



**POLITECHNIKA  
BYDGOSKA**

Wydział Telekomunikacji,  
Informatyki i Elektrotechniki

# Podstawy Elektroniki

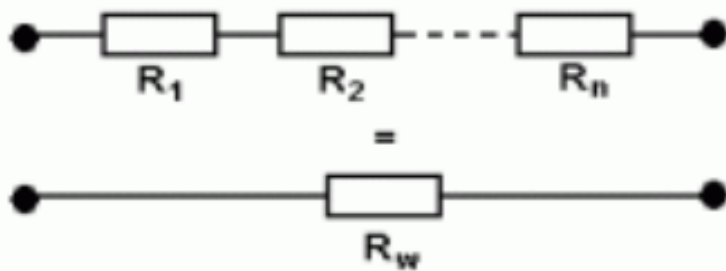
## Wykład 2

dr inż. Monika Kosowska



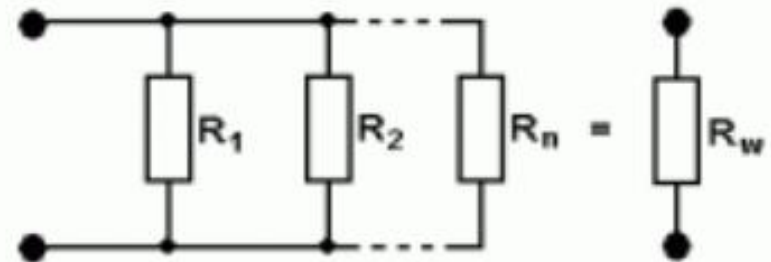
## Przekształcenia obwodów

- łączenie rezystorów: szeregowo i równoległe



$$R_w = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

Ten sam prąd



$$\frac{1}{R_w} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

To samo napięcie

## Rezystor

- Łączenie rezystorów: szeregowo

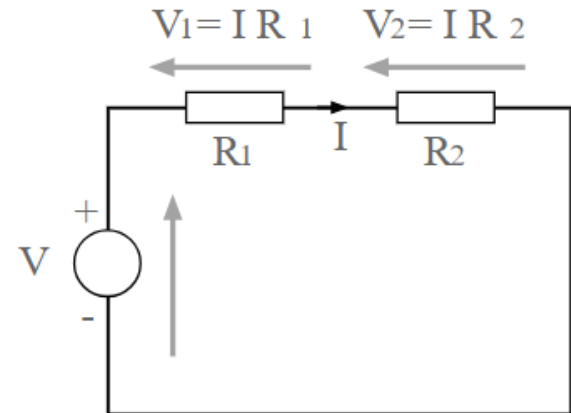
$$V_1 = IR_1 \text{ \& } V_2 = IR_2$$

$$V - V_1 - V_2 = 0 \Rightarrow V = V_1 + V_2$$

$$V = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

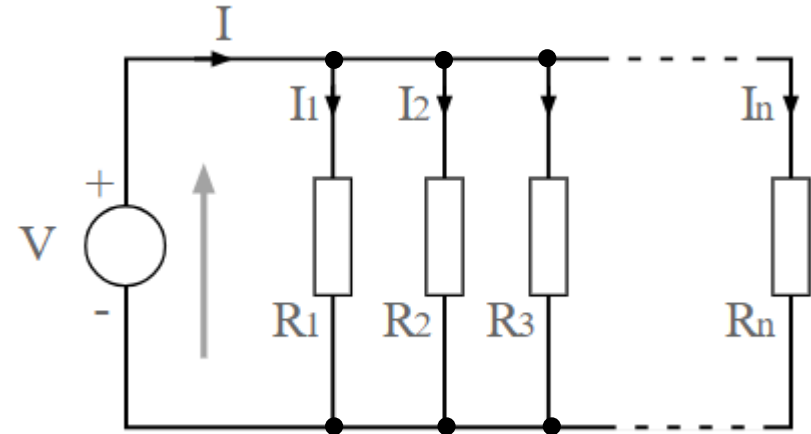
$$\frac{V}{I} = R_1 + R_2$$

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2$$



## Rezystor

- Łączenie rezystorów: równoległe



$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots I_n$$

$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} + \dots \frac{V}{R_n}$$

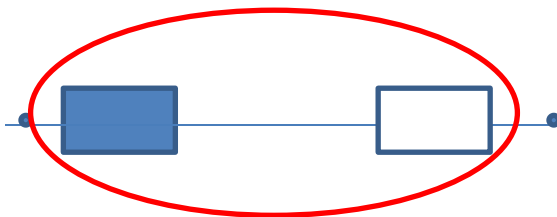
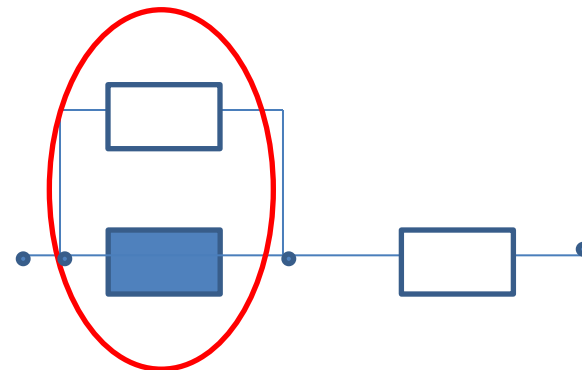
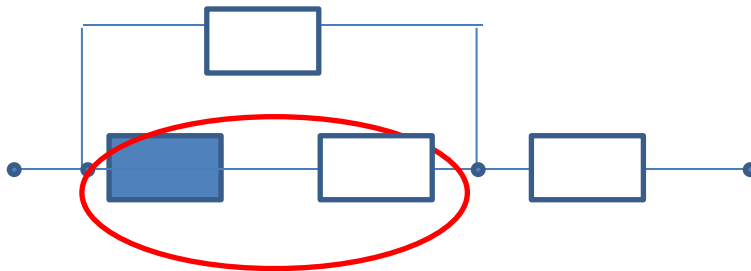
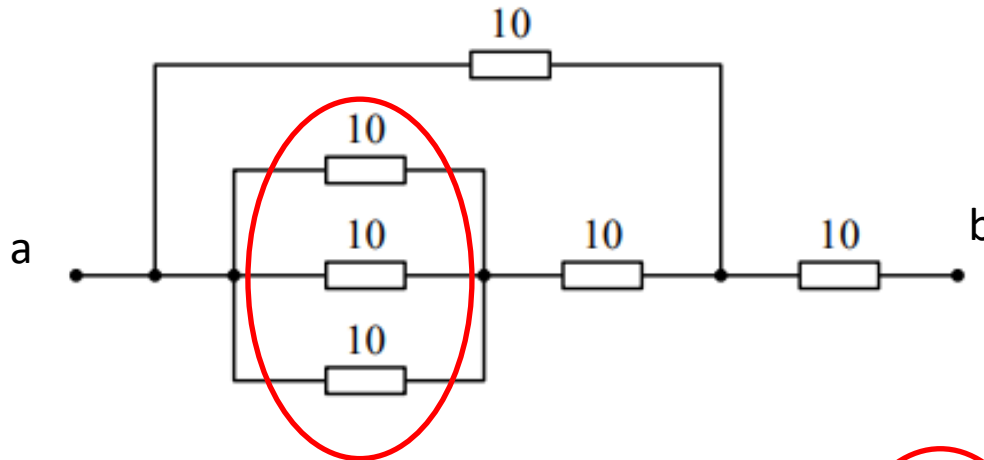
$$\frac{I}{V} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n}$$

$$1/1/R_{\text{total}} \Rightarrow R_{\text{total}}$$

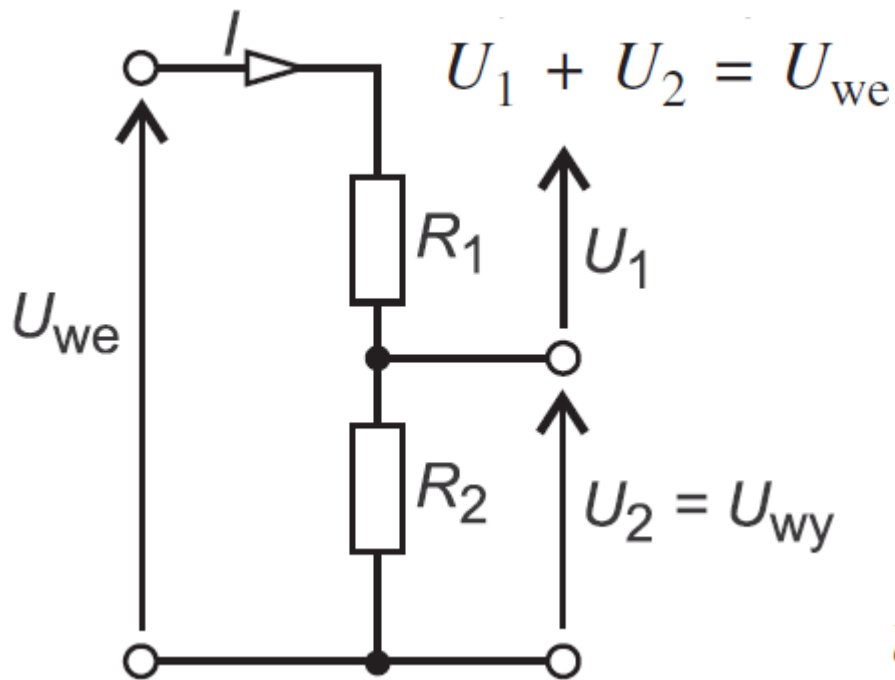
## Przykład

Obliczyć rezystancję zastępczą między zaciskami a i b:



## Dzielnik napięcia

- ☆ układ dzielący napięcie doprowadzone do jego wejścia na dwie części
- ☆ napięcie wyjściowe jest częścią napięcia wejściowego
- ☆ rezystory połączone szeregowo

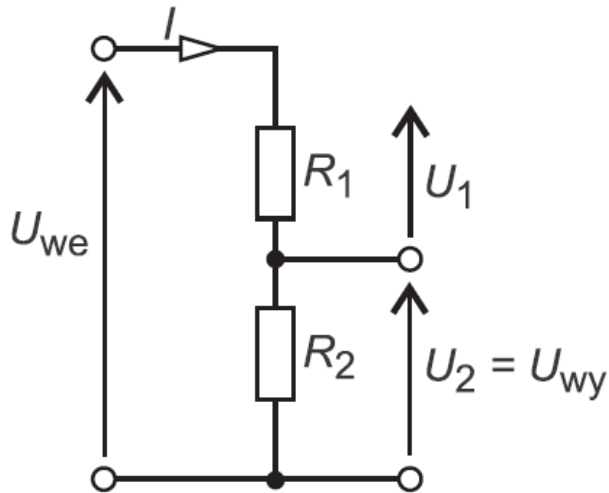


$$I = \frac{U_{we}}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_1 = U_{we} \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad U_2 = U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

## Dzielnik napięcia



$$U_{we} = 24 \text{ V}, R_1 = 4 \text{ } \Omega, R_2 = 2 \text{ } \Omega$$

$$I = \frac{U_{we}}{R_1 + R_2} = \frac{24}{4 + 2} = 4 \text{ A}$$

$$U_1 = U_{we} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 24 \frac{4}{4 + 2} = \frac{96}{6} = 16 \text{ V}$$

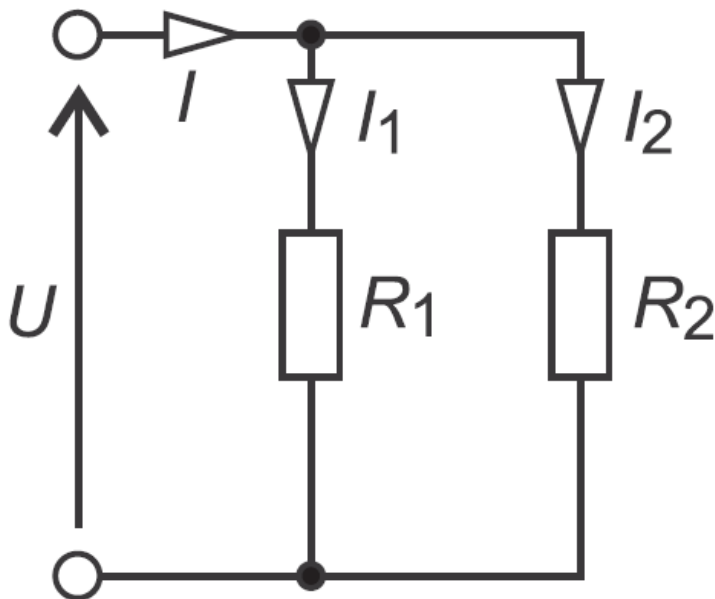
$$U_2 = U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 24 \frac{2}{4 + 2} = \frac{48}{6} = 8 \text{ V}$$

$$G = 1/R \text{ [s]}$$

Konduktacja(przewodność)

## Dzielnik prądu

- ☆ prąd dopływający do układu jest dzielony na prądy gałęziowe o wartościach wprost proporcjonalnych do wartości konduktancji gałęziowych
- ☆ rezystory łączone równolegle



$$I_1 = U \cdot G_1 \quad I_2 = U \cdot G_2$$

$$I = U(G_1 + G_2) \rightarrow U = \frac{I}{G_1 + G_2}$$

$$I_1 = I \cdot \frac{G_1}{G_1 + G_2}$$

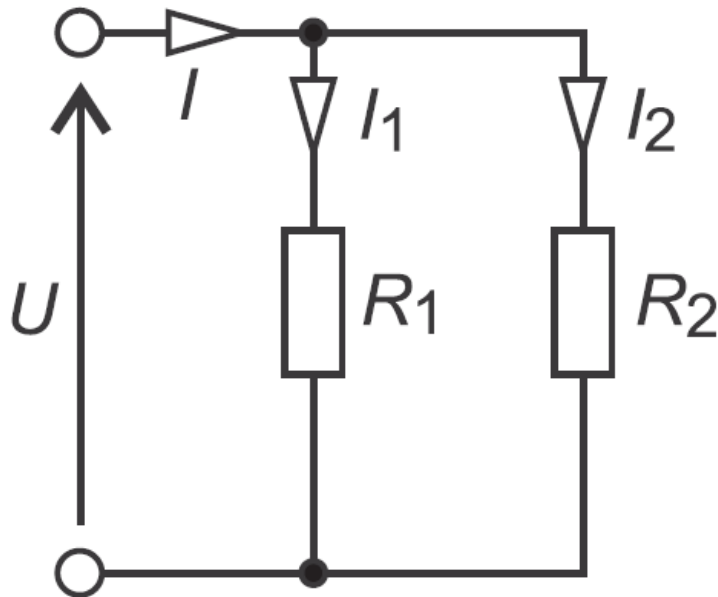
$$I_2 = I \cdot \frac{G_2}{G_1 + G_2}$$

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



## Dzielnik prądu

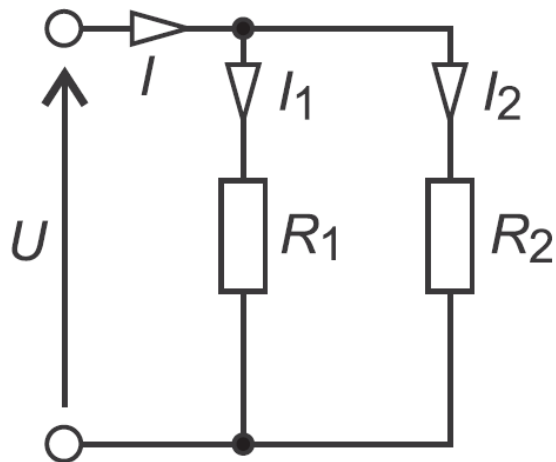


$$I = 12 \text{ A}, R_1 = 3 \Omega, R_2 = 6 \Omega$$

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{6}{3 + 6} = 8 \text{ A}$$

$$I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{3}{3 + 6} = 4 \text{ A}$$

