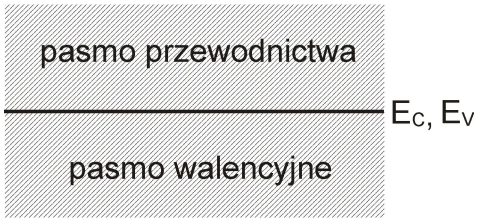
Budowa pasmowa ciał stałych

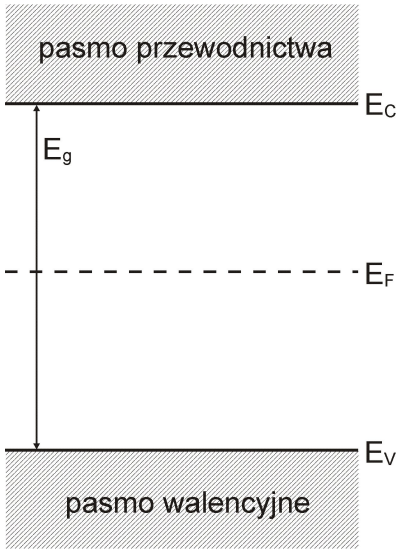
Podział ciał stałych pod względem właściwości elektrycznych

- przewodniki (przewodzą prąd)
- izolatory (nie przewodzą prądu)
- półprzewodniki (przewodzą lub nie przewodzą prądu)

