

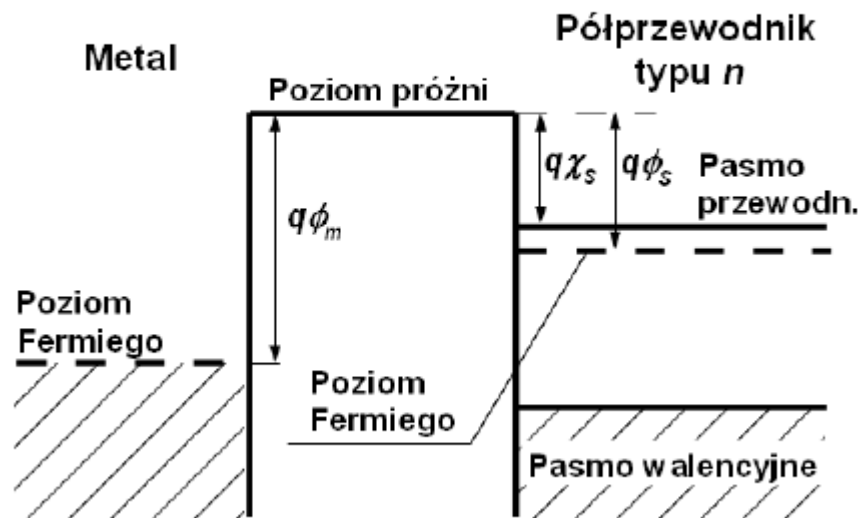
Wykład VII

Złącze metal – półprzewodnik
Tranzystor polowy

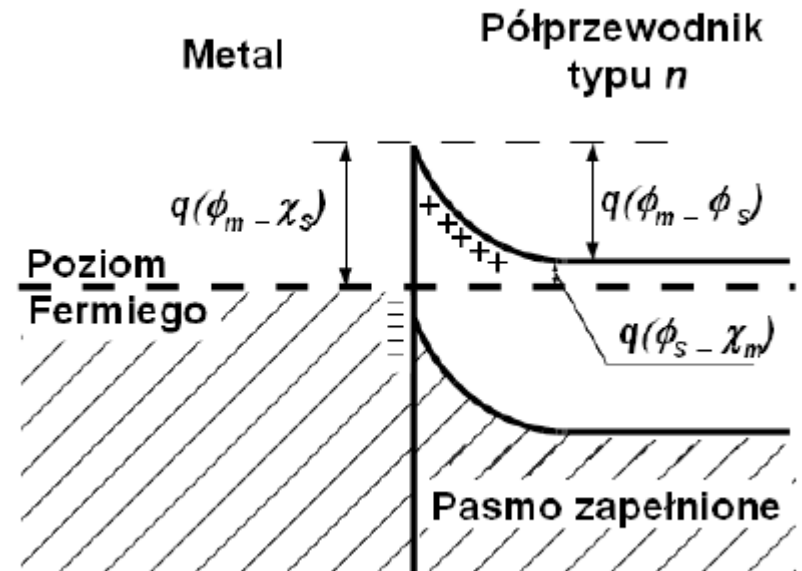
Kontakt prostujący metal – półprzewodnik typu n - dioda Schottky

$$q \Phi_m > q \Phi_s$$

a) przed połączeniem



po połączeniu



$$q V_{bi} = q (\Phi_m - \Phi_s)$$

$$q \Phi_{Bn} = q (\Phi_m - \chi_s)$$

Równanie Poissona

$\varepsilon(x)$ - natężenie pola elektrycznego

$\Phi(x)$ - potencjał pola elektrycznego

$$\operatorname{div} \vec{\varepsilon} = \frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_s}$$

$$\vec{\varepsilon} = -\operatorname{grad} \Phi$$

$$-\operatorname{div} \operatorname{grad} \Phi = -\Delta \Phi$$

$$\Delta \Phi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_s}$$

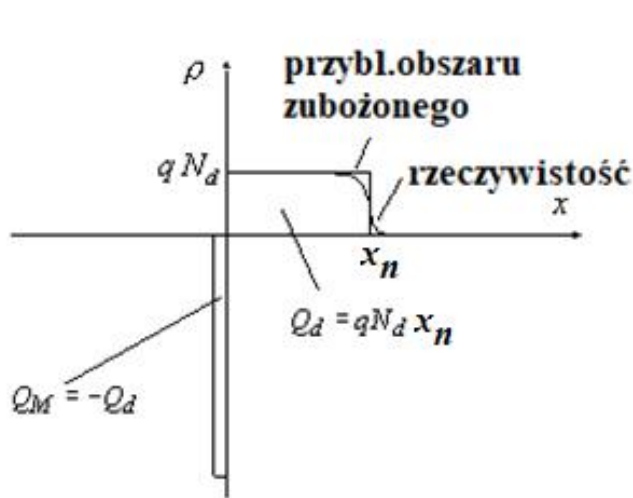
W 1D

$$\frac{d^2 \Phi}{dx^2} = -\frac{\rho}{\varepsilon_0 \varepsilon_s}$$

$$-\frac{d^2 \Phi}{dx^2} = \frac{d\varepsilon(x)}{dx} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon_0 \varepsilon_s}$$

