

Zjawisko termoelektryczne

- Zjawisko termoelektryczne
- Zjawisko Peltiera

Zjawisko termoelektryczne

- Zjawisko termoelektryczne polega na tym, że w obwodzie składającym się z różnych przewodników lub półprzewodników wytworzenie różnicy temperatur między złączami wywołuje przepływ prądu spowodowany różnicą potencjałów między złączami.
- Zjawisko występuje wówczas, gdy przewodniki lub półprzewodniki różnią koncentracją nośników prądu.

Zjawisko termoelektryczne

- Koncentracja nośników prądu jest to ilość nośników prądu przypadająca na jednostkę objętości materiału i może być określona jako gęstość nośników prądu.
- Różnica koncentracji nośników prądu na złączu dwóch przewodników lub półprzewodników wywołuje różnicę potencjałów nazywaną napięciem termoelektrycznym.

Zjawisko termoelektryczne

- Ilość nośników prądu i ich koncentracja w przewodniku lub półprzewodniku zależy od temperatury.
- Jeśli temperatura obu złączy dwóch przewodników lub półprzewodników jest taka sama, to napięcie termoelektryczne na obu złączach także jest takie samo.

Zjawisko termoelektryczne

- Jeśli temperatury złączy będą różne to różnica napięć termoelektrycznych między złączami wywoła przepływ prądu.
- Różnica napięć termoelektrycznych między złączami zależy od własności przewodników lub półprzewodników tworzących złącze (różnica koncentracji nośników prądu na złączu) i różnicy temperatur między złączami.

Zjawisko termoelektryczne

Współczynnik siły termoelektrycznej α przyjmuje wartości dla złącza:

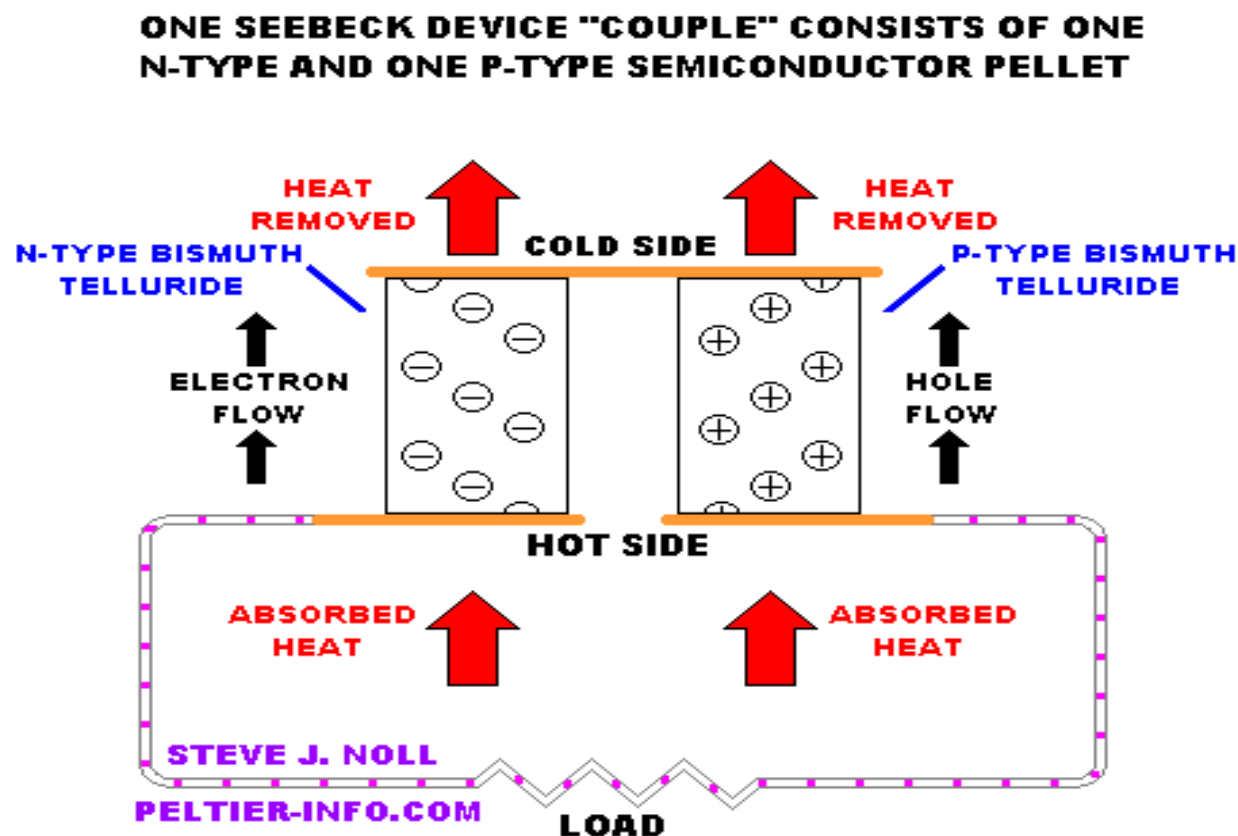
- metal-metal 10^{-5} [V/K]
- półprzewodnik-półprzewodnik 10^{-3} [V/K]