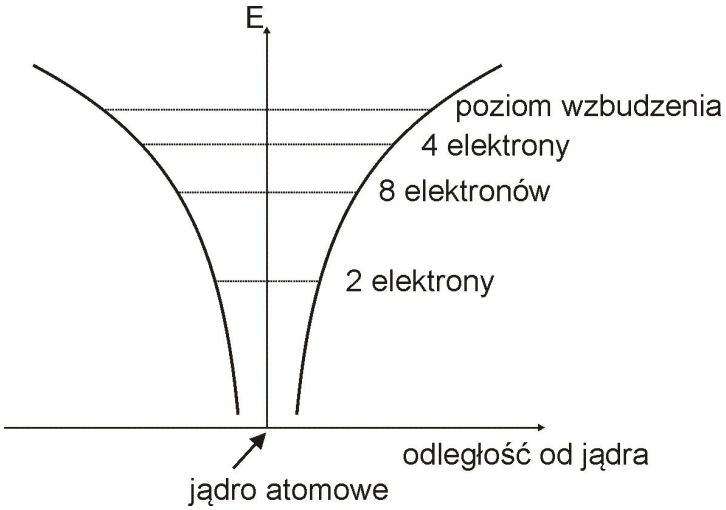
Struktura pasmowa ciał stałych

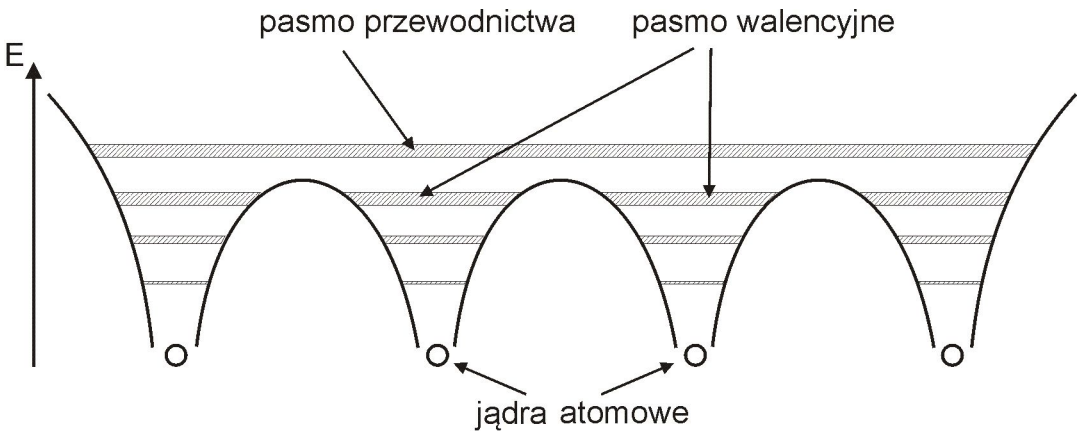


Metal



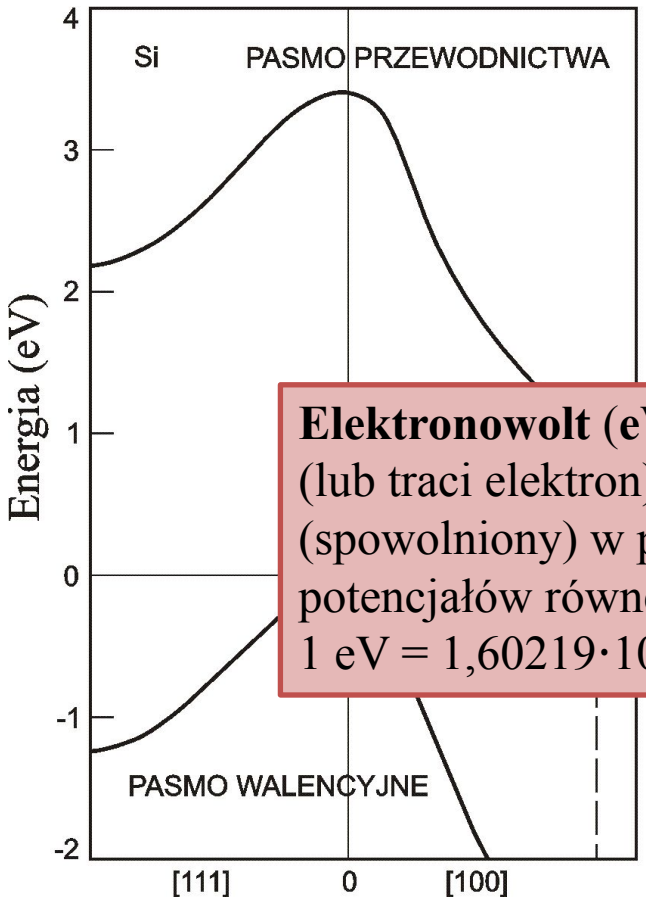
Półprzewodnik samoistny / izolator

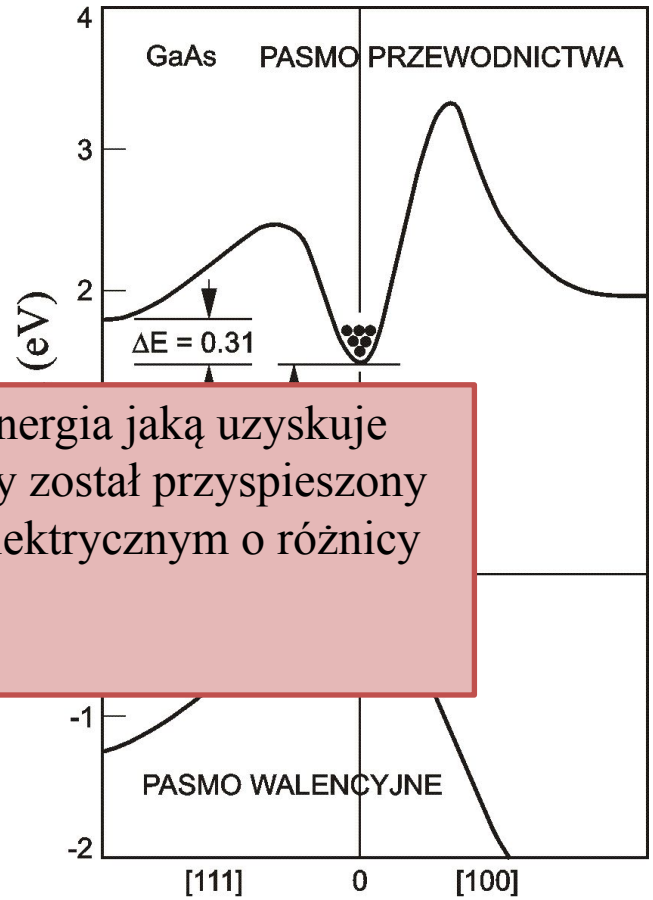




Energia potencjalna elektronów w atomie i krysztale krzemu

Rodzaje przerwy energetycznej





Elektronowolt (eV) – energia jaką uzyskuje (lub traci elektron), który został przyspieszony (spowolniony) w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1V.
1 eV = $1{,}60219 \cdot 10^{-19}$ J

Krzem (Si)
przerwa energetyczna skośna
$E_g = 1{,}11$ eV

Arsenek galu (GaAs)
przerwa energetyczna prosta
$E_g = 1{,}43$ eV

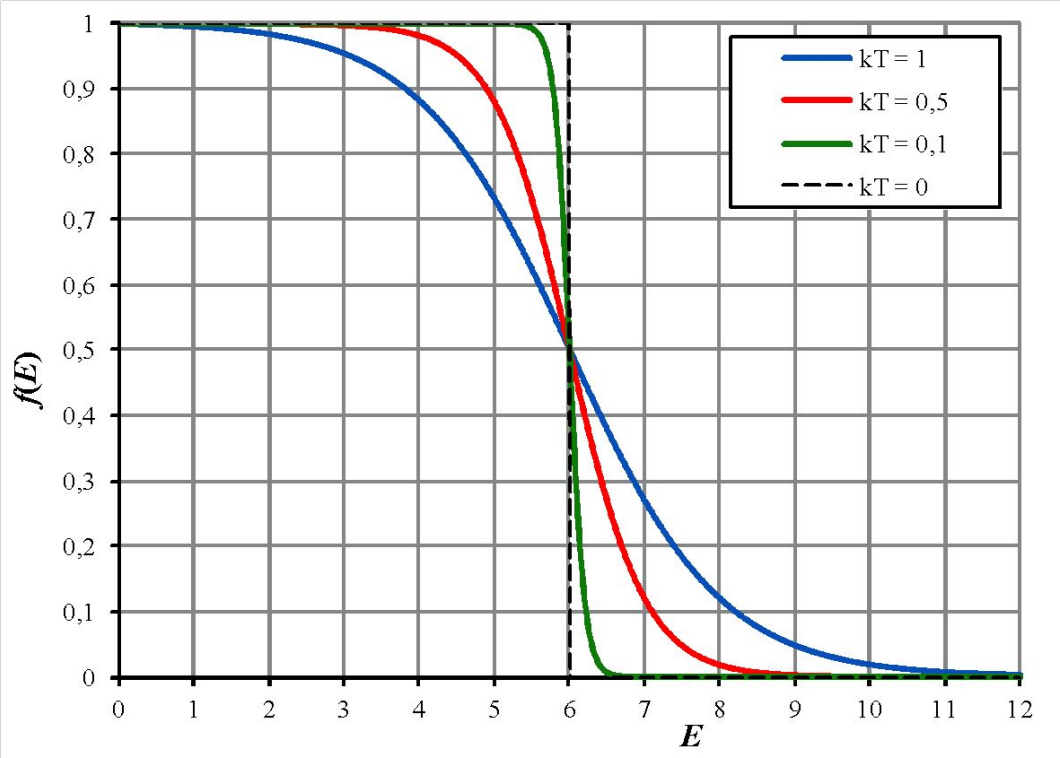
Rozkład Fermiego-Diraca

Prawdopodobieństwo wystąpienia elektronu w stanie o energii E w danej temperaturze.

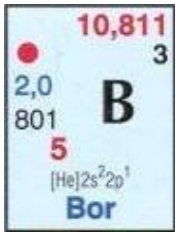
$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\left(E - E_F\right)/k_B T\right) + 1}$$

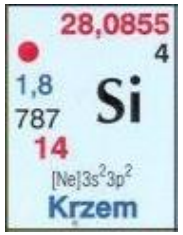
k_B – stała Boltzmana: $8{,}61 \cdot 10^{-5}$ [eV/K]

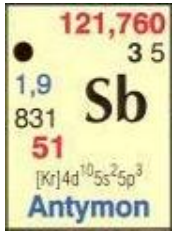
Prawdopodobieństwo wystąpienia elektronu w stanie o energii E dla różnych iloczynów $k_B T$.