## Dzielnik prądu

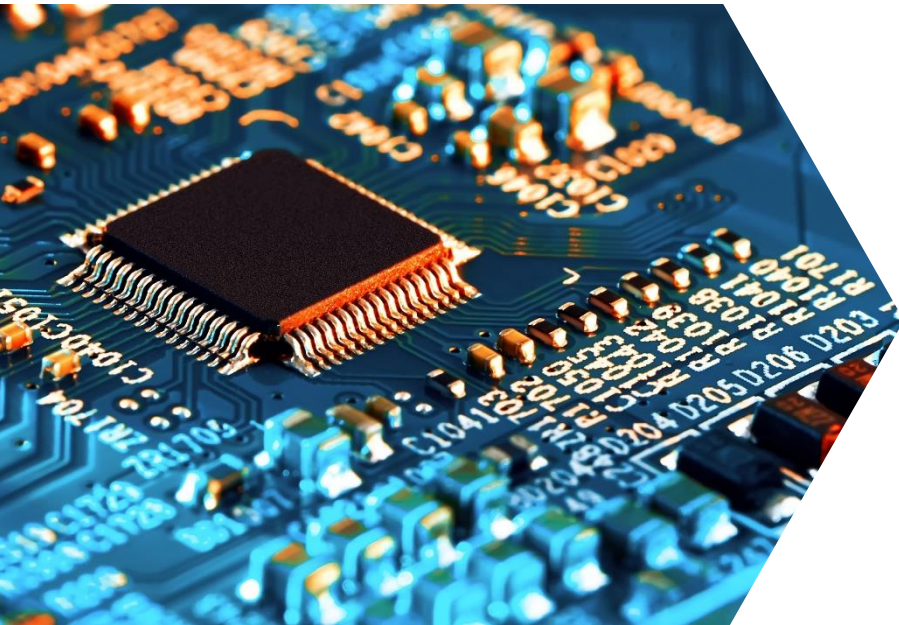


$$I = 12 \text{ A}, R_1 = 3 \Omega, R_2 = 6 \Omega$$

$$G_1 = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{3} \text{ S} \quad G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6} \text{ S}$$

$$I_1 = \frac{I}{G_1 + G_2} \cdot G_1 = \frac{12}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{3} = \frac{12}{\frac{2}{6} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{3} = \frac{12}{\frac{3}{6}} \cdot \frac{1}{3} = 8 \text{ A}$$

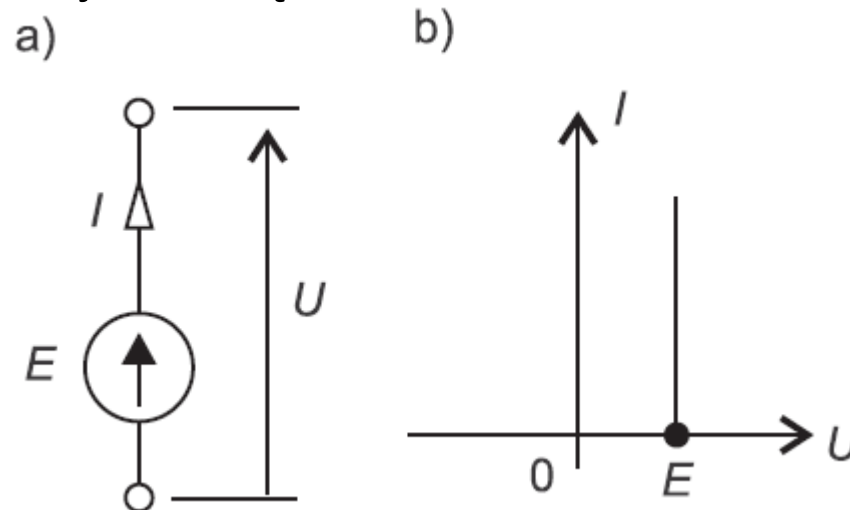
$$I_2 = \frac{I}{G_1 + G_2} \cdot G_2 = \frac{12}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{6} = \frac{12}{\frac{2}{6} + \frac{1}{6}} \cdot \frac{1}{6} = \frac{12}{\frac{3}{6}} \cdot \frac{1}{6} = 4 \text{ A}$$



# Podstawowe elementy

## Idealne źródło napięcia

- dwukońcówkowy element aktywny wytwarzający napięcie niezależne od prądu płynącego w tym źródle
- charakterystyczny parametr – napięcie źródłowe  $E$
- zerowa rezystancja wewnętrzna

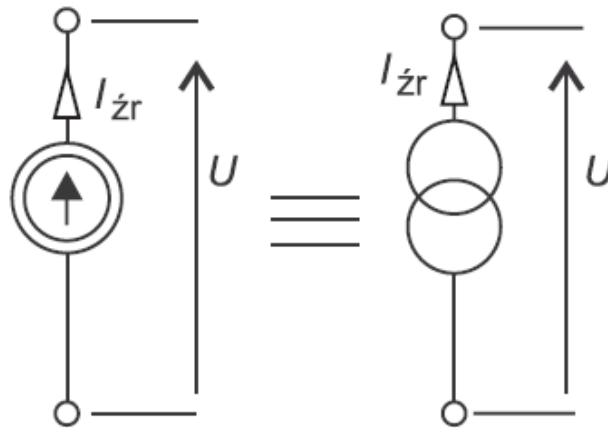


- a) symbol graficzny
- b) charakterystyka prądowo - napięciowa

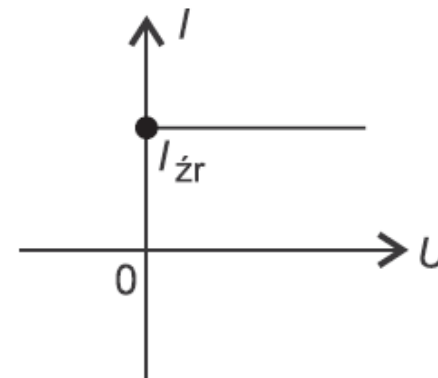
## Idealne źródło prądu

- dwukońcówkowy element aktywny wytwarzający prąd niezależne od napięcia na jego zaciskach
- charakterystyczny parametr – prąd źródłowy  $I_{\dot{z}r}$
- nieskończenie wielka rezystancja wewnętrzna

a)



b)



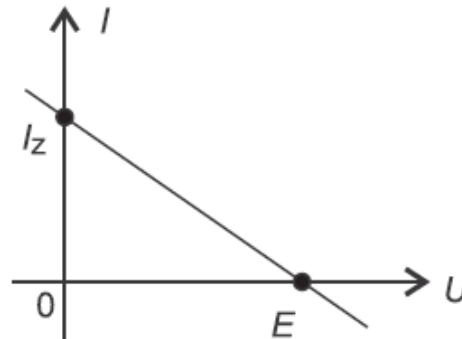
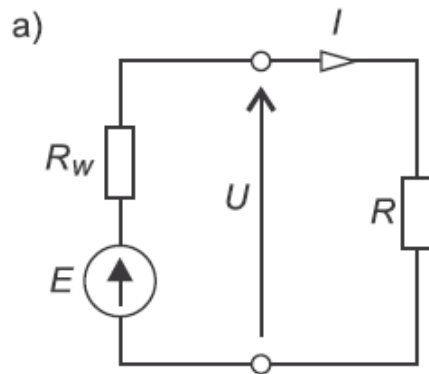
a) symbole graficzne

b) charakterystyka prądowo - napięciowa

Rzeczywiste źródła energii mają zawsze niezerową rezystancję wewnętrzną w przypadku źródeł napięciowych oraz skończoną rezystancję wewnętrzną w przypadku źródeł prądowych.

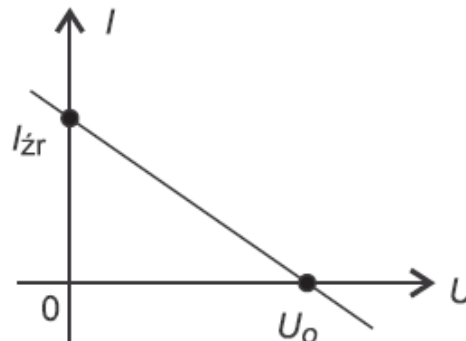
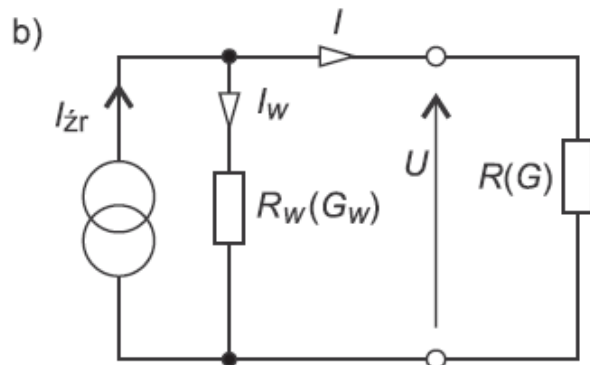
## Elementy rzeczywiste

Schematy zastępcze rzeczywistych źródeł: a) napięciowego b) prądowego



$$U = E - I R_w$$

$$I_{\max} = I_z = \frac{E}{R_w}$$



$$I = I_{zr} - I_w = I_{zr} - \frac{U}{R_w}$$

$$U_{\max} = U_0 = I_{zr} R_w$$

## Rezystor

- dwukońcówkowy element oporowy
- jego podstawowym parametrem jest rezystancja [ $\Omega$ ]

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

- spadek napięcia jest wprost proporcjonalny do prądu płynącego przez opornik

$$U = R \cdot I$$

- oznaczenie na schematach:

a)



b)