Równanie Poissona

$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = \frac{q}{\epsilon_s \epsilon_0} [(n - p) - (N_d - N_a)] \quad 0 < x < x_n$$



$$\frac{d^2\phi}{dx^2} = \begin{cases} -\frac{q}{\epsilon_s \epsilon_0} N_d, & 0 < x < x_n \\ \frac{q}{\epsilon_s \epsilon_0} N_d x_n \delta(x), & x = 0 \\ 0, & \text{wszędzie poza } x = 0 \text{ i } 0 < x < x_n \end{cases}$$

Całkujemy:

$$\mathcal{E} = -d\phi/dx, \quad \mathcal{E}(\infty) = \mathcal{E}(-\infty) = 0,$$

Pole elektryczne w idealnym złączu m-s

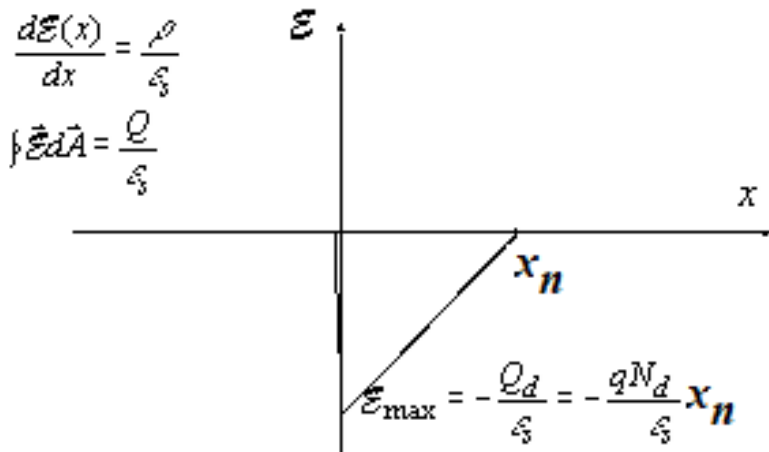
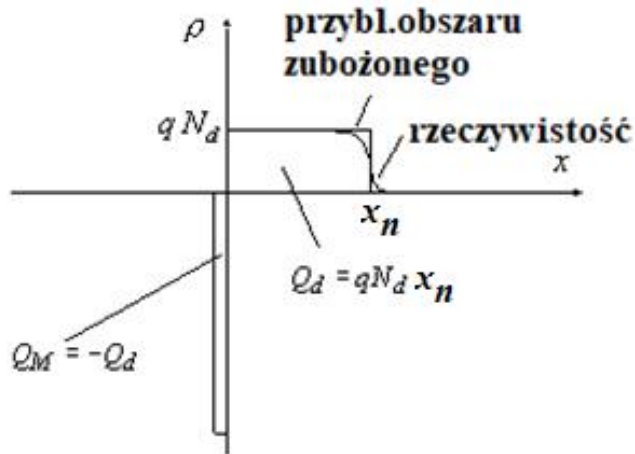
Równanie Poissona

$$-\frac{d^2\Phi}{dx^2} = \frac{d\varepsilon(x)}{dx} = \frac{\rho(x)}{\varepsilon_0\varepsilon_s}$$

$$\varepsilon(x) = \int \frac{qN_d}{\varepsilon_0\varepsilon_s} dx = \frac{qN_d}{\varepsilon_0\varepsilon_s} x + C_1$$

$$\varepsilon(x_n) = 0 \quad \Rightarrow \quad C_1 = -\frac{qN_d}{\varepsilon_0\varepsilon_s} x_n$$

$$\varepsilon(x) = -\frac{qN_d}{\varepsilon_0\varepsilon_s} (x_n - x) \quad \varepsilon_{max} = -\frac{qN_d}{\varepsilon_0\varepsilon_s} x_n$$



Rozwiązanie równania Poissona

$$0 < x < x_n$$

$$\frac{d\Phi(x)}{dx} = -\varepsilon(x) = + \frac{qN_d}{\varepsilon_0 \varepsilon_s} (x_n - x)$$