Domieszkowanie półprzewodników





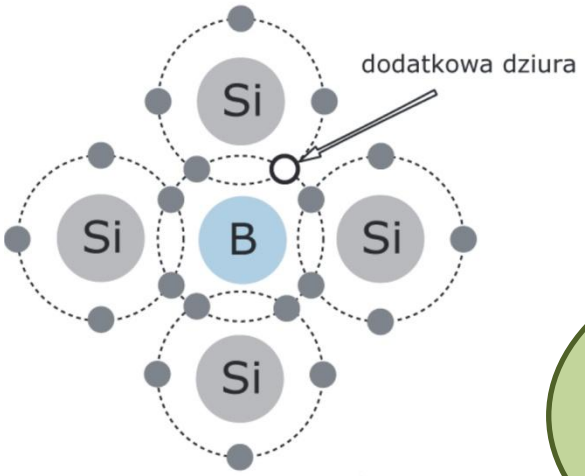


Borium
g: 13
o: 2
z. p.: 2, 3

Silicium
g: 14
o: 3
z. p.: 2, 8, 4

Stibium
g: 15
o: 5
z. p.: 2, 8, 18, 18, 5

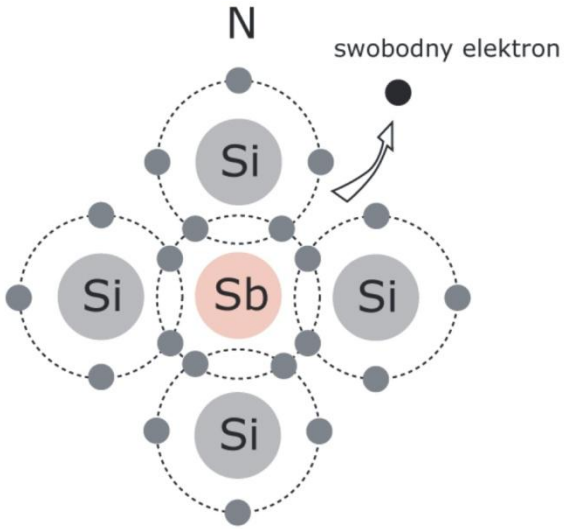
P



Półprzewodnik typu P
(domieszkowany akceptorowo)

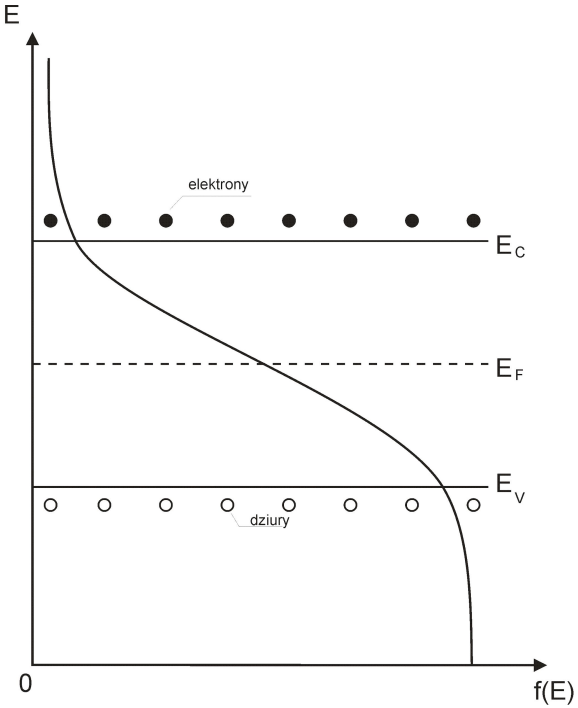
Wystarczy tylko
1 atom domieszki
na 10^7 atomów pp
domieszkowanego !!!

N

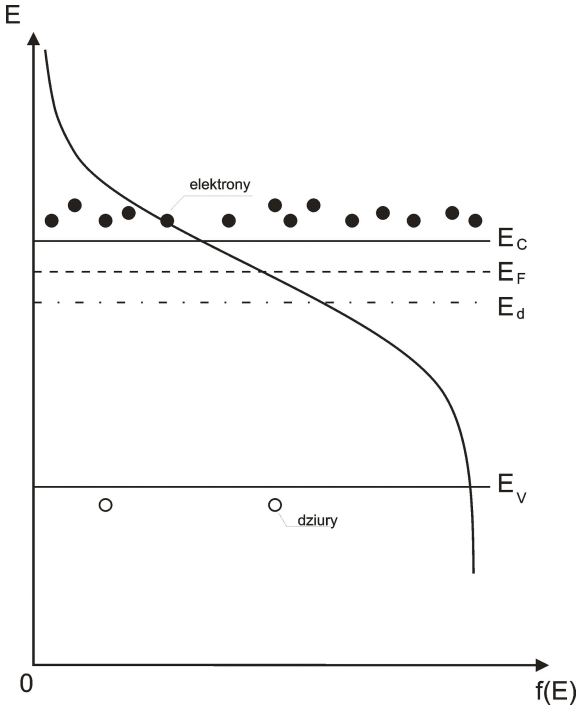


Półprzewodnik typu N
(domieszkowany donorowo)

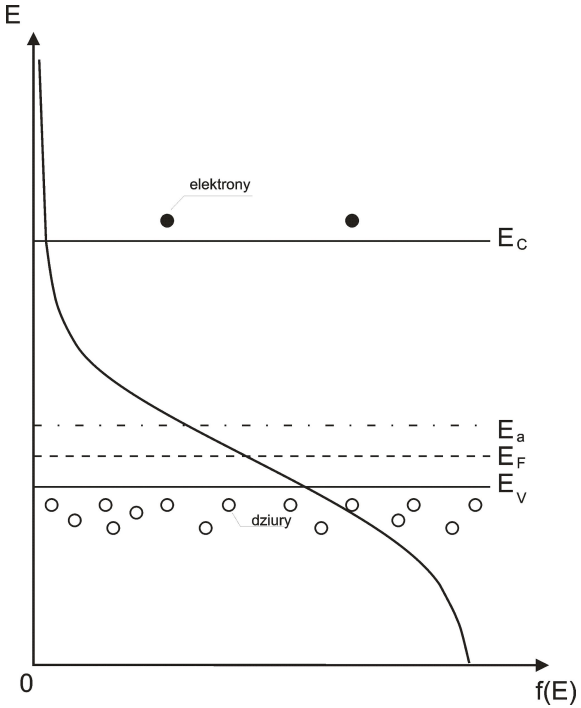
Budowa pasmowa półprzewodników



Półprzewodnik **samoistny** (bez domieszek)



Półprzewodnik **typu N**



Półprzewodnik **typu P**

Właściwości elektryczne metali / półprzewodników / izolatorów

- rezystywność (opór elektryczny właściwy) $\boldsymbol{\rho}$ [Ωm], dla metali $\rho < 10^{-6}$ Ωm, natomiast dla izolatorów $\rho > 10^{8}$ Ωm (w temperaturze pokojowej)

$$\rho = \frac{m}{n^2 e^2 \tau}$$

- temperaturowy współczynnik oporu $\boldsymbol{\alpha} = (1/\rho)(d\rho/dT)$ [K^{-1}],
- koncentracja nośników ładunku $\boldsymbol{n}$, liczba nośników ładunku przypadająca na jednostkę objętości [m^{-3}],
- wzrost temperatury o 1°C powoduje wzrost rezystancji metali o około 0,3-0,6%, natomiast w typowo domieszkowanych półprzewodnikach spadek rezystancji o 5-10%,
- przewodnictwo półprzewodników silnie zależy od nawet niewielkiej ilości zanieczyszczeń w krysztale

Złącze metal-półprzewodnik

Możliwe kombinacje złączy *metal-półprzewodnik*:

