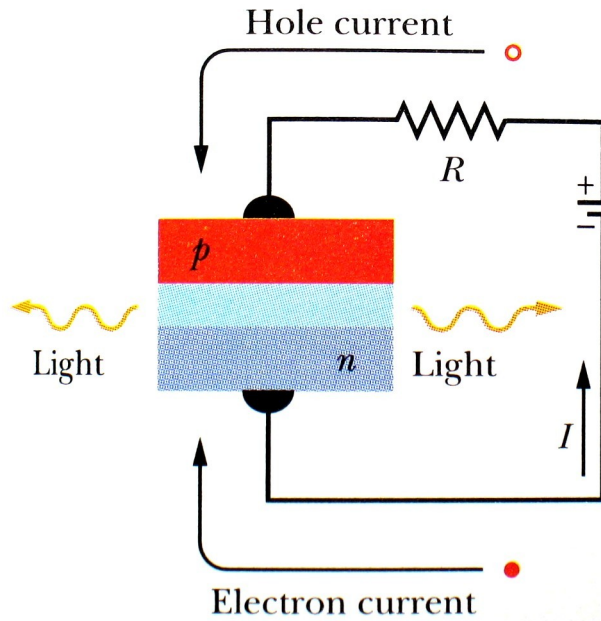
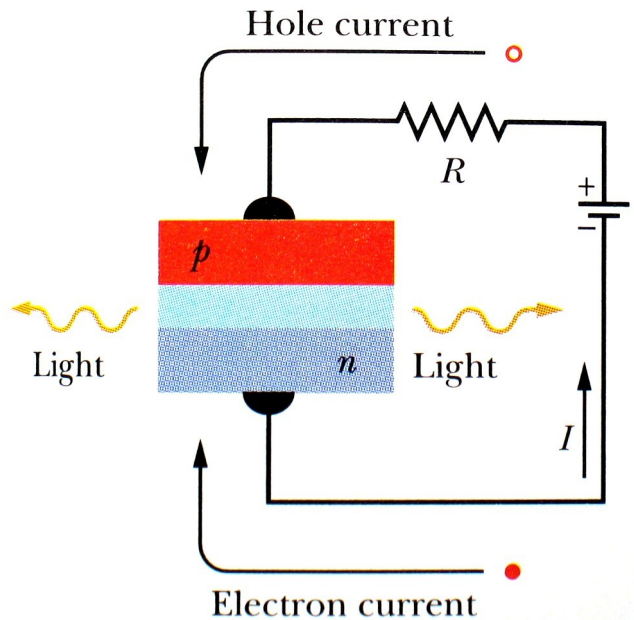
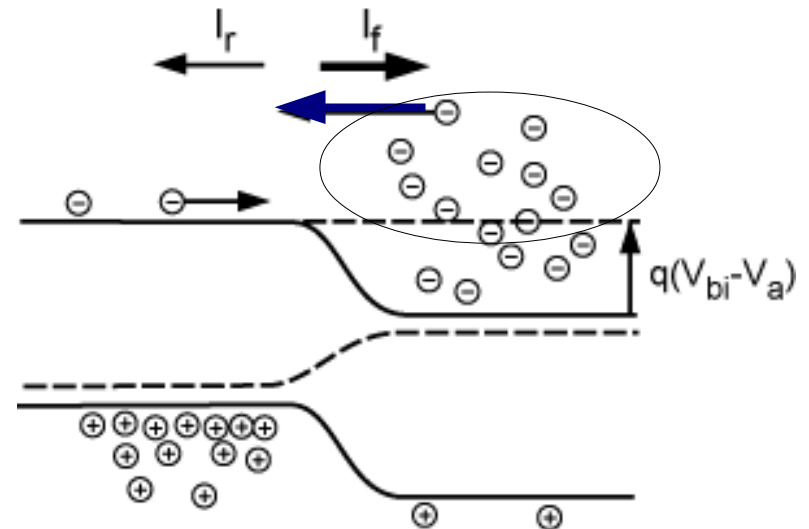


Figure 10-38 Summary of the performance improvements in LEDs over the span of their existence. The ■ marks the current performance of small-molecule OLEDs; the ◆ marks that of the polymer OLEDs. A few performance benchmarks are indicated on the vertical axis.