$$\varepsilon_{max} = - \frac{qN_d}{\varepsilon_0 \varepsilon_s} x_n$$

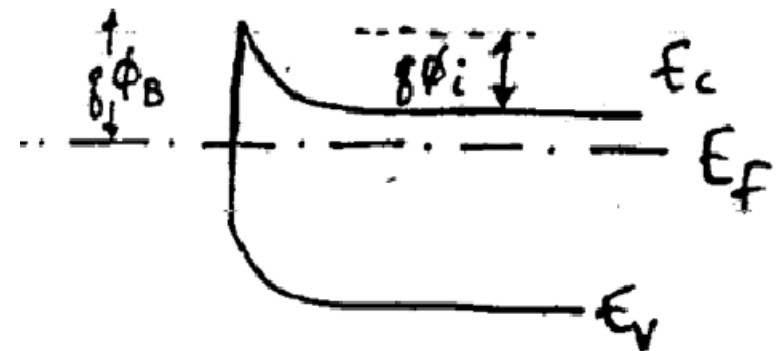
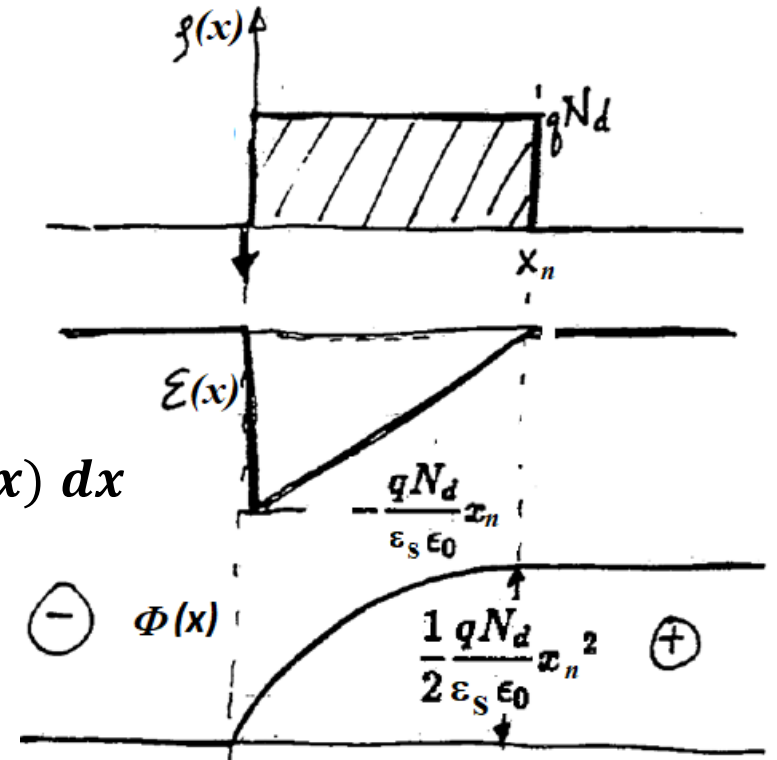
$$\int d\Phi(x) = - \int \varepsilon(x) dx = + \frac{qN_d}{\varepsilon_0 \varepsilon_s} \int (x_n - x) dx$$

$$\Phi(x) = \frac{qN_d}{\varepsilon_0 \varepsilon_s} \left(x_n x - \frac{x^2}{2} \right) + c$$

$$\Phi(0) = 0 \quad c = 0$$

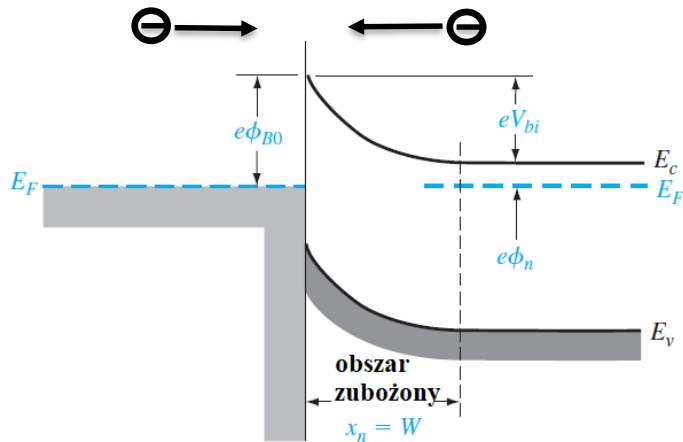
$$\phi(x) = \frac{1}{2} \frac{qN_d}{\varepsilon_s \varepsilon_0} \left[x_n^2 - (x - x_n)^2 \right]$$

$$\phi(x_n) = \frac{1}{2} \frac{qN_d}{\varepsilon_s \varepsilon_0} x_n^2 = \phi_i$$