1) półprzewodnik typu n oraz $\Phi_m < \Phi_s$
2) półprzewodnik typu n oraz $\Phi_m > \Phi_s$
3) półprzewodnik typu p oraz $\Phi_m < \Phi_s$
4) półprzewodnik typu p oraz $\Phi_m > \Phi_s$

w przypadku:

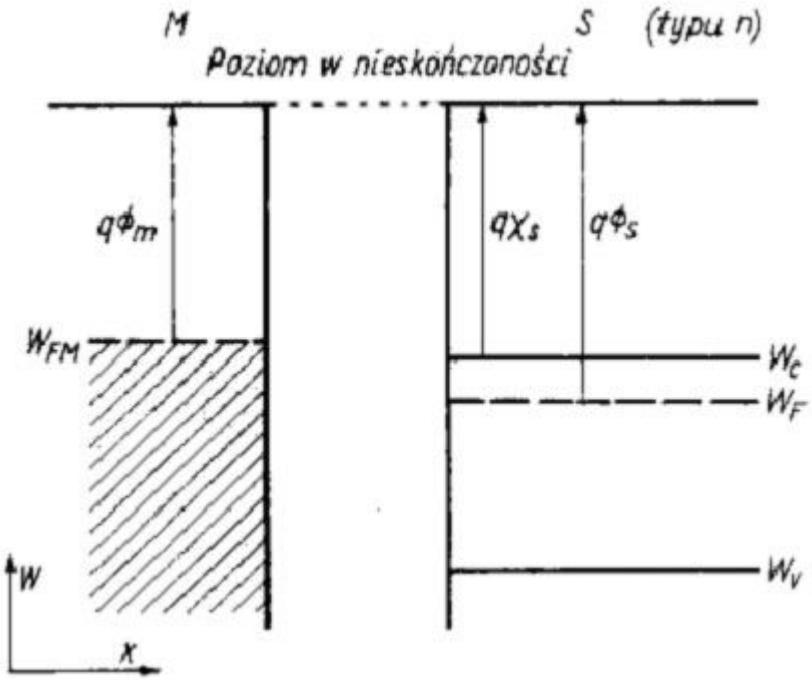
1 i 4 – złącze ma charakter omowy,

2 i 3 – ma charakter prostujący.

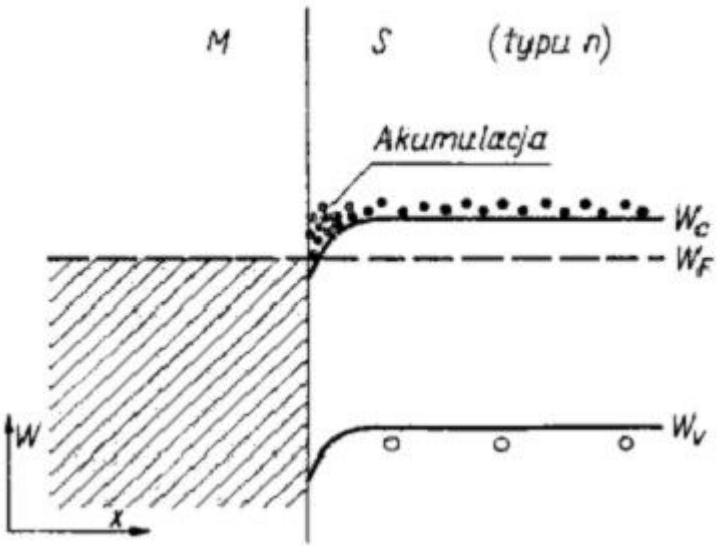
Praca wyjścia elektronu, Φ - praca jaką należy wykonać aby przenieść elektron z poziomu Fermiego do nieskończoności (minimalna energia kinetyczna elektronu niezbędna do opuszczenia przez niego powierzchni ciała).

Złącze metal-półprzewodnik (n)

praca wyjścia z metalu < praca wyjścia z półprzewodnika



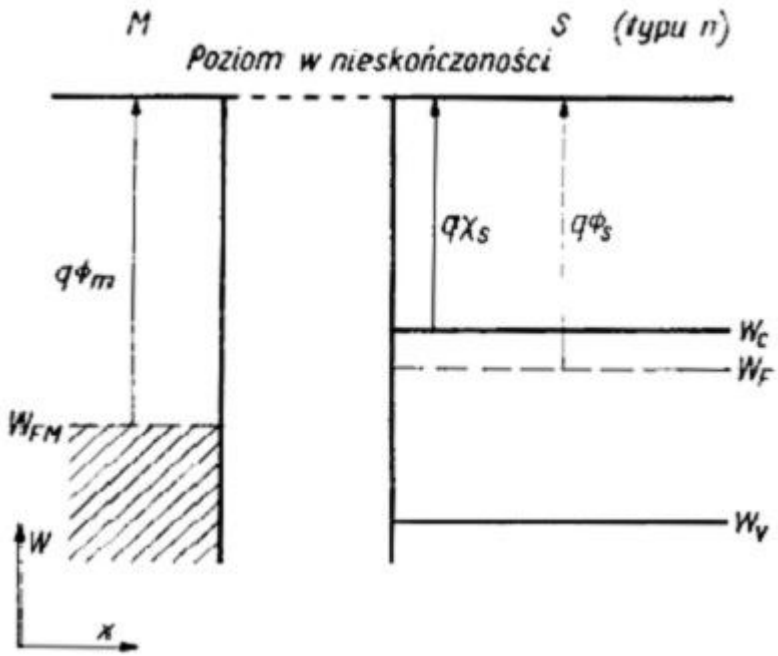
przed złączeniem



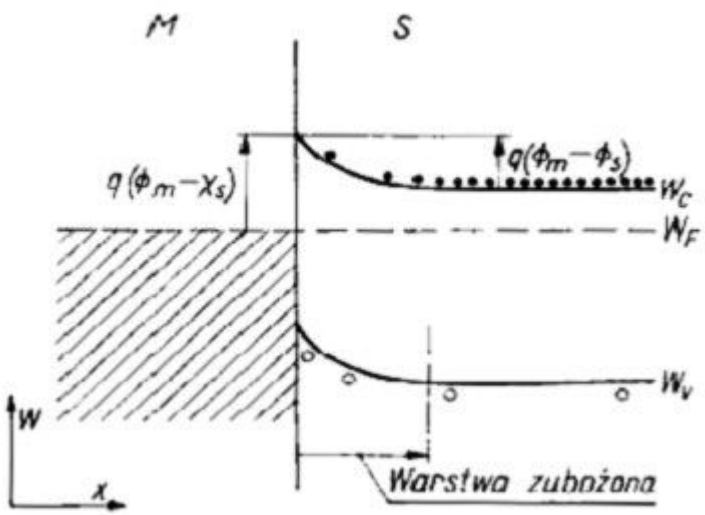
po złączeniu

Złącze metal-półprzewodnik (n)