$$U_{1,2} = \alpha \cdot (T_2 - T_1) = \alpha \cdot \Delta T_{1,2}$$

Zjawisko termoelektryczne

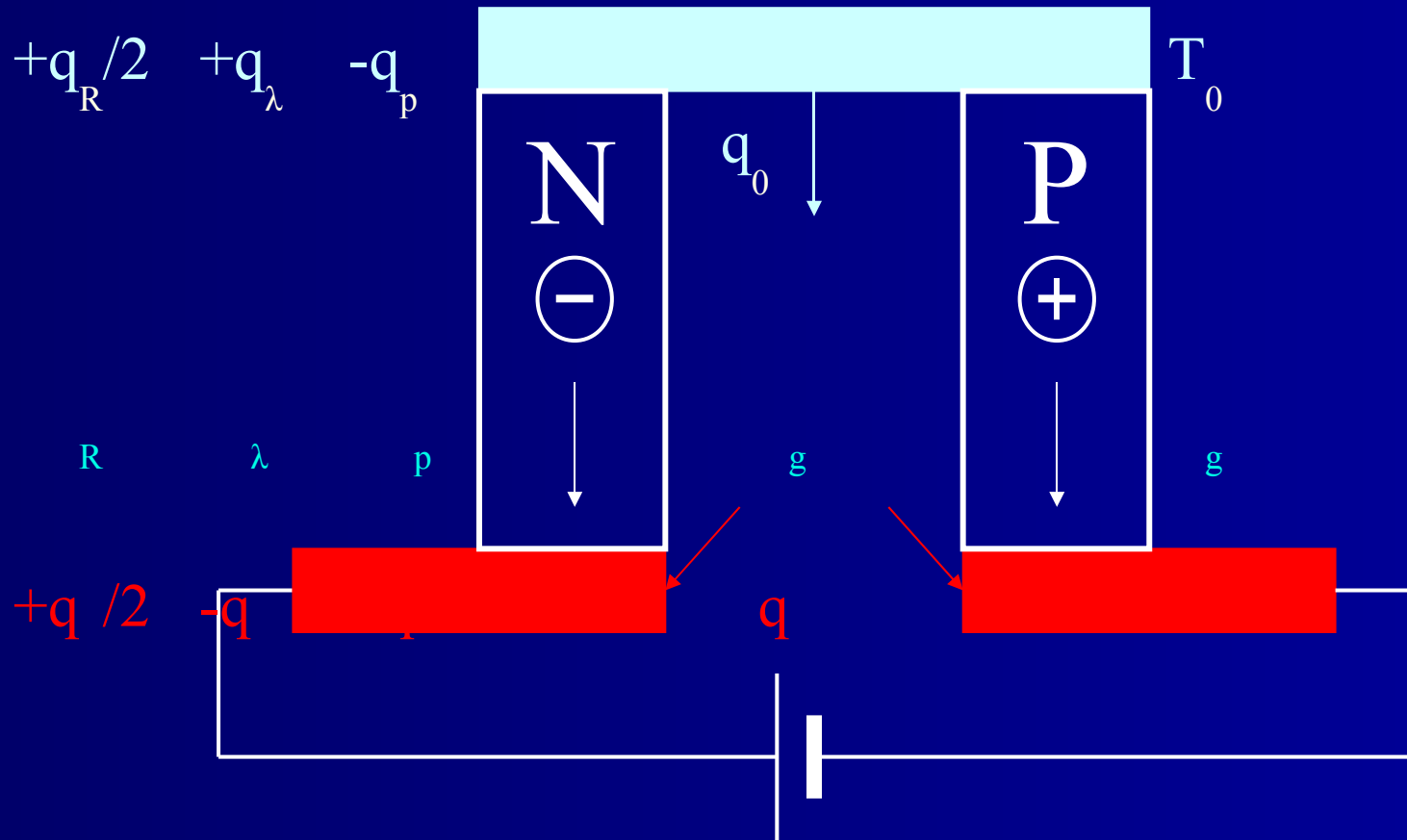
- Zjawisko Peltiera (Seebecka) jest zjawiskiem odwrotnym do zjawiska termoelektrycznego.
- Przepływ prądu w obwodzie złożonym z różnych przewodników lub półprzewodników wywołuje przepływ ciepła z jednego złącza do drugiego złącza.
- W wyniku przepływu prądu temperatura jednego złącza się obniża , a temperatura drugiego złącza się podnosi.