Dioda LED

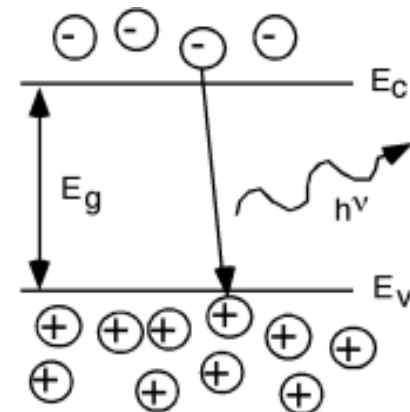


„pompowanie” el. do złącza

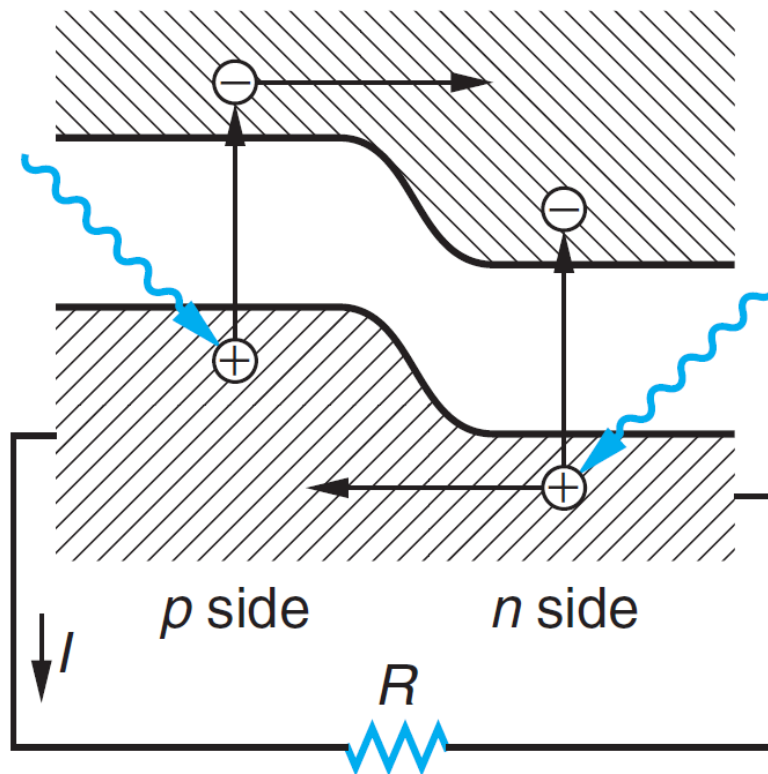


Złącze spolaryzowane w kierunku przewodzenia, Zmniejsza się bariera potencjału dla nośników większościowych – wzrasta prąd dyfuzyjny