praca wyjścia z metalu > praca wyjścia z półprzewodnika



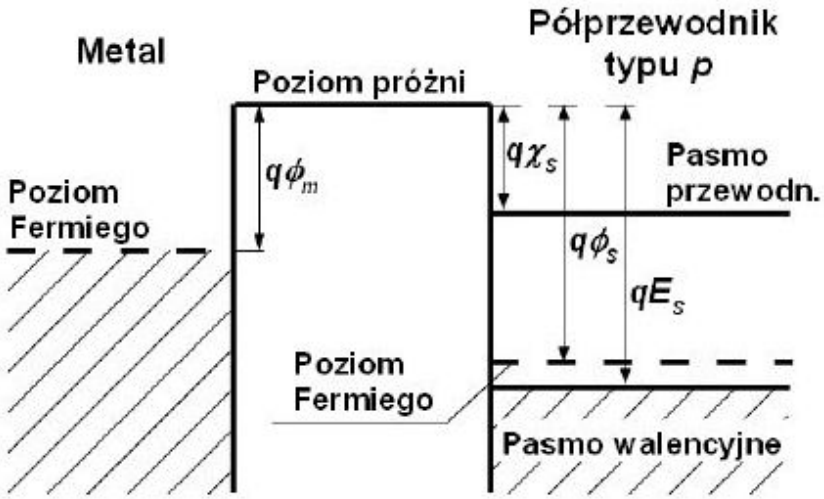
przed złączeniem

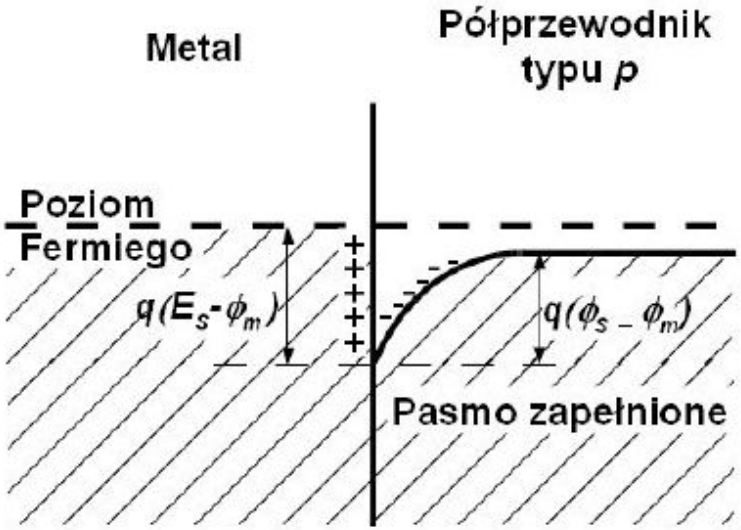


po złączeniu

Złącze metal-półprzewodnik (p)

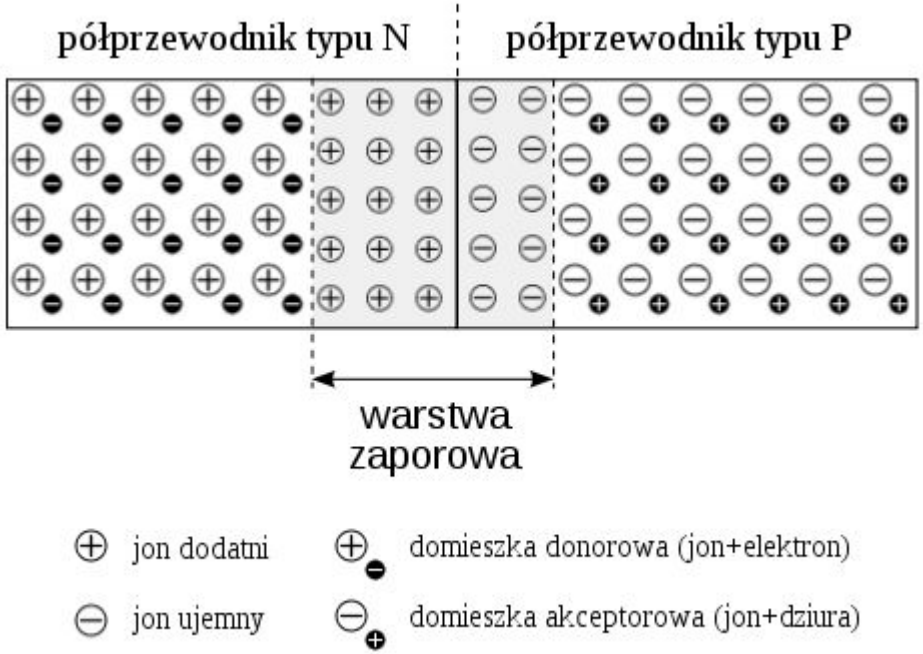
praca wyjścia z metalu < praca wyjścia z półprzewodnika





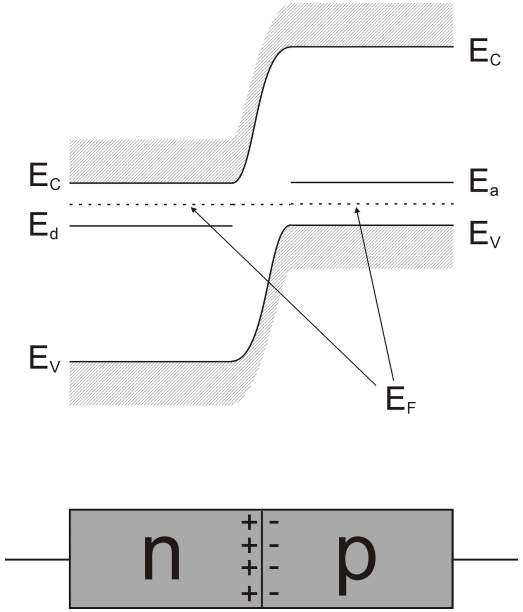
przed złączeniem **po złączeniu**

Złącze p-n (dioda)