Zjawisko termoelektryczne

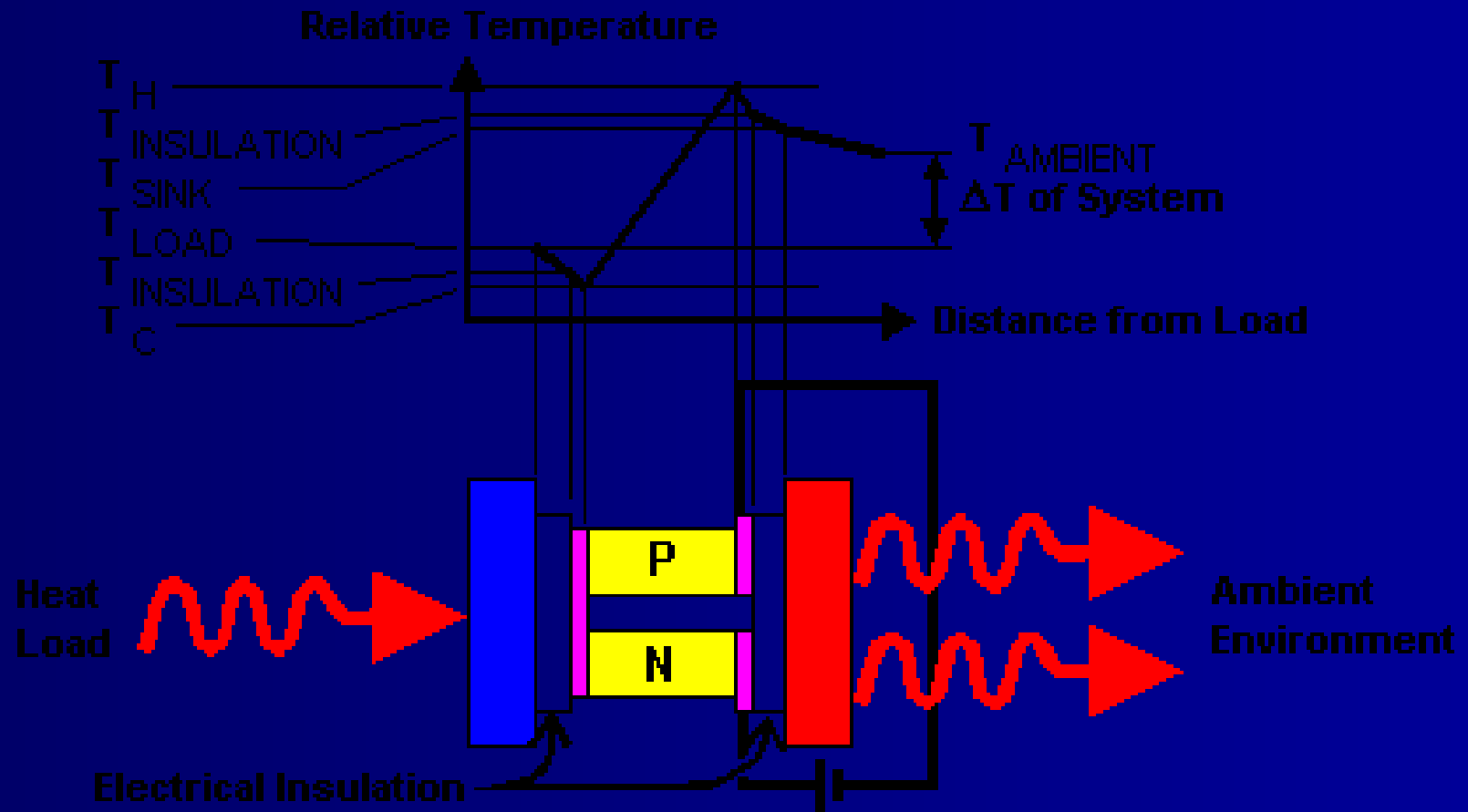


THERE MUST BE A TEMPERATURE DIFFERENCE BETWEEN THE HOT AND COLD SIDES FOR POWER TO BE GENERATED

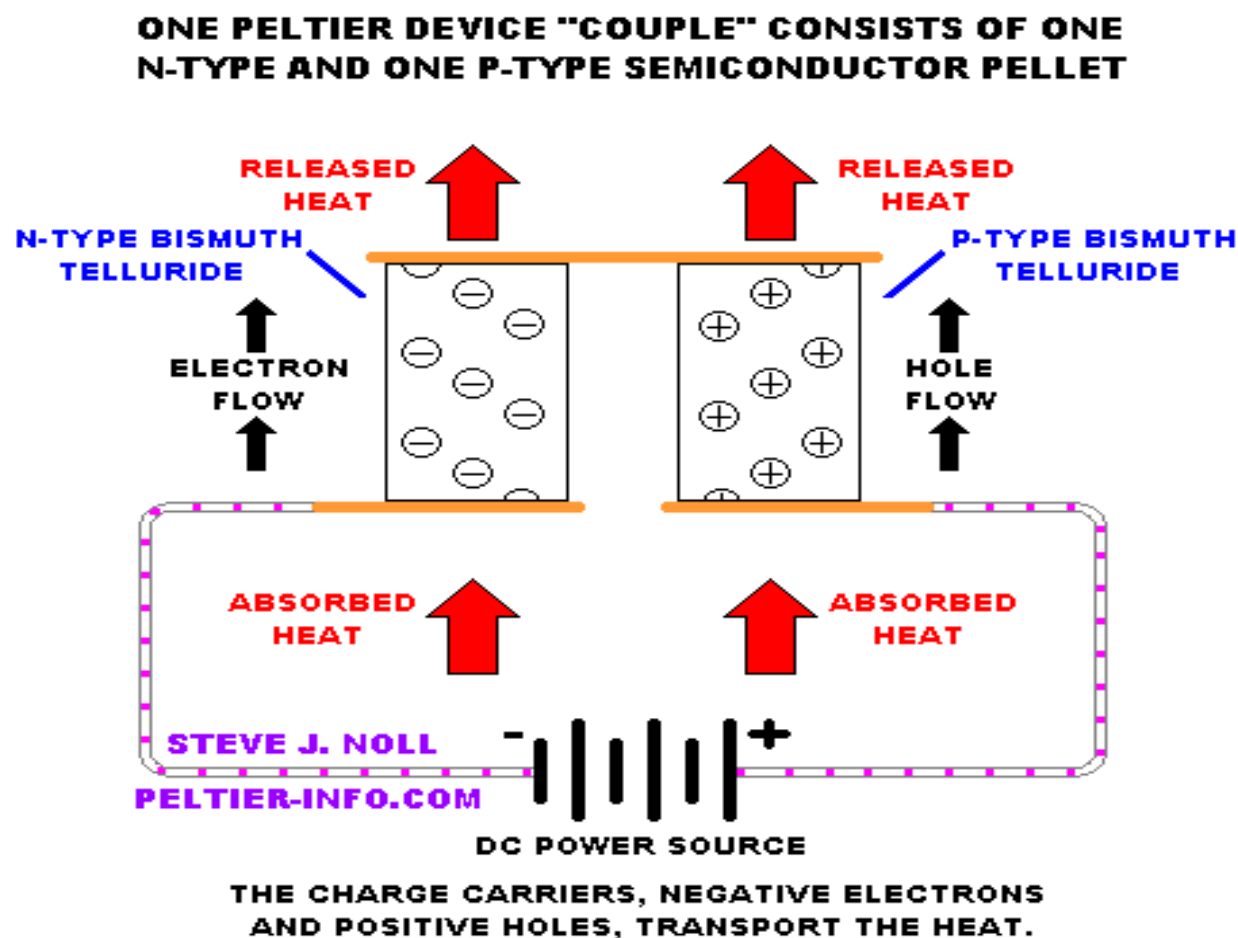
Zjawisko termoelektryczne



Zjawisko termoelektryczne



Zjawisko termoelektryczne



Zjawisko termoelektryczne

Moc cieplna pobierana ze złącza zimnego od współczynnika siły termoelektrycznej złącza, natężenia prądu płynącego przez złącze i temperatury złącza

$$q_p = \alpha \cdot i \cdot T_0$$

Zjawisko termoelektryczne

- Różnica temperatur między złączami wywołuje przewodzenie ciepła ze złącza gorącego do złącza zimnego.
- Moc cieplna przewodzenia ciepła zależy od różnicy temperatur, powierzchni wymiany ciepła (S), długości przewodzenia ciepła (l) i współczynnika przewodzenia ciepła (λ)

$$q_{\lambda} = \lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot (T_g - T_0)$$

Zjawisko termoelektryczne

- Przepływ prądu przez złącza wydziela ciepło związane z oporem elektrycznym złączy.