„Wpompowane” elektrony rekombinują, wysyłając światło



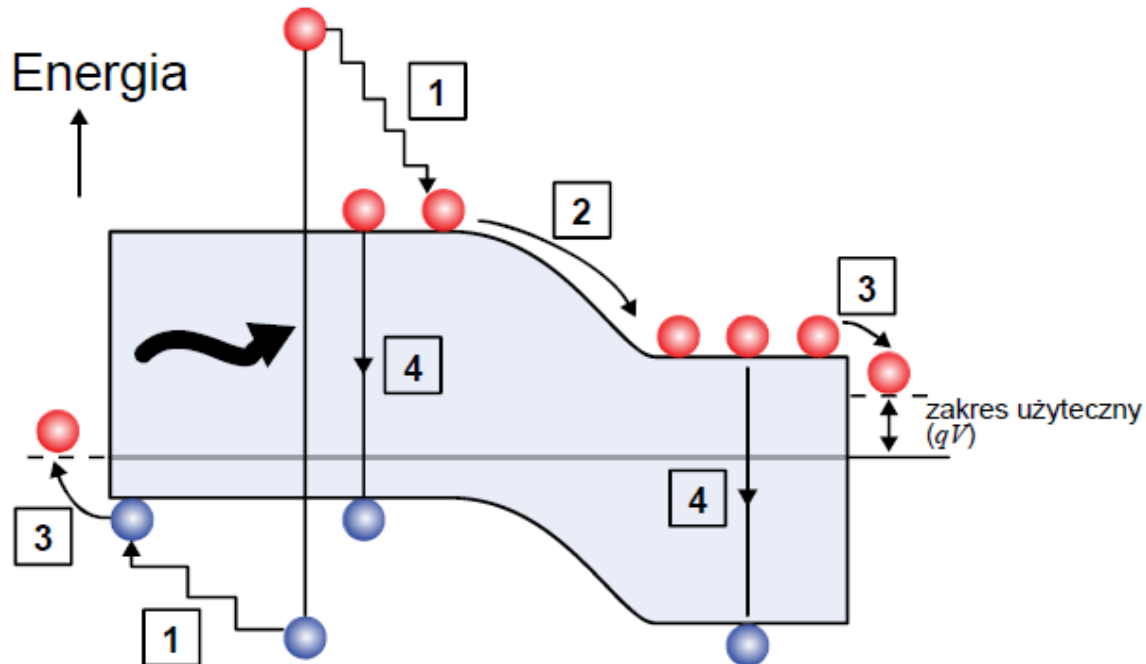
Fotodioda – zasada działania



Złącze spolaryzowane w kierunku zaporowym,

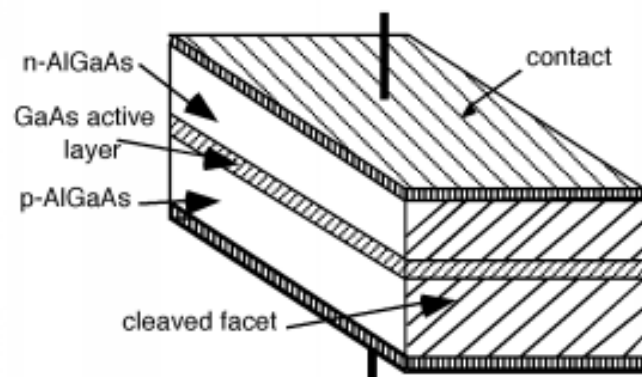
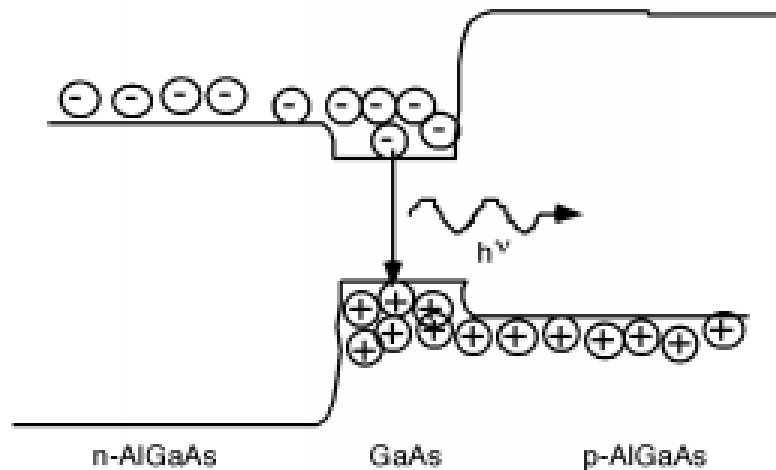
Oświetlenie złącza prowadzi do znacznego wzrostu prądu dryfowego (unoszenia)