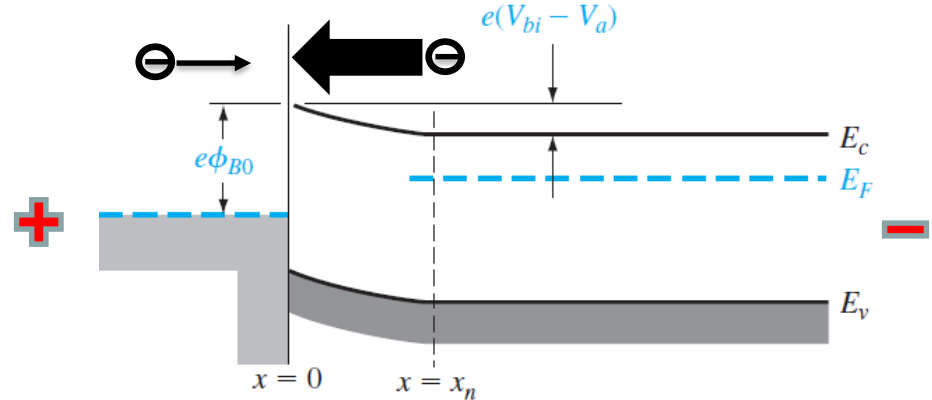
Dioda Schottky'ego

$$I_{m-s} = -I_0 \quad I_{s-m} = I_0$$



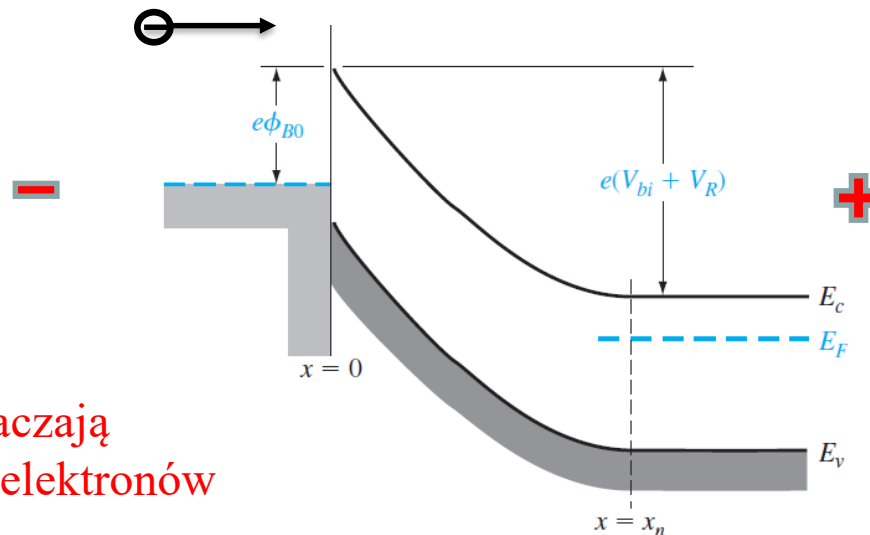
$$V = 0$$

$$I_{m-s} = -I_0 \ll I_{s-m} = I_0(e^{qV/kT} - 1)$$



$$V > 0$$

$$I_{m-s} = -I_0 \quad I_{s-m} \ll I_{m-s}$$



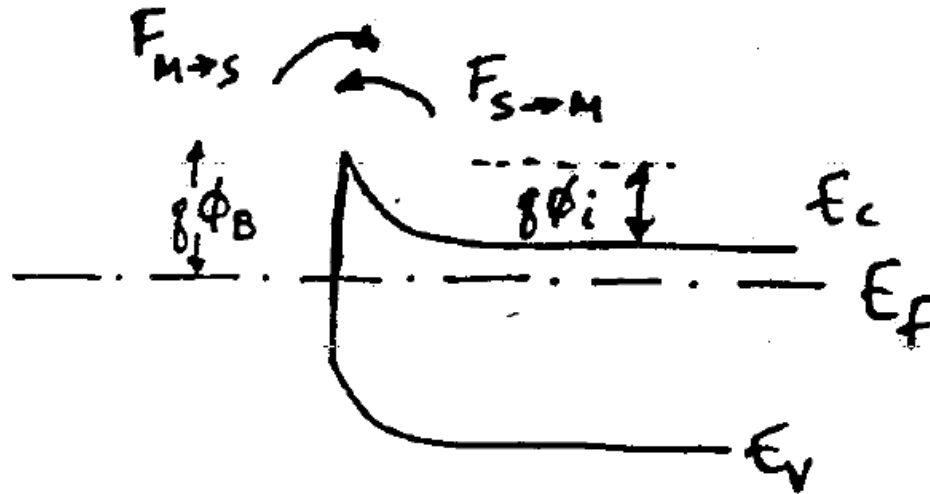
D.A.Neamen, Semiconductor Physics and Devices, ed. Mac Graw Hill

$$V < 0$$

Uwaga: strzałki oznaczają kierunek strumienia elektronów

Charakterystyka I-V

F-strumień elektronów. W stanie równowagi:



Po spolaryzowaniu w kierunku przewodzenia zmienia się F_{S-M}

Charakterystyka I-V

Koncentracja elektronów w pasmie przewodnictwa półprzewodnika:

$$n = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_f}{kT}\right)$$

Koncentracja elektronów, które pokonają barierę potencjału:

$$n_s = N_c \exp\left(-\frac{E_c - E_f + q\phi_s}{kT}\right) = N_c \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right)$$

W równowadze:

$$I_{M \rightarrow S} = I_{S \rightarrow M} = C N_c \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right)$$

Po spolaryzowaniu złącza w kier. przewodzenia:

$$n_s = N_c \exp\left(-\frac{q(\phi_B - V_A)}{kT}\right)$$

Charakterystyka I-V

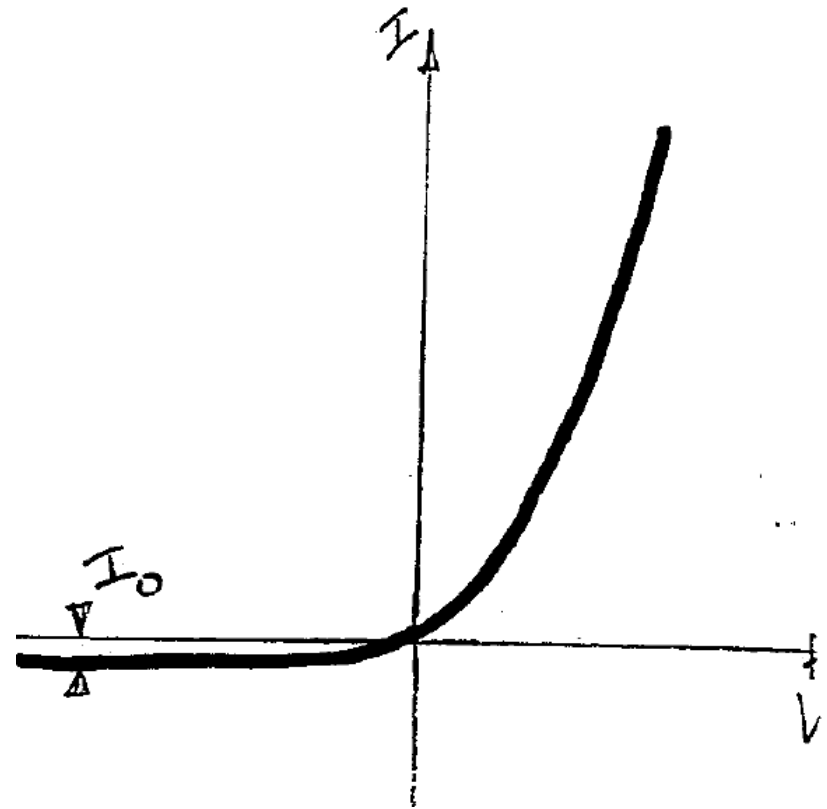
$$I = I_{S \rightarrow M} - I_{M \rightarrow S} = C N_c \exp\left(-\frac{q(\phi_B - V_A)}{kT}\right) - C N_c \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right)$$