- Przyjmując równe opory elektryczne złącza gorącego i zimnego moc cieplna wydzielona na złączu zimnym wyniesie

$$q_R = \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R$$

Zjawisko termoelektryczne

$$q_0 = q_p - q_\lambda - q_R$$

$$q_0 = \alpha \cdot i \cdot T_0 - \lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot (T_g - T_0) - \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R$$

Zjawisko termoelektryczne

Maksymalna różnica temperatur między złączami wystąpi wówczas, gdy moc cieplna użyteczna będzie równa zero ($q_0 = 0$)

$$\Delta T_{\max} = \frac{\alpha \cdot i \cdot T_0 - \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R}{\lambda \cdot \frac{S}{l}}$$

Zjawisko termoelektryczne

Optymalne natężenie prądu, przy którym można osiągnąć maksymalną różnicę temperatur wynosi

$$i_{opt} = \frac{\alpha}{R} \cdot T_0$$

Zjawisko termoelektryczne

$$\Delta T_{\max} = \frac{\alpha \cdot \frac{\alpha}{R} \cdot T_0 \cdot T_0 - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\alpha}{R} \cdot T_0 \right)^2 \cdot R}{\lambda \cdot \frac{S}{l}}$$

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot R} \cdot T_0^2$$

Zjawisko termoelektryczne

Opór elementu zależy od oporu właściwego i jego wymiarów

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

Zjawisko termoelektryczne

Własności termoelektryczne opisuje współczynnik dobroci termoelektrycznej Z

$$Z = \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot R} = \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot \frac{l}{\sigma \cdot S}}$$

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda} \left[\frac{\left(\frac{V}{K} \right)^2 \cdot \frac{1}{\Omega \cdot m}}{\frac{W}{K \cdot m}} = \frac{V^2}{K} \cdot \frac{A}{V \cdot m} \cdot \frac{K \cdot m}{V \cdot A} = \frac{1}{K} \right]$$

Zjawisko termoelektryczne

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \frac{S}{l}} \cdot \frac{\sigma \cdot S}{l} \cdot T_0^2$$

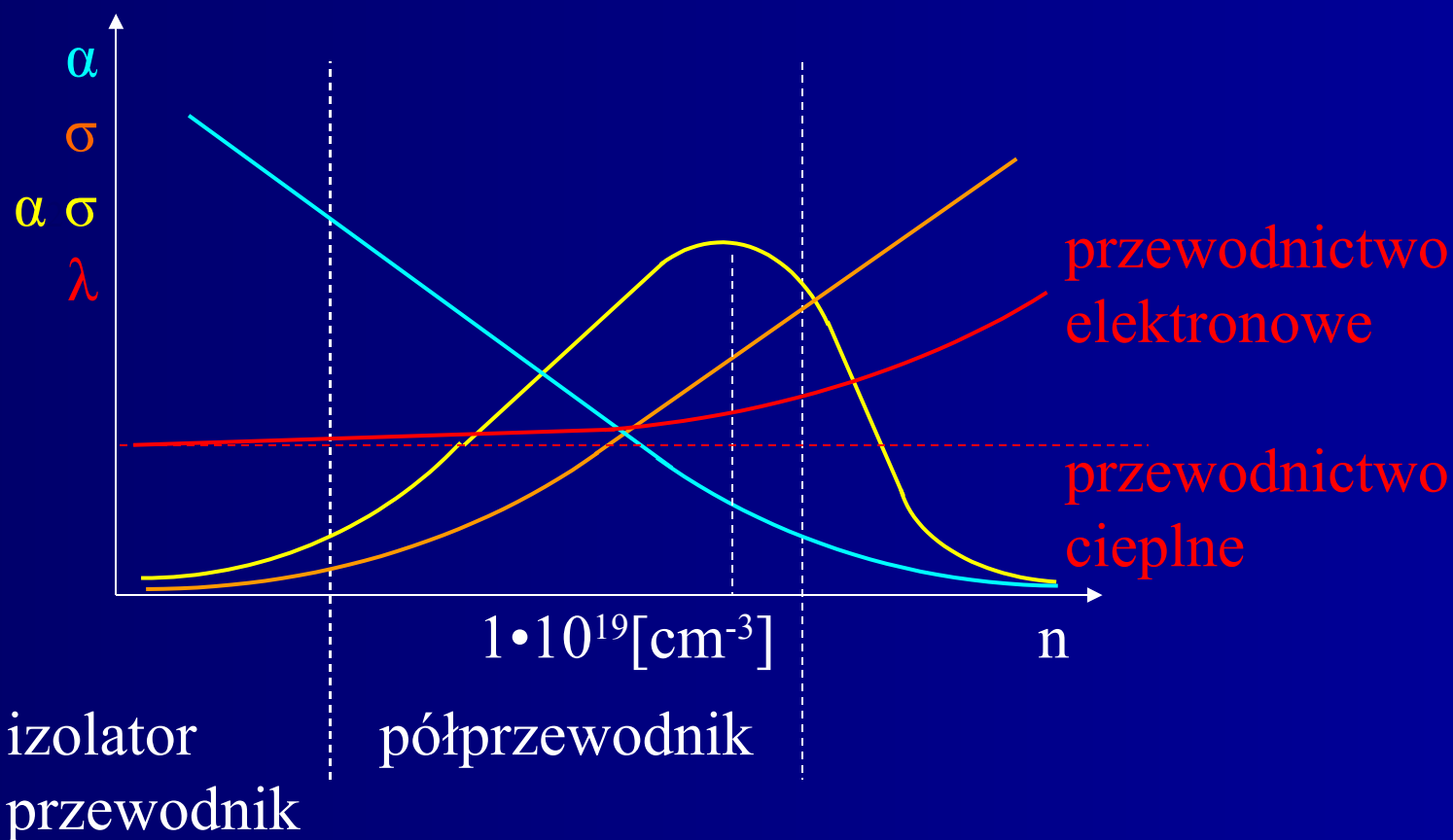
$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda} \cdot T_0^2$$

$$\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \cdot Z \cdot T_0^2$$

Zjawisko termoelektryczne

- Współczynnik dobroci termoelektrycznej Z nie ma wartości stałej dla danego materiału i zależy od temperatury.
- Najczęściej jest przedstawiany w bezwymiarowej postaci ZT .

Zjawisko termoelektryczne