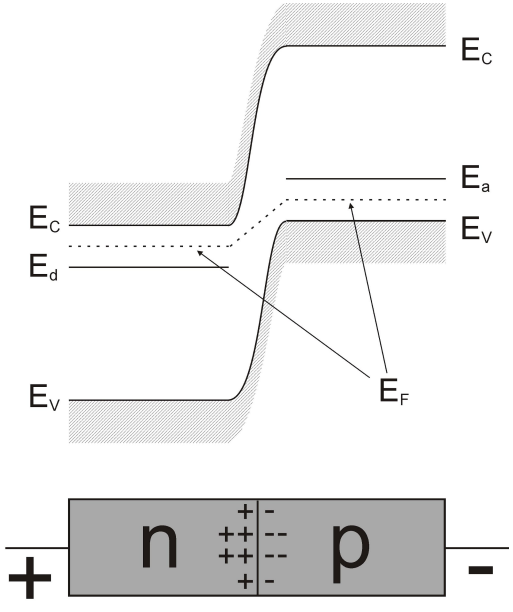


Niespolaryzowane
złącze p-n

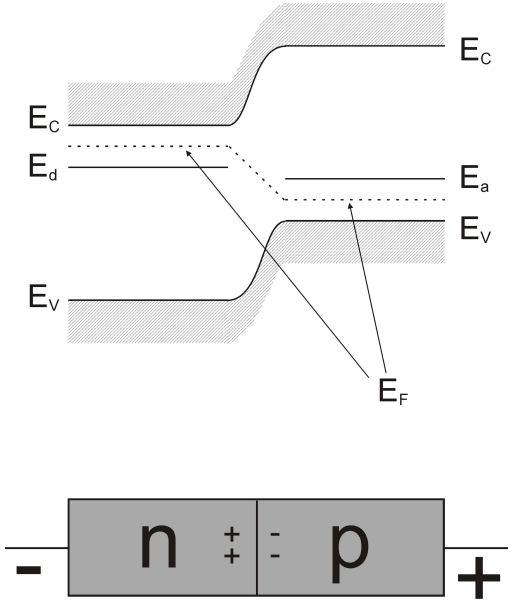
Złącze p-n (dioda)



Złącze bez polaryzacji

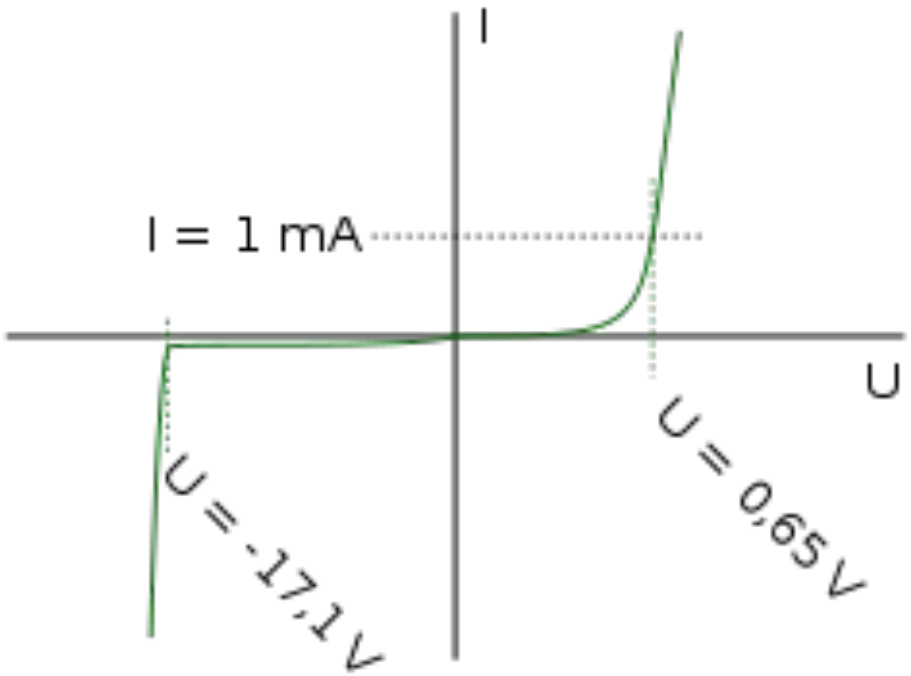


Złącze spolaryzowane
w kierunku zaporowym



Złącze spolaryzowane
w kierunku przewodzenia

Rodzaje diod i typowa charakterystyka *I*(*U*) diody

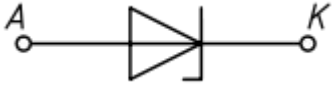


Charakterystyka prądowo-napięciowa diody

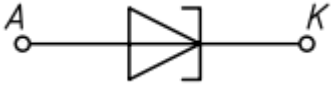
Rodzaje diod:

Dioda LED

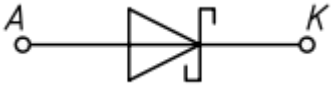
Dioda Zenera



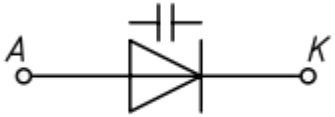
Dioda tunelowa



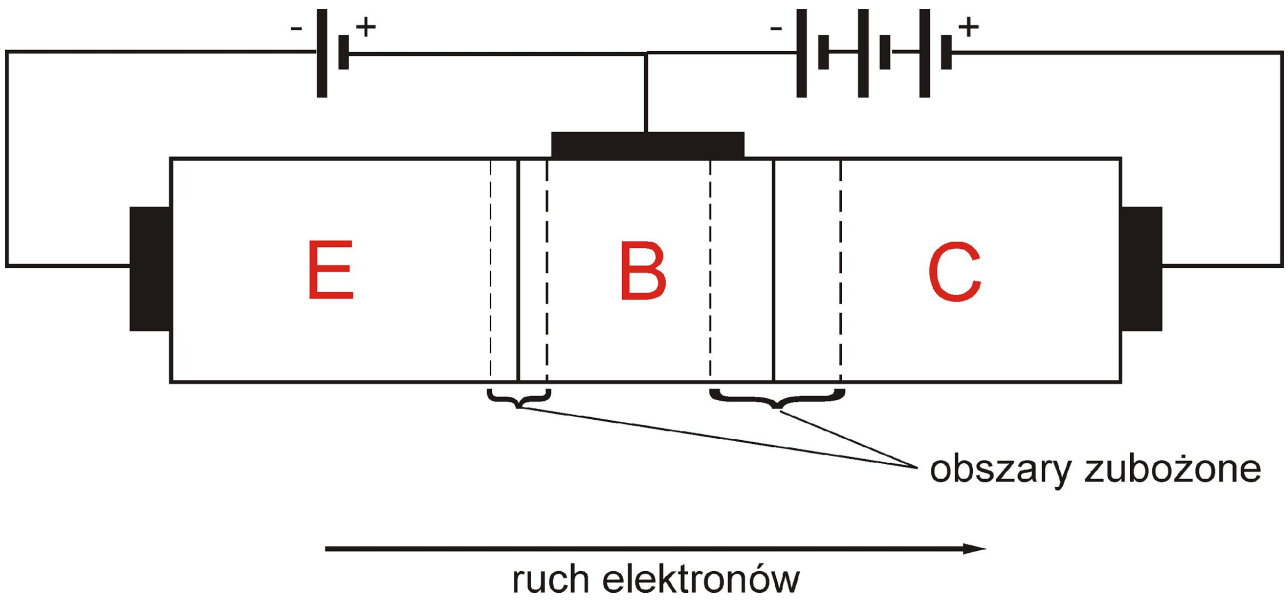
Dioda Schottky'ego



Dioda pojemnościowa



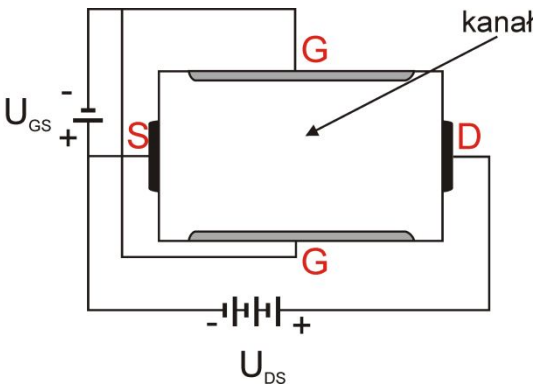
Tranzystor bipolarny

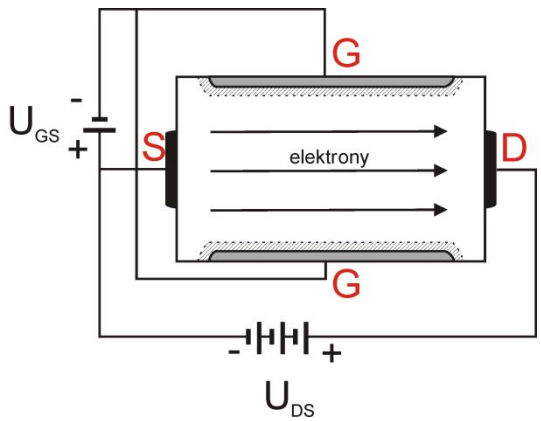


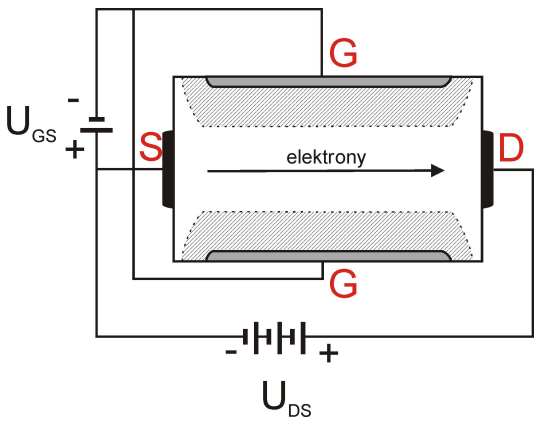
E – emiter
B – baza
C – kolektor

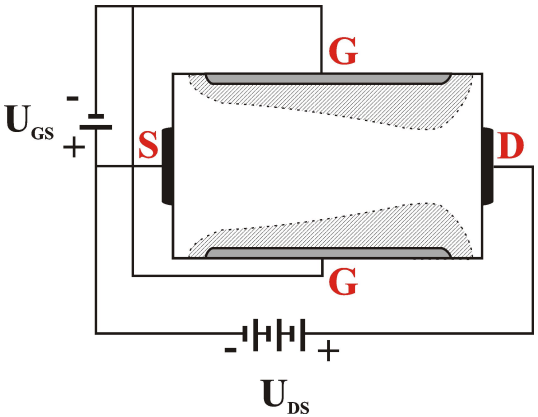
Tranzystor polowy z kanałem typu *n*

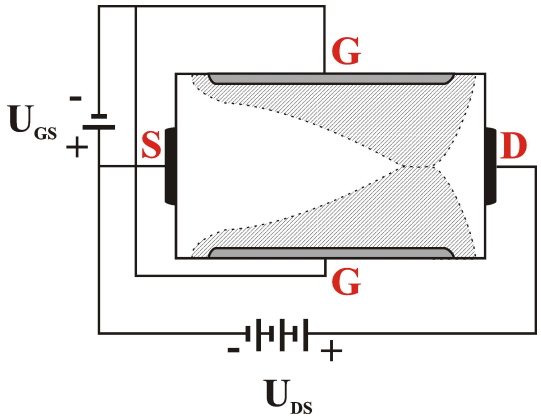
S – źródło
G – bramka
D – dren

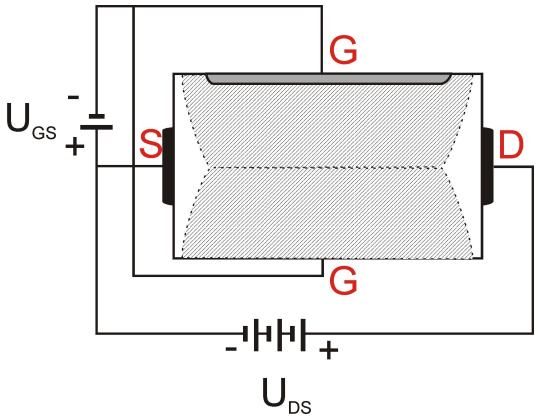










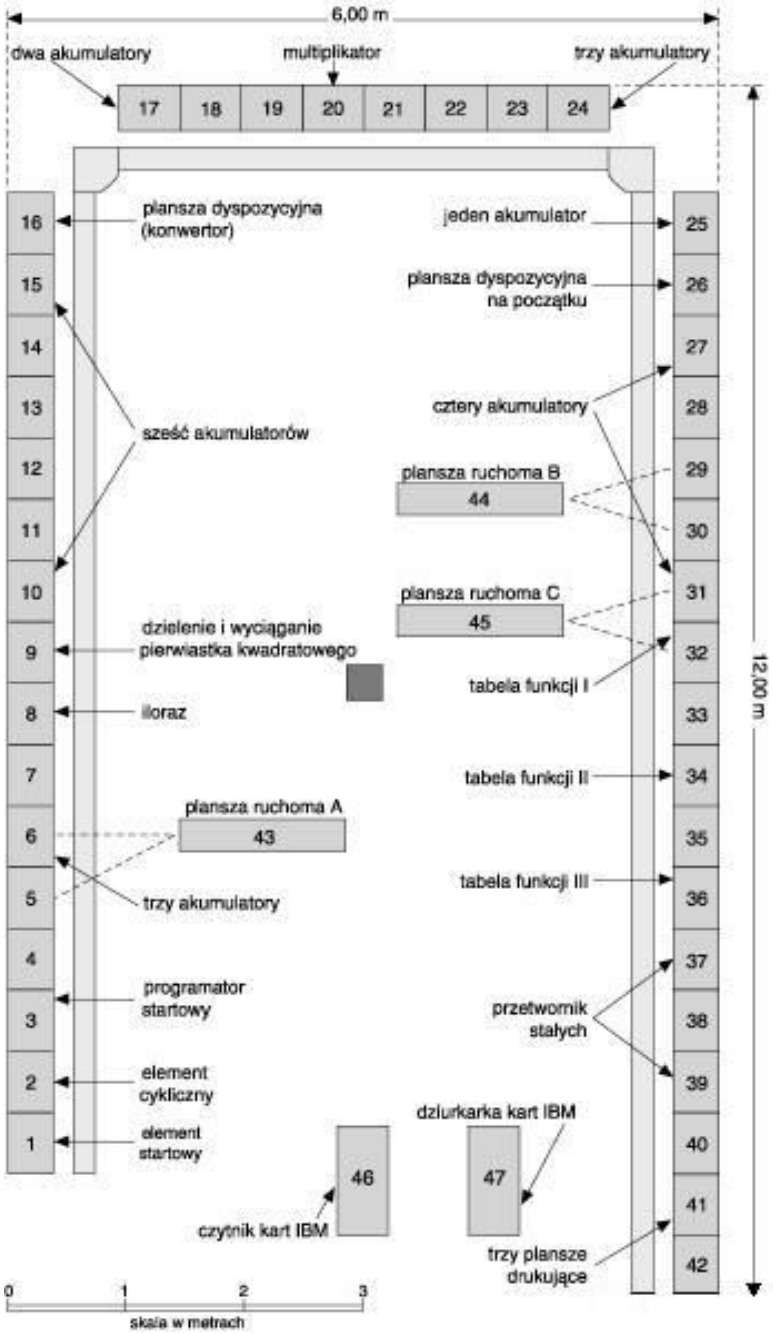


Eniac pierwszy komputer

- Pierwsze obliczenia listopad 1945
- 15.02.1946 – poinformowano opinię publiczną o jego istnieniu
- 30.06.1946 – koniec testów, ENIAC wszedł w posiadanie armii USA