Efekt fotowoltaiczny

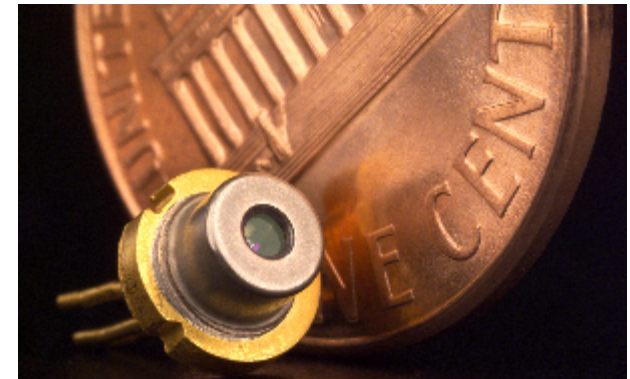


Rys. 4 b) Procesy w oświetlonym złączu następujące po fotogeneracji pary elektron-dziura: 1. termalizacja (przekazanie sieci nadmiaru energii); 2. dryf w polu elektrycznym złącza; 4. rekombinacja.

Dioda laserowa



"double heterostructure laser"



Diode Laser Anatomy

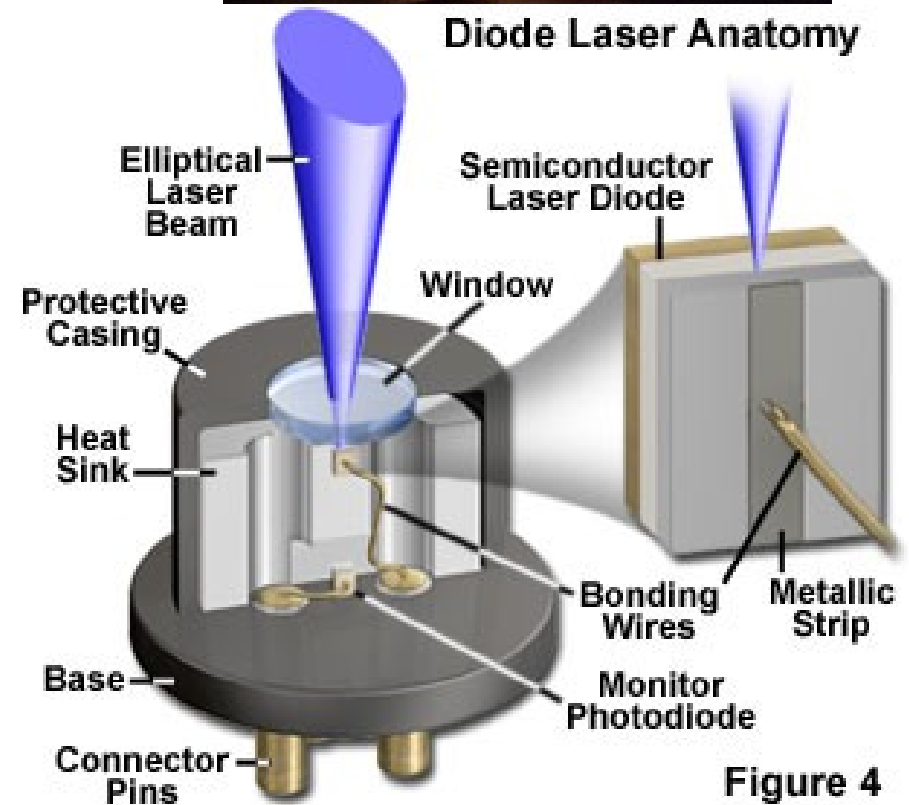
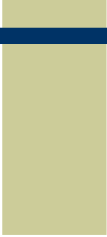