# Rezystor

## ■ Kod paskowy

Kolor	Wartość		Mnożnik	Tolerancja ± %	Współczynnik temp. ± ppm/K
	1 pasek	2 pasek	3 pasek	4 pasek	ostatni pasek
brak	–	–	–	20	–
srebrny	–	–	$10^{-2}$ (0,01 Ω)	10	–
złoty	–	–	$10^{-1}$ (0,1 Ω)	5	–
czarny	–	0	$10^0$ (1 Ω)	–	250
brązowy	1	1	$10^1$ (10 Ω)	1	100
czerwony	2	2	$10^2$ (100 Ω)	2	50
pomarańczowy	3	3	$10^3$ (1 kΩ)	–	15
żółty	4	4	$10^4$ (10 kΩ)	–	25
zielony	5	5	$10^5$ (100 kΩ)	0,5	20
niebieski	6	6	$10^6$ (1 MΩ)	0,25	10
fioletowy	7	7	$10^7$ (10 MΩ)	0,1	5
szary	8	8	$10^8$ (100 MΩ)	0,05	2
biały	9	9	$10^9$ (1 GΩ)	–	–



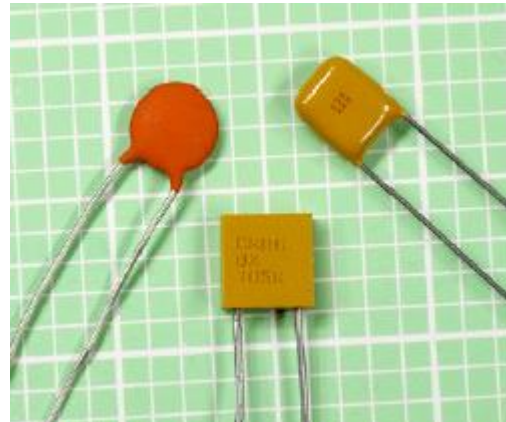
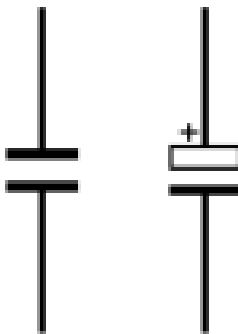


## Rezystor - parametry

- rezystancja nominalna – rezystancja podawana przez producenta na obudowie opornika, wyrażona w omach
- tolerancja – klasa dokładności
- moc znamionowa – moc jaką opornik może przez dłuższy czas wydzielać w postaci ciepła bez wpływu na jego parametry
- napięcie graniczne – maksymalne napięcie jakie można przyłożyć do opornika bez obawy o jego zniszczenie
- temperaturowy współczynnik rezystancji – współczynnik określający zmiany rezystancji pod wpływem zmian temperatury opornika

## Kondensator

- element elektroniczny, zbudowany z dwóch przewodników (okładek) rozdzielonych dielektrykiem
- doprowadzenie napięcia do okładek kondensatora powoduje zgromadzenie się na nich ładunku elektrycznego
- jego podstawowym parametrem jest pojemność  $C$
- wyrażana w faradach [F]
- oznaczenie na schematach:



$10^{-6}$	mikro	$\mu$
$10^{-9}$	nano	n
$10^{-12}$	piko	p
$10^{-15}$	femto	f

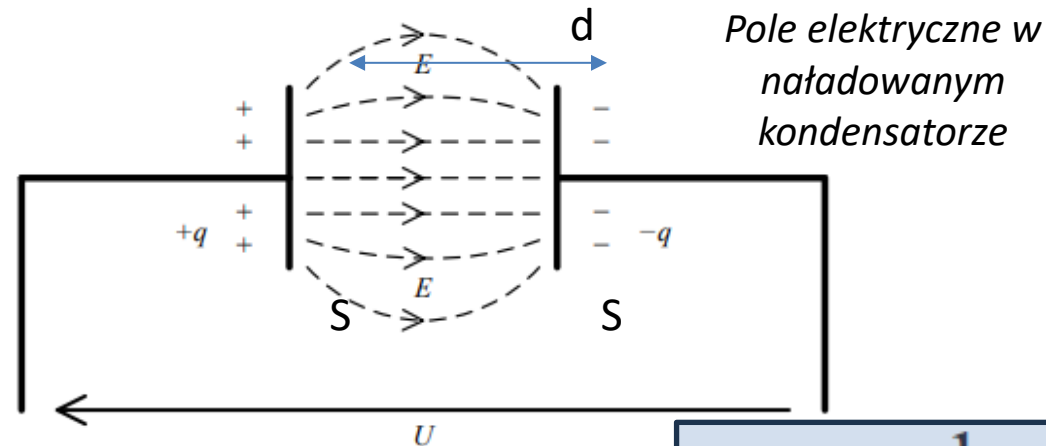
## Kondensator

- Pojemność  $C$  kondensatora definiuje się jako iloraz ładunku  $Q$  zgromadzonego na kondensatorze do napięcia  $U$  panującego pomiędzy jego okładkami

$$C = \frac{Q}{U}$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{d} = \frac{\epsilon S}{d},$$

gdzie:  $\epsilon_0$  – bezwzględna przenikalność elektryczna próżni ( $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m),  
 $\epsilon_r$  – względna przenikalność dielektryka (np. dla powietrza  $\epsilon_r = 1$ , dla papieru  $\epsilon_r = 3,5$ ),  
 $\epsilon$  – przenikalność dielektryczna,  
 $S$  – pole powierzchni okładek,  
 $d$  – odległość pomiędzy okładkami.



$$i = C \frac{du}{dt}$$

- Dla prądu stałego kondensator jest w stanie ustalonym rozwarciem (przerwą), choć napięcie na nim może być różne od zera.

## Kondensator - parametry

- pojemność znamionowa
- tolerancja
- napięcie znamionowe
- Temperaturowy współczynnik pojemności

pF	nF	μF
1	0,001	0,000001
10	0,01	0,00001
100	0,1	0,0001
1000	1	0,001
10 000	10	0,01
100 000	100	0,1
1 000 000	1000	1

## Kondensator

- odcinanie napięć stałych w obwodzie
- filtracja tętnień w układach zasilających
- pomiar czasu
- budowa obwodów oscylacyjnych z cewką (obwody rezonansowe)
- budowa filtrów dla określonych częstotliwości

## Cewka

- dwukońcówkowy element bierny zdolny do gromadzenia energii w polu magnetycznym
- posiada uzwojenie utworzone z pewnej liczby zwojów przewodnika
- jej podstawowym parametrem jest indukcyjność
- oznaczenie na schematach:



## Cewka

- Ograniczając się do cewki liniowej, indukcyjność definiujemy jako stosunek strumienia magnetycznego  $\Psi$  skojarzonego z cewką do płynącego przez nią prądu  $I$ :

$$L = \frac{\Psi}{I} \quad \Psi = n \cdot \phi$$

- Napięcie samoindukcji

$$u = L \frac{di}{dt}$$

Napięcie jest proporcjonalne  
do szybkości zmian natężenia prądu

- Indukcyjność cewki

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r z^2 S}{l} = \frac{\mu z^2 S}{l}$$

gdzie:  $\mu_0$  – bezwzględna przenikalność magnetyczna próżni,

$\mu_r$  – względna przenikalność magnetyczna,

$\mu$  – przenikalność magnetyczna,

$z$  – liczba zwojów,

$S$  – przekrój poprzeczny cewki,

$l$  – długość korpusu cewki.