$$I = I_0 \left(\exp \frac{qV_A}{kT} - 1 \right)$$

$$I_0 = C N_c \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right)$$

$$I = A^* T^2 e^{-\frac{q\Phi_B}{kT}} \left(e^{\frac{qV_a}{kT}} - 1 \right)$$

$$A^* = \frac{m^*}{m_0} 120 \text{ A/cm}^2 \text{ K}^2$$

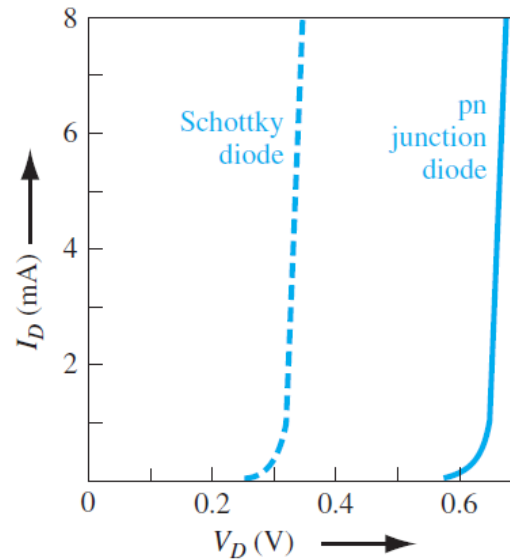


Charakterystyka I-V

$$J_{s-m} = A^* T^2 e^{-q\Phi_B/kT} e^{qV/kT}$$

$$J_{m-s} = A^* T^2 e^{-q\Phi_B/kT}$$

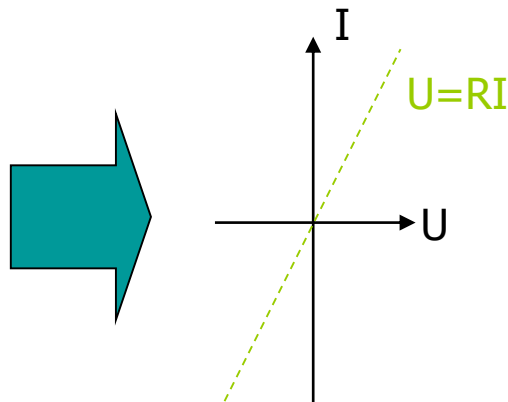
$$J = J_{s-m} - J_{m-s} = A^* T^2 e^{-\frac{q\Phi_B}{kT}} (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$



- Prąd nasycenia I_0 diody Schottky'ego jest 10^3 do 10^8 razy większy od prądu nasycenia dla złącza p-n
- Dioda Schottky'ego jest stosowana do prostowania przebiegów przemiennych o niskim napięciu i dużym prądzie.

Omowy kontakt metal – półprzewodnik

Półprzewodnik typu n i metal o pracy wyjścia $\phi_m < \chi$:

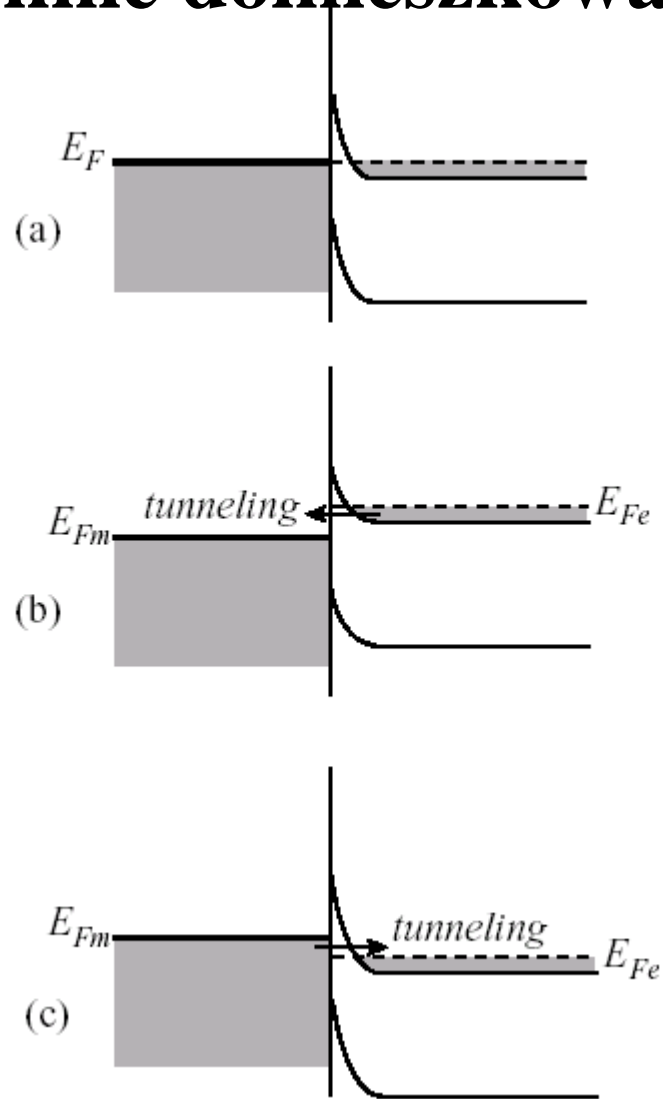


Kontakt omowy
(o niskiej oporności)

uwaga: dla półprzewodnika typu p
kontakt jest omowy gdy

$$\phi_m > \chi$$

Kontakt omowy metal – półprzewodnik typu n silnie domieszkowany



Tranzystory

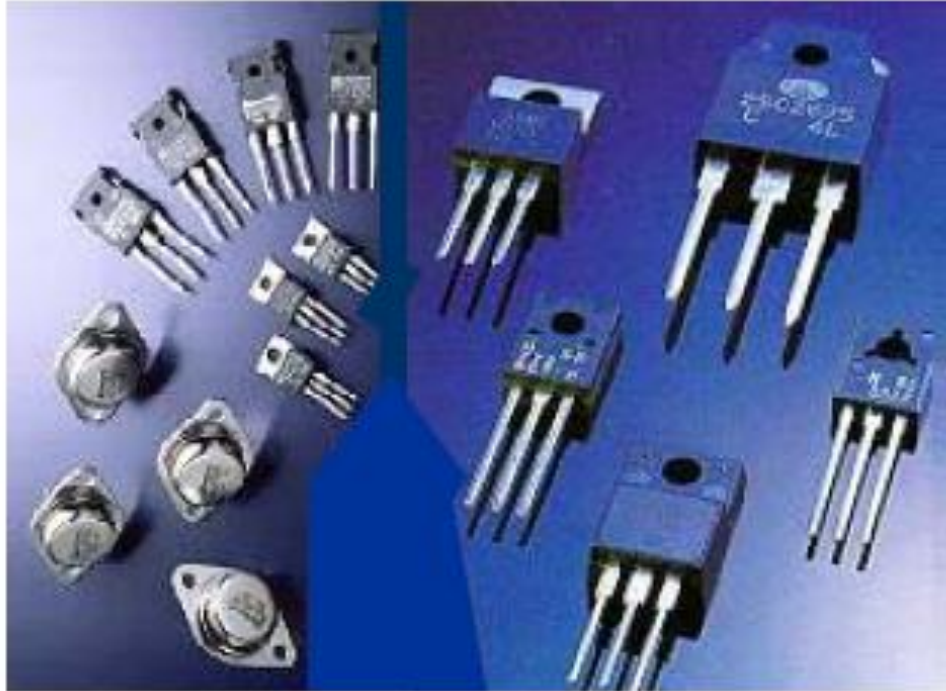
(ang. *TRANSISTOR* = *TRANSfer resISTORs*)

Podział



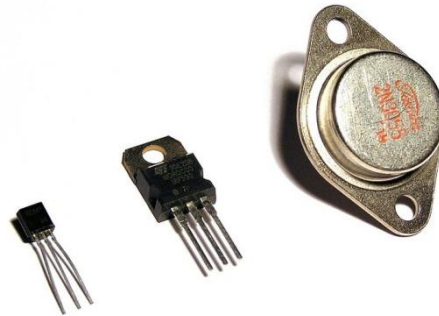
Bipolarne:

1. NPN
2. PNP



Polowe:

1. PNFET
2. MOSFET



Tranzystor

Trójkońcówkowy półprzewodnikowy element elektroniczny, posiadający zdolność *wzmacniania* sygnału elektrycznego. Nazwa *tranzystor* pochodzi z angielskiego zwrotu "transfer resistor", który oznacza element transformujący rezystancję.

Wyróżnia się dwie główne grupy tranzystorów, które różnią się zasadniczo zasadą działania:

- 1. Tranzystory bipolarne, w których prąd wyjściowy jest funkcją prądu wejściowego (sterowanie prądowe).**
- 2. Tranzystory unipolarne (tranzystory polowe), w których prąd wyjściowy jest funkcją napięcia (sterowanie napięciowe).**

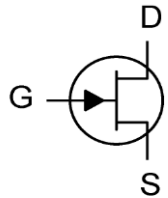
Tranzystor polowy

Trzy elektrody: źródło, dren i bramka. Bramka jest odizolowana od kanału źródło-dren

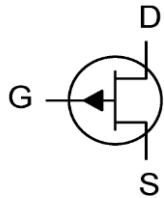
- **JFET** : bramkę stanowi złącze p-n spolaryzowane w kierunku zaporowym. Tranzystory JFET pracują przy $V_{GS} = 0$.
- **MESFET** : bramką jest metalowa elektroda, która jest tak dobrana aby tworzyła z kanałem barierę Schottk'yego.
- **MOSFET**: bramkę stanowi metalowa elektroda odizolowana od kanału warstwą izolatora – tlenku.