Figure 4

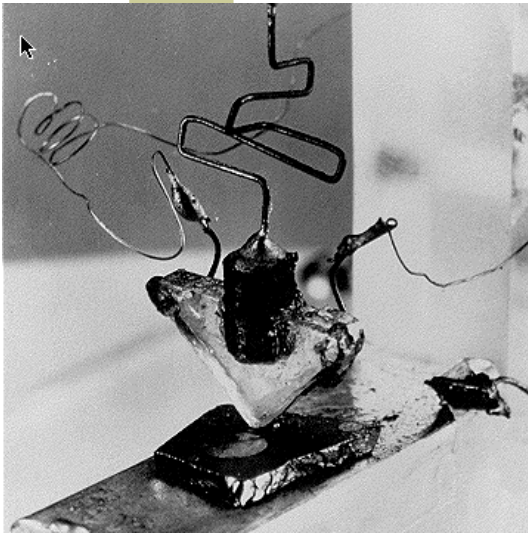


Dioda laserowa

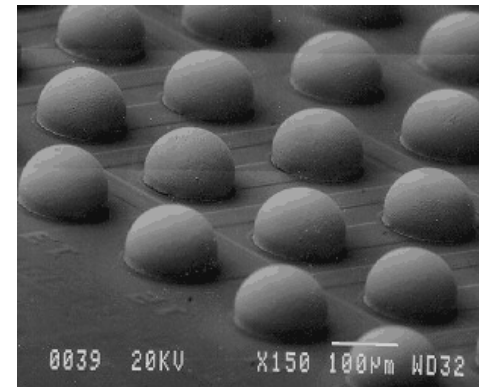
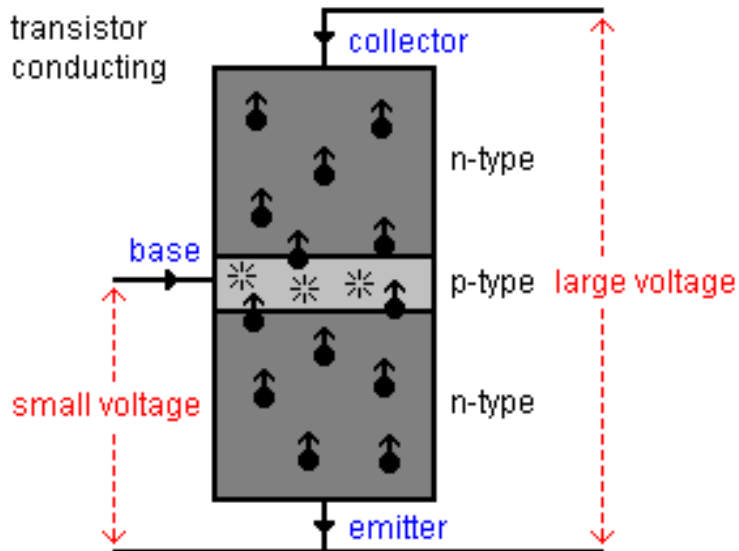
Tranzystor

Opis działania:

- trój-kontaktowe złącze półprzewodnikowe, które może być użyte do sterowania sygnałem elektrycznym, posiadające zdolność wzmacniania sygnału elektrycznego
- „mały prąd steruje dużym prądem”
 - Składa się z elementów : emiter, baza, kolektor
 - „duży prąd” płynie pomiędzy emiterem a kolektorem
 - „baza” kontroluje „duży prąd” - tzn. Małe zmiany prądu bazy wywołują duże zmiany prądu emiter -kolektor

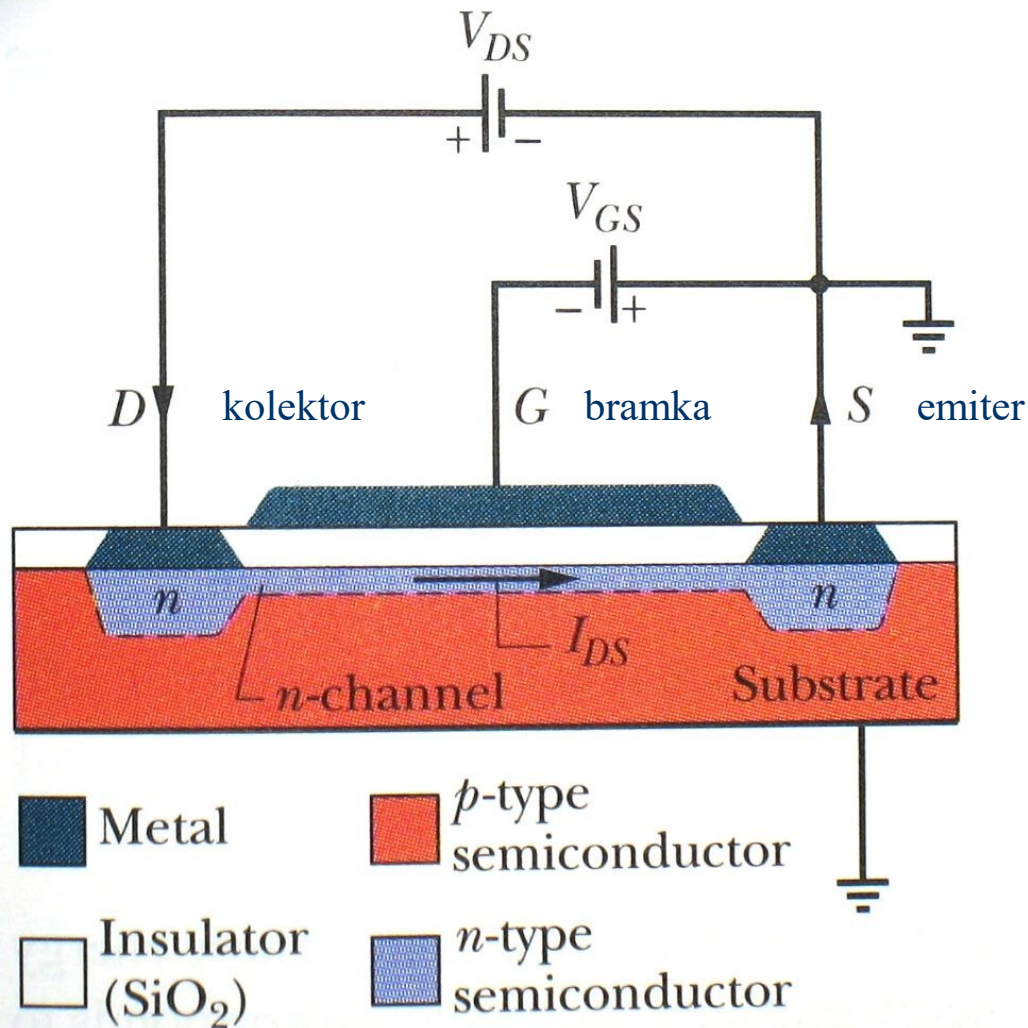


first transistor, discovered by Bardeen, Brattain and Shockley at Bell Labs



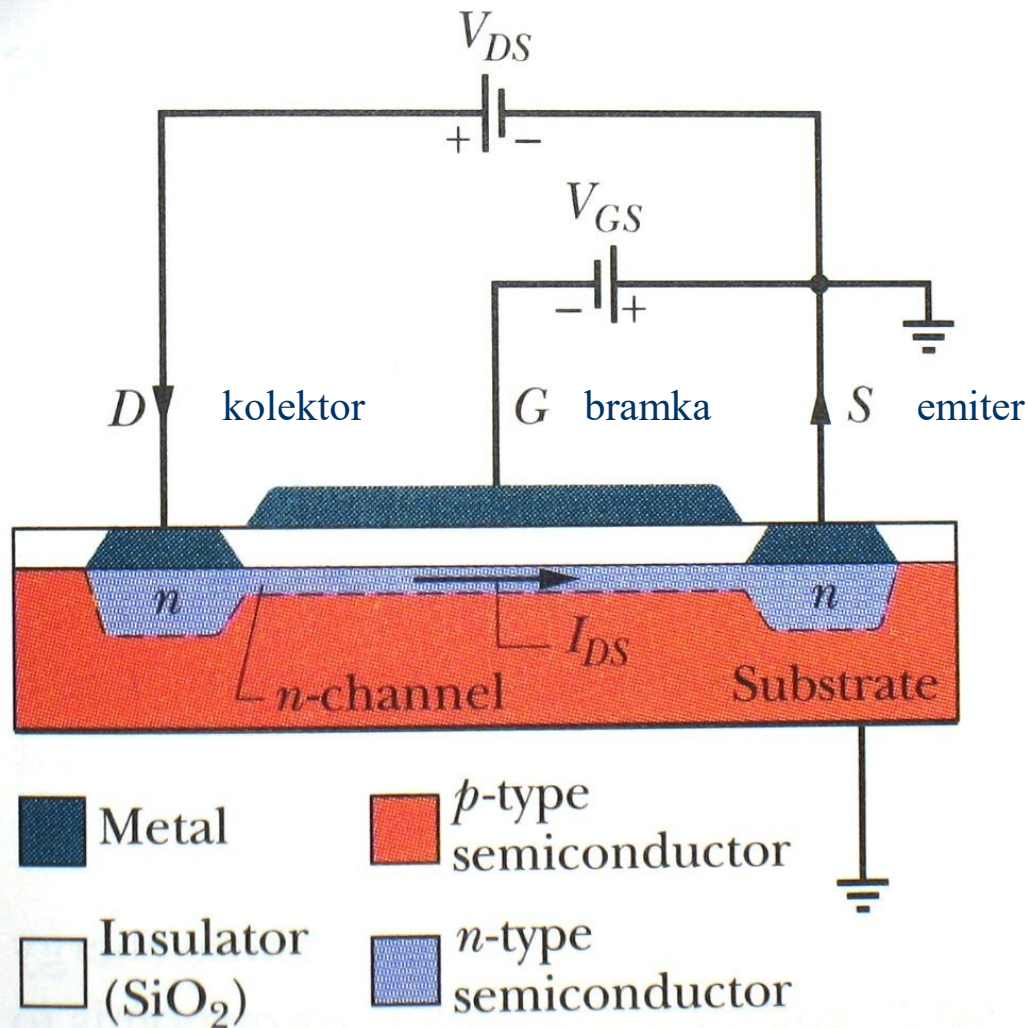
współczesne tranzystory na płycie scalonej

Tranzystor przykład MOSFET (n-p-n)



- Przepływ elektronów od emitera do kolektora kontrolowany jest przez napięcie (pole elektryczne) bramki.
- W wielu przypadkach tranzystor operuje tylko w dwóch stanach (ON i OFF).
- Półprzewodnik „p” jest tylko lekko domieszkowany
- Półprzewodnik „n” jest mocno domieszkowany
- Pomiedzy „wyspami” typu „n” tworzony jest kanał przez który płynie prąd I_{DS}

Tranzystor przykład MOSFET (n-p-n)



- Bramka wytwarza pole, które kontroluje przepływ prądu I_{DS}
- Brak napięcia V_{GS} – płynie prąd I_{DS}
- Ujemne napięcie V_{GS} (w stosunku do emitera-źródła) powoduje wypychanie elektronów do obszaru „p” (substrate) – poszerza się warstwa zaporowa na złączu n-p, powiększa się opór kanału blokując przepływ elektronów.
- Przy odpowiednim progowym napięciu prąd I_{DS} może być zablokowany
- Prąd nie płynie przez obszar „p” (substrate) ponieważ jest tylko lekko domieszkowany (nie jest dobrym przewodnikiem), poza tym na złączu p-n tworzy się warstwa zaporowa, która uniemożliwia przepływ prądu