## Cewka - parametry

- Indukcyjność
- Dobroć
- Temperaturowy współczynnik indukcyjności
- Dopuszczalna wartość prądu
- Dopuszczalna wartość napięcia

nH	μH	mH
1	0,001	0,000001
10	0,01	0,00001
100	0,1	0,0001
1000	1	0,001
10 000	10	0,01
100 000	100	0,1
1 000 000	1000	1



**dla  $R$  prąd jest proporcjonalny do napięcia**

$$I_R = U_R \frac{1}{R}$$

**dla  $C$  prąd jest proporcjonalny do szybkości zmian napięcia**

$$I_C = C \frac{dU_C}{dt}$$

**dla  $L$  napięcie jest proporcjonalne do szybkości zmian prądu**

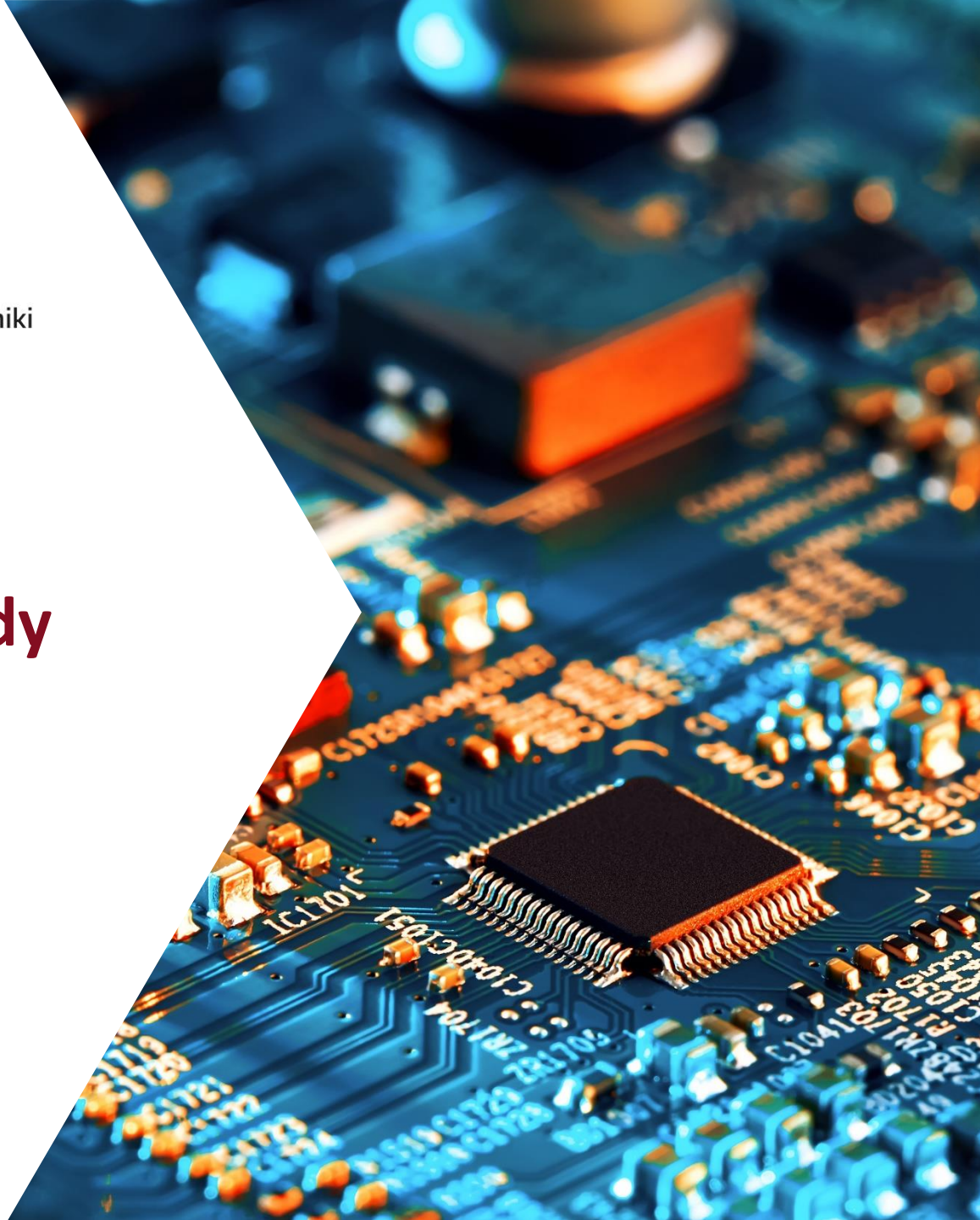
$$U_L = L \frac{dI_L}{dt}$$

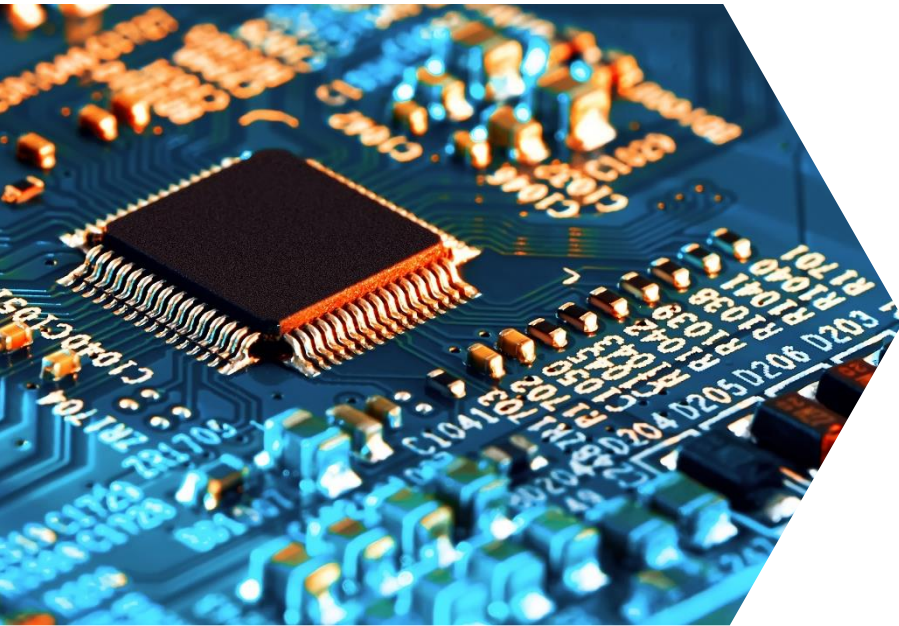


**POLITECHNIKA  
BYDGOSKA**

Wydział Telekomunikacji,  
Informatyki i Elektrotechniki

# Elementy i układy analogowe

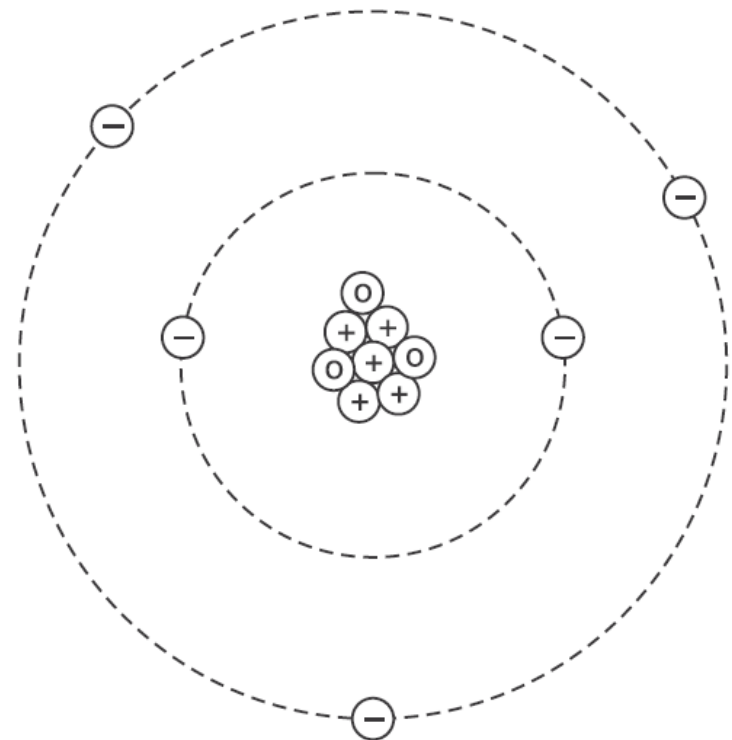




Półprzewodniki,  
złącze p-n, dioda  
półprzewodnikowa

## Ciała stałe

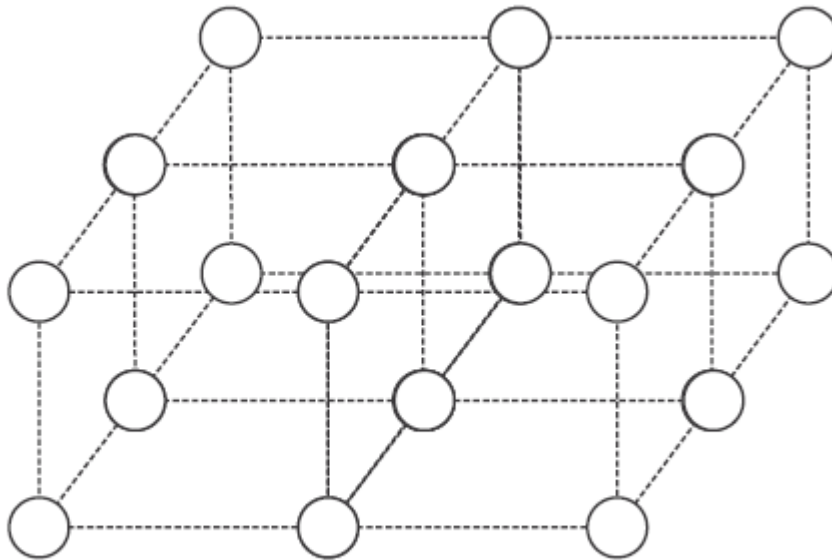
- Atomy
- Jonizacja
- Kwantyzacja
- Elektrony walencyjne