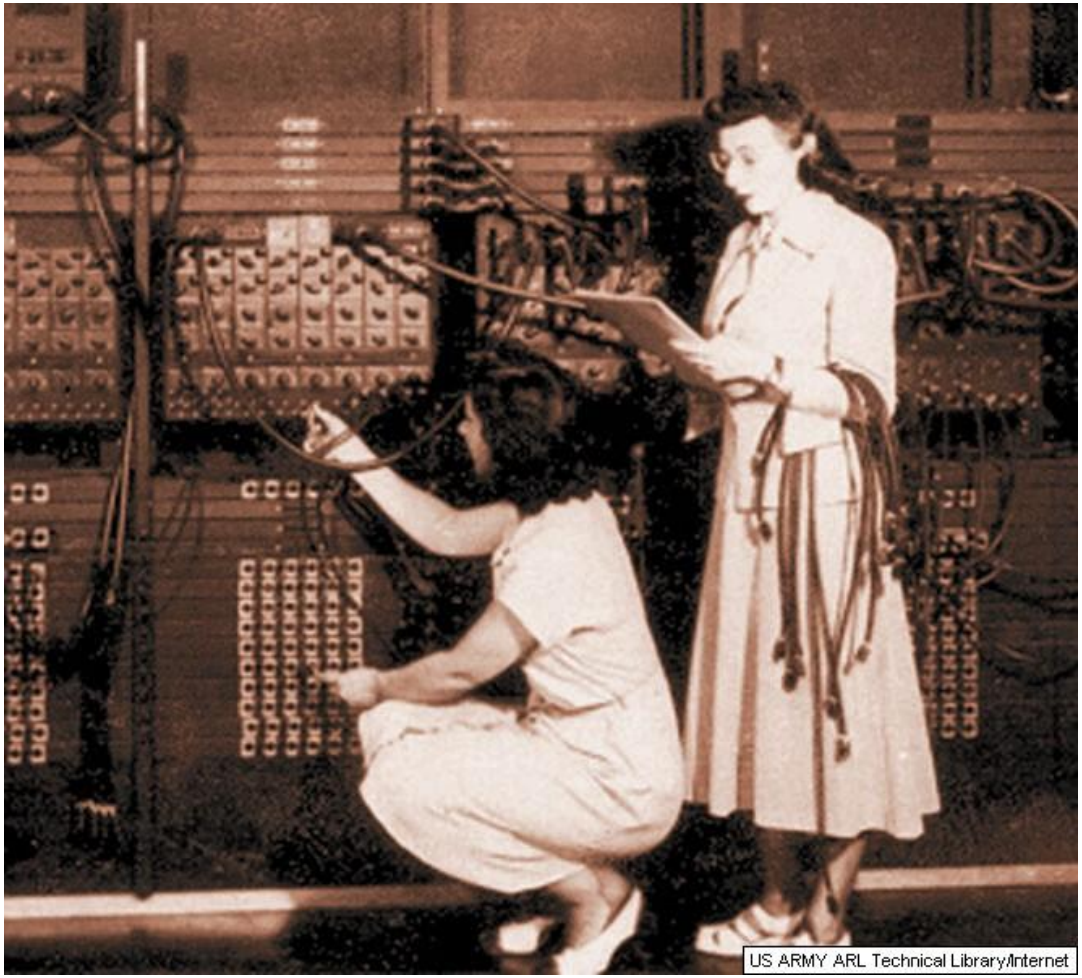
Dane techniczne

- Masa 30 ton
- 42 czarne blaszane szafy o wymiarach: 3x0,6x0,3m
- składał się z: 18800 lamp w 16 rodzajach, 6000 komutatorów, 1500 przekaźników i 500 000 oporników
- Zużycie mocy 150kW
- Wentylacja: dwa silniki Chryslera o łącznej mocy 24 KM
- Po przekroczeniu 48 stopni Celsjusza w którymkolwiek module, termostaty wyłączał cały system



Przeznaczenie

- Pracował w systemie dziesiętnym na liczbach 10-cyfrowych (w razie konieczności 20-cyfrowych) dodatnich jak i ujemnych
- Używany do rozwiązywania równań różniczkowych potrzebnych przy tworzeniu tablic balistycznych



- Średni czas bezawaryjnej pracy: pół godziny !!!
- Ostatecznie wyłączony 02.10.1955 i dzięki sprzeciwom obsługujących go uczonych nie został całkowicie ze złomowany
- Największy fragment znajduje się w Smithsonian Institute w Waszyngtonie