Tranzystor polowy – złączowy JFET

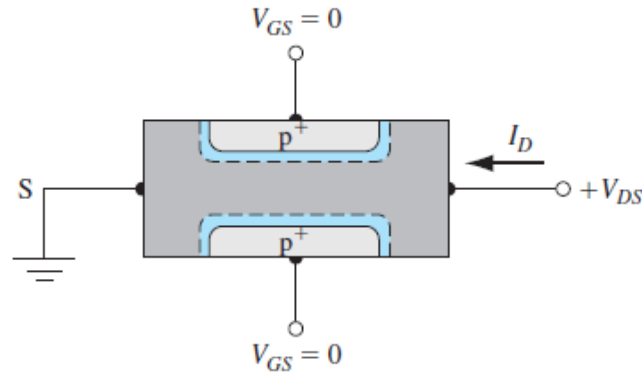
Charakterystyki przejściowe



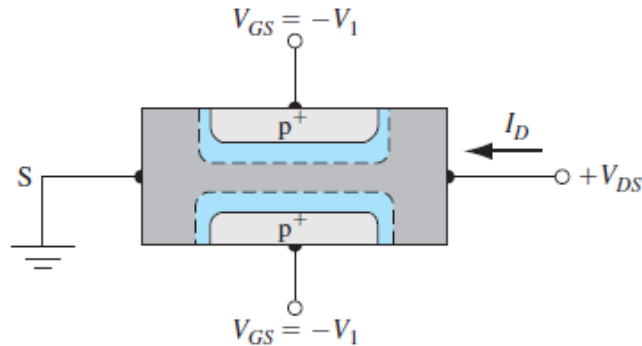
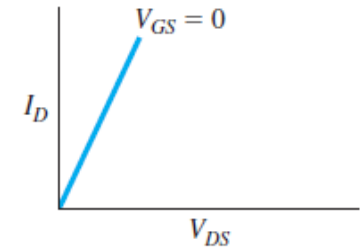
n-channel JFET



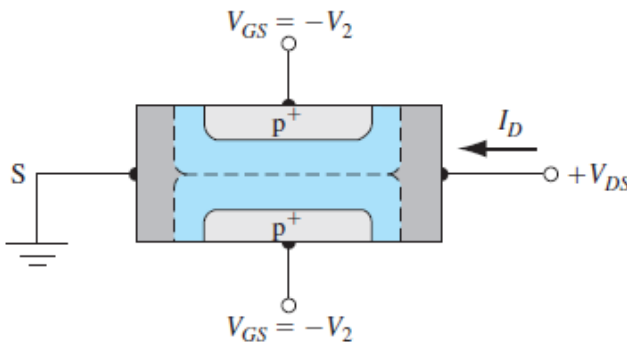
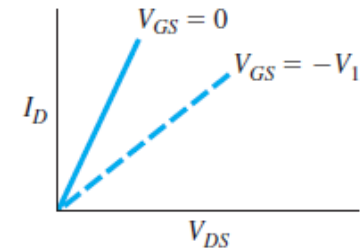
p-channel JFET



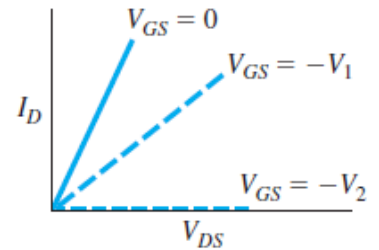
(a)



(b)

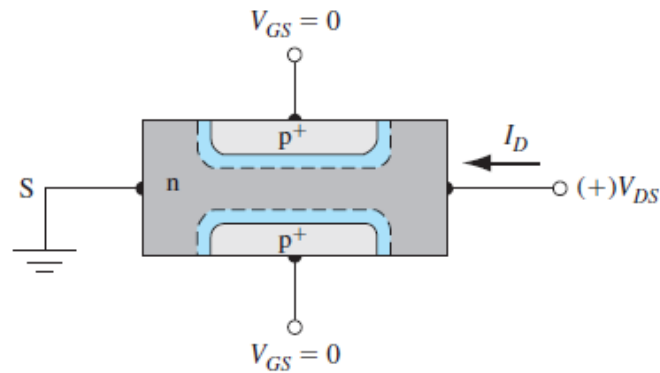


(c)

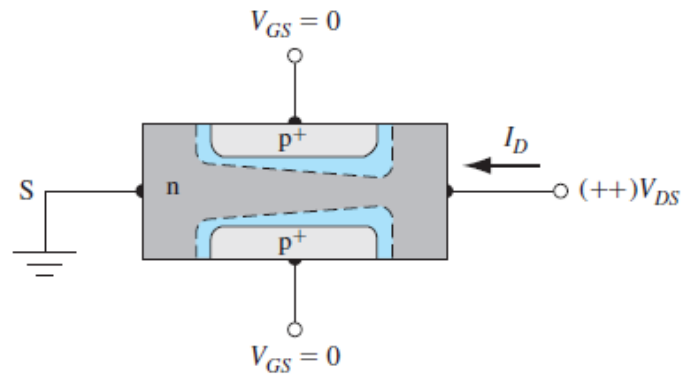
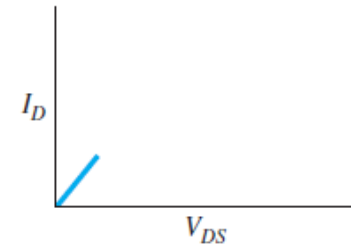


Tranzystor polowy – złączowy JFET

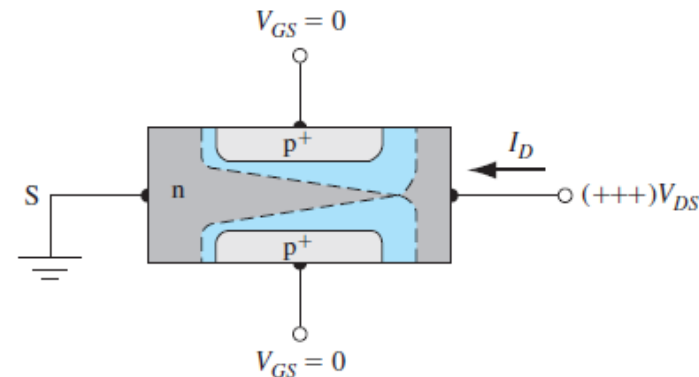
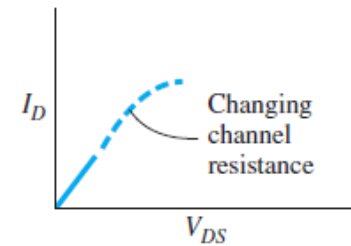
Charakterystyki
wyjściowe



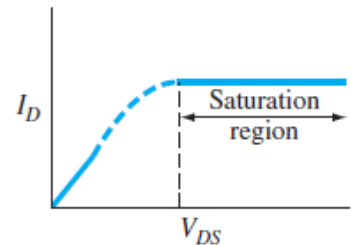
(a)



(b)

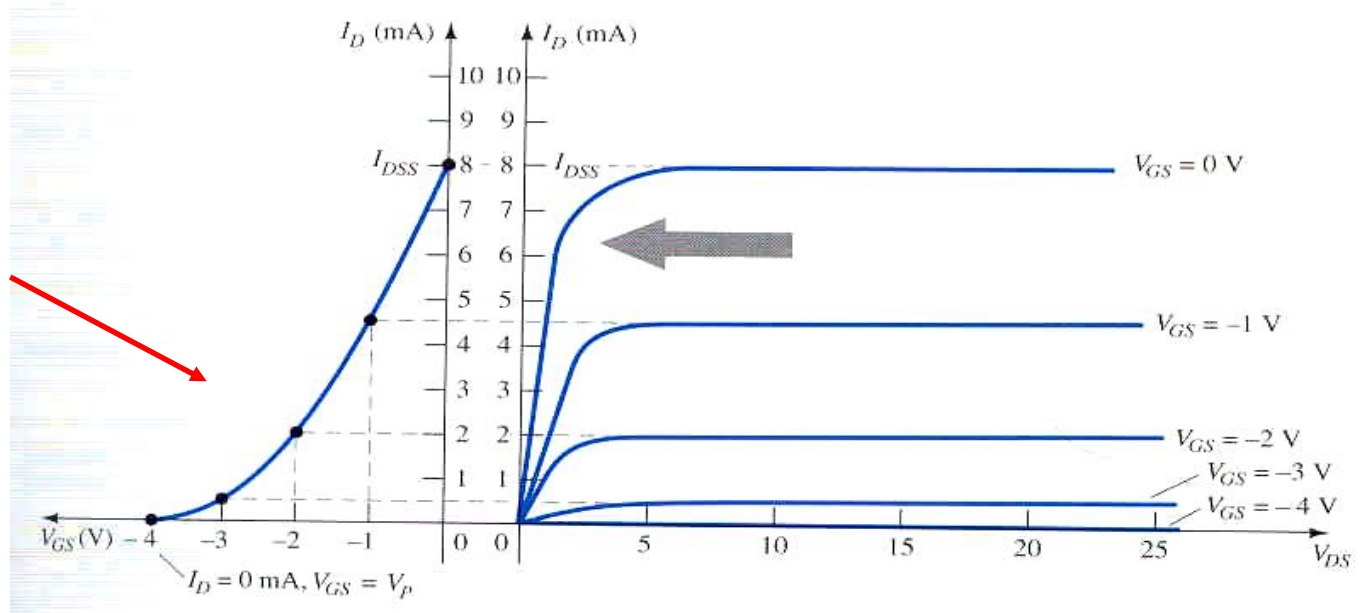


(c)



Obszary pracy

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$



Charakterystyka przejściowa

Charakterystyka wyjściowa

-obszar odcięcia: Tranzystor jest wyłączony. Nie ma przepływu prądu ($I_D = 0$) przez kanał. Dzieje się to gdy napięcie źródło - bramka spełnia warunek : $V_{GS} > V_P$

-obszar aktywny, lub nasycenia: Tranzystor jest włączony. Prąd drenu jest kontrolowany przez V_{GS} , niezależny od V_{DS} . W tym obszarze tranzystor może pracować jako wzmacniacz:

-obszar omowy: tranzystor jest włączony ale pracuje jak rezystor o oporności kontrolowanej napięciem. Dzieje się to wówczas, gdy napięcie V_{DS} jest mniejsze niż w obszarze aktywnym. Prąd drenu jest proporcjonalny do napięcia V_{DS} i jest kontrolowany przez napięcie bramki V_{GS} .