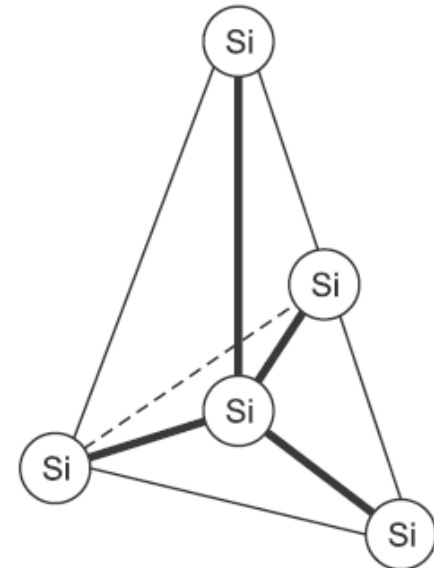
Struktura atomu – model Bohra

## Ciała stałe

- Trwały układ przestrzenny cząstek
- Sieć krystaliczna



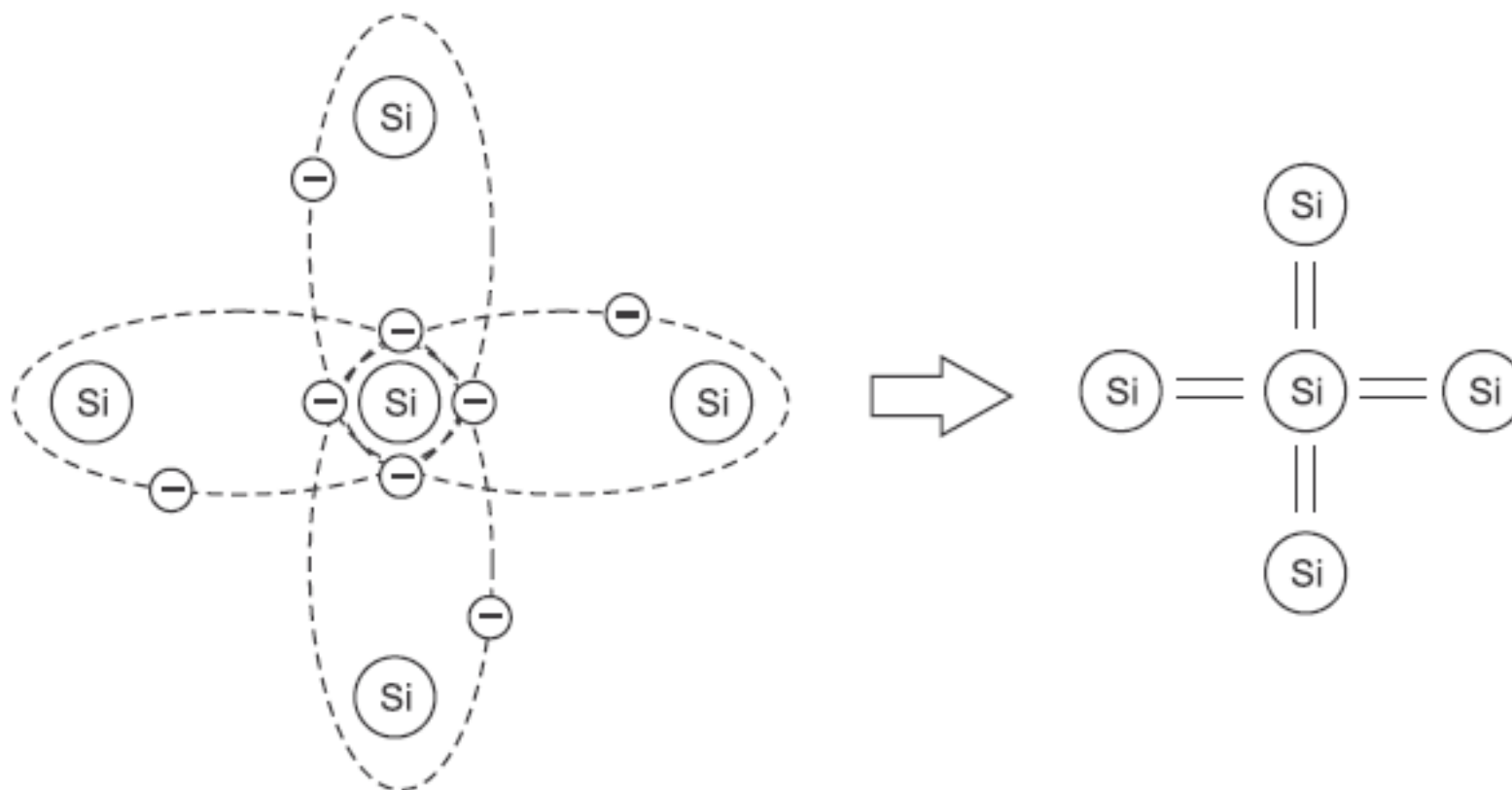
Model sieci krystalicznej



Konfiguracja atomów w podstawowej komórce sieci krystalicznej typu diament

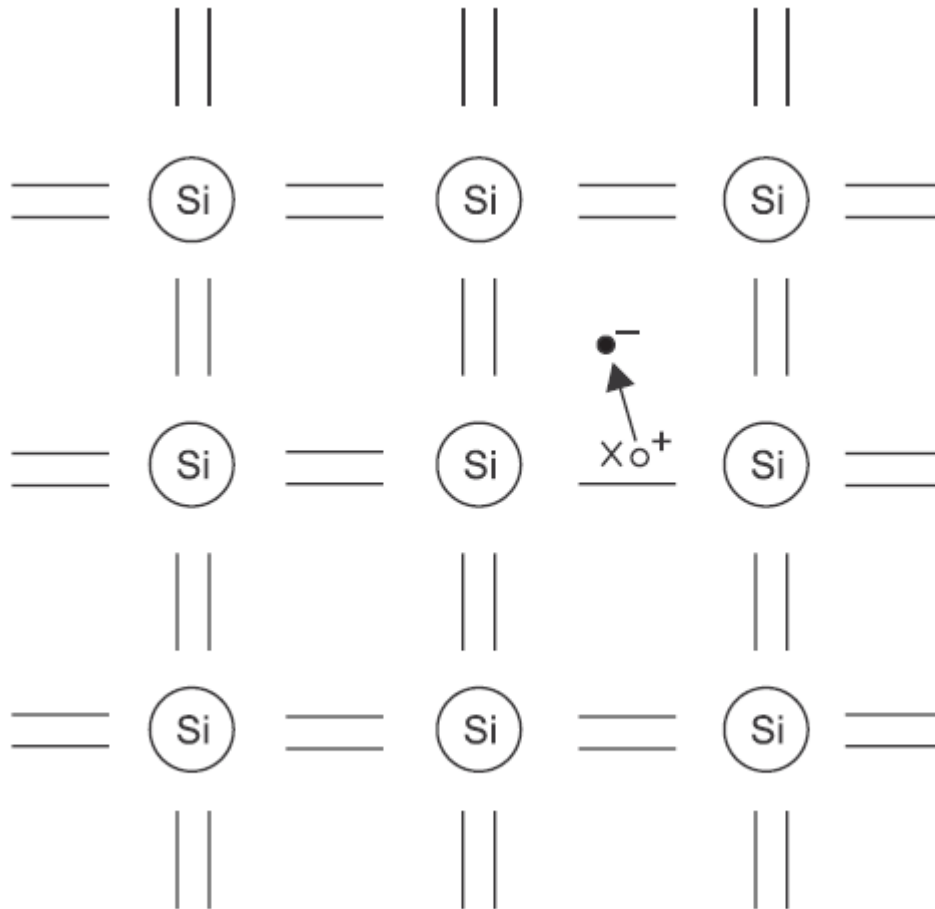


## Ciała stałe



Model wiązań kowalencyjnych między atomami krzemu i ich symboliczna reprezentacja

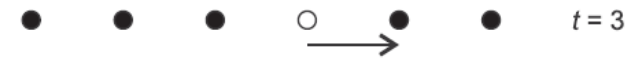
## Ciała stałe



Ruch elektronu

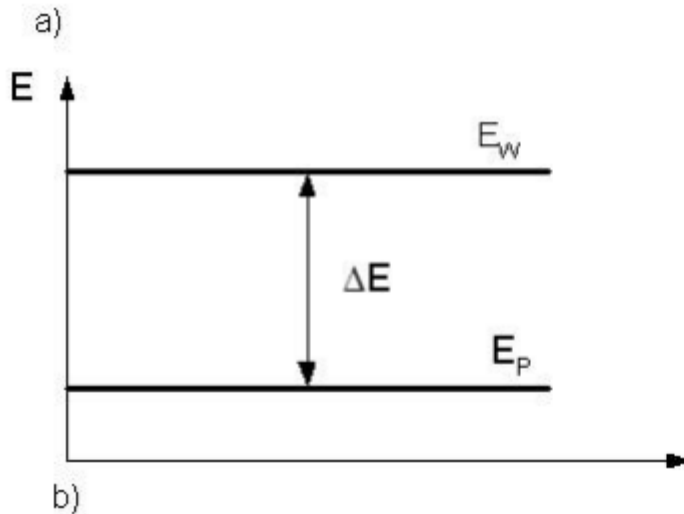


Ruch dziury



Ilustracja powstawania pary elektron-dziura w wyniku zerwania wiązania kowalencyjnego

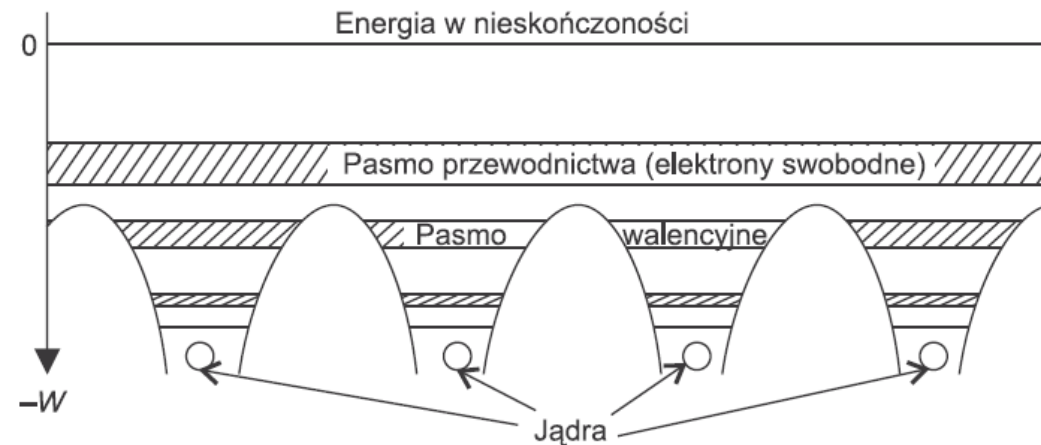
## Pasmowy model ciała stałego



Model energetyczny:

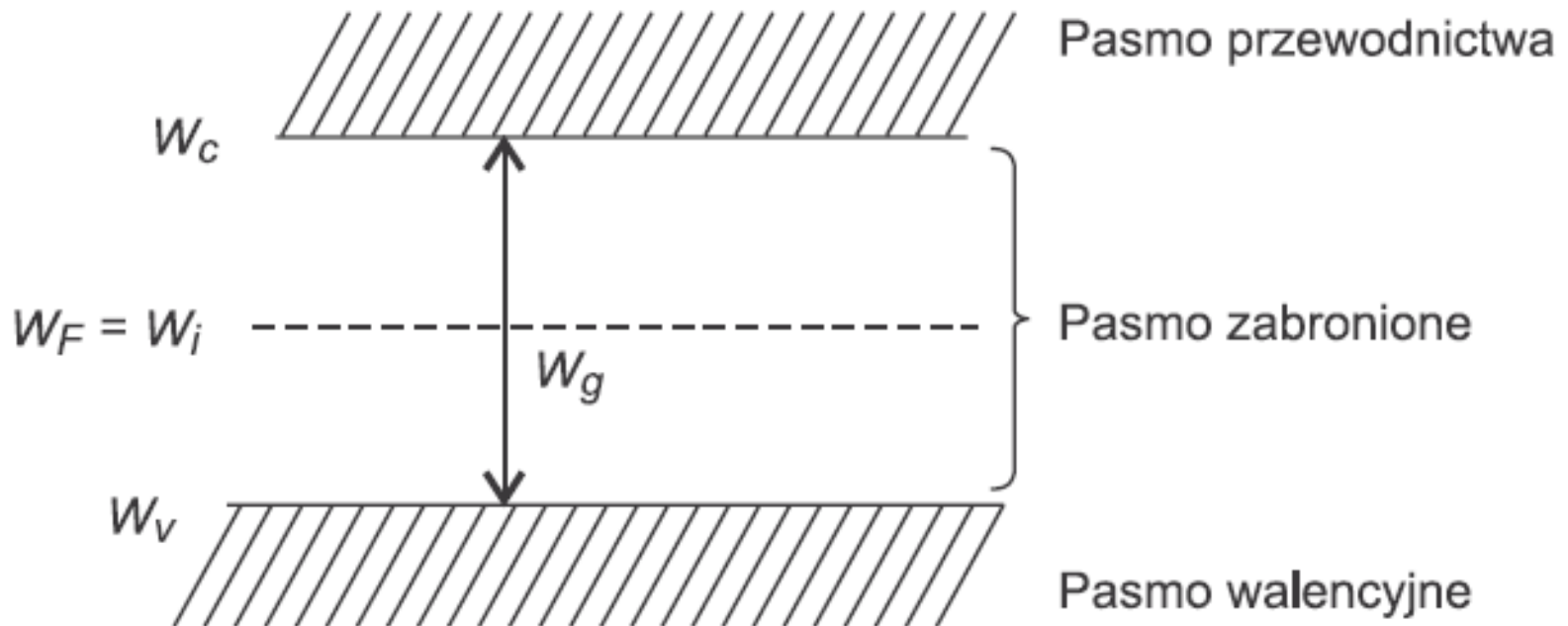
a) atomu:  $E_P$  – energia w stanie podstawowym,  $E_W$  – energia w stanie wzbudzonym,  $\Delta E$  – pismo zabronione (przerwa energetyczna)

b) ciała stałego

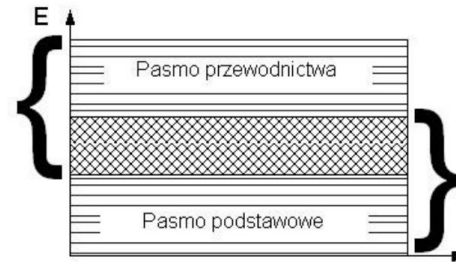




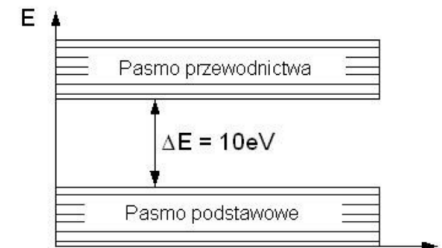
## Pasmowy model ciała stałego



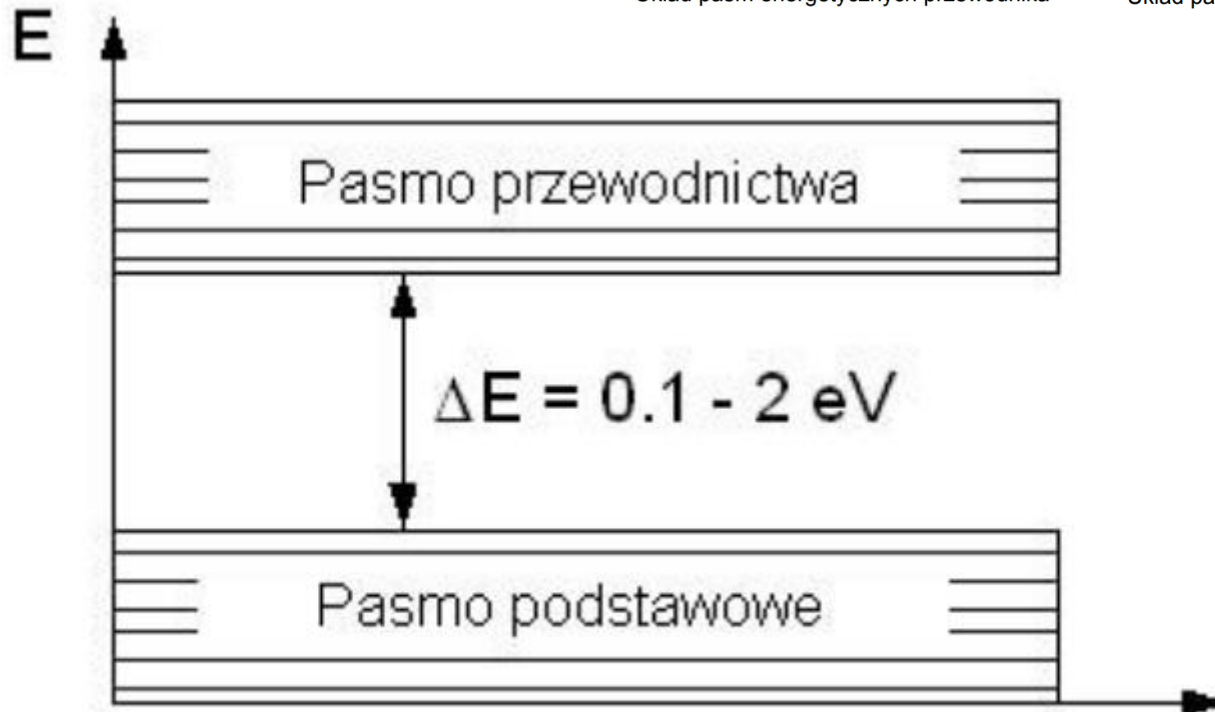
## Półprzewodniki



Układ pasm energetycznych przewodnika

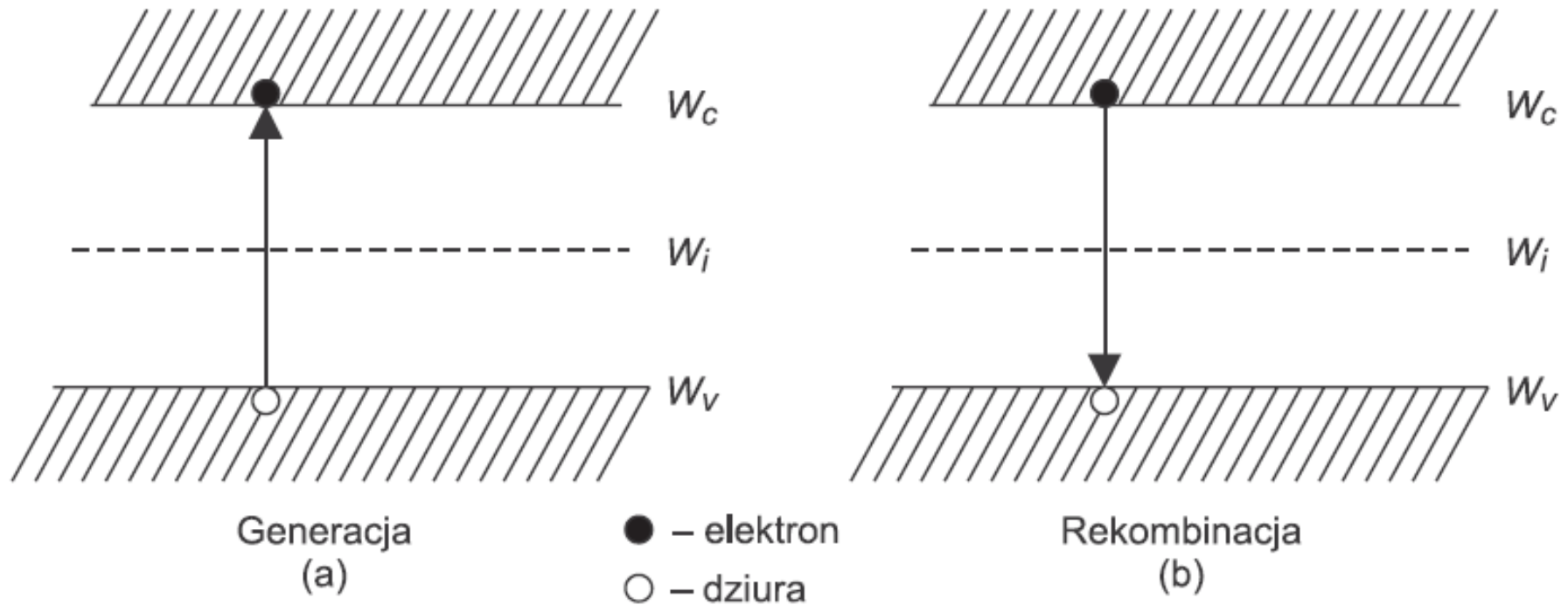


Układ pasm energetycznych dielektryka

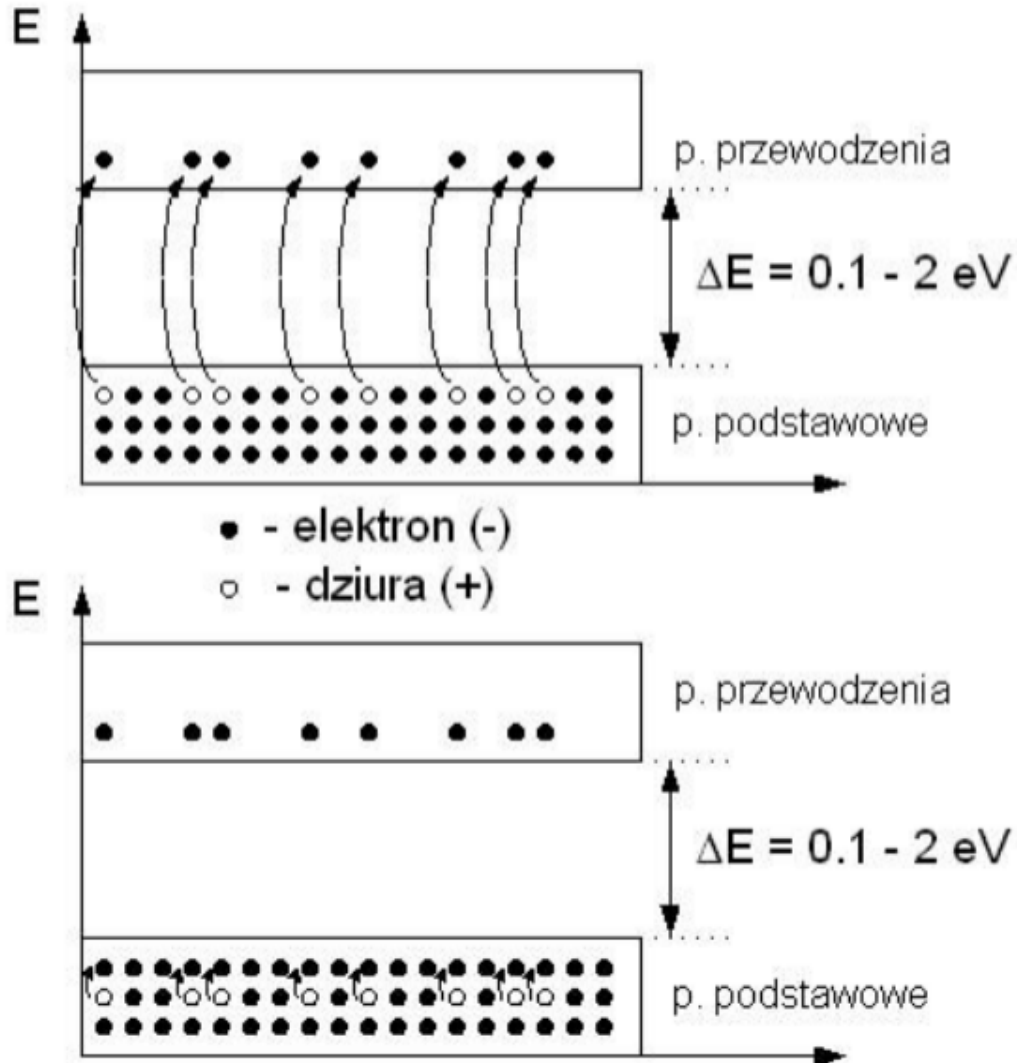


Układ pasm energetycznych półprzewodnika

## Półprzewodniki



## Półprzewodniki



Przejście pomiędzy poziomami - **generacja i rekombinacja**; pary dziura elektron (garaż piętrowy).

Prąd w półprzewodniku:

- elektronowy w paśmie przewodnictwa w kierunku elektrody dodatniej
- dziurowy w paśmie podstawowym w kierunku elektrody ujemnej

## Półprzewodniki - właściwości

- konduktywność  $10^{-8} \dots 10^{-4} \text{ S/m}$
- przerwa energetyczna 0.1 – 2 eV
- w temperaturze pokojowej występują elektrony w paśmie przewodnictwa
- wraz ze wzrostem temperatury rezystancja półprzewodnika maleje
- działając na półprzewodnik: ciepłem, promieniowaniem, polami elektrycznym lub magnetycznym łatwo jest przenieść elektron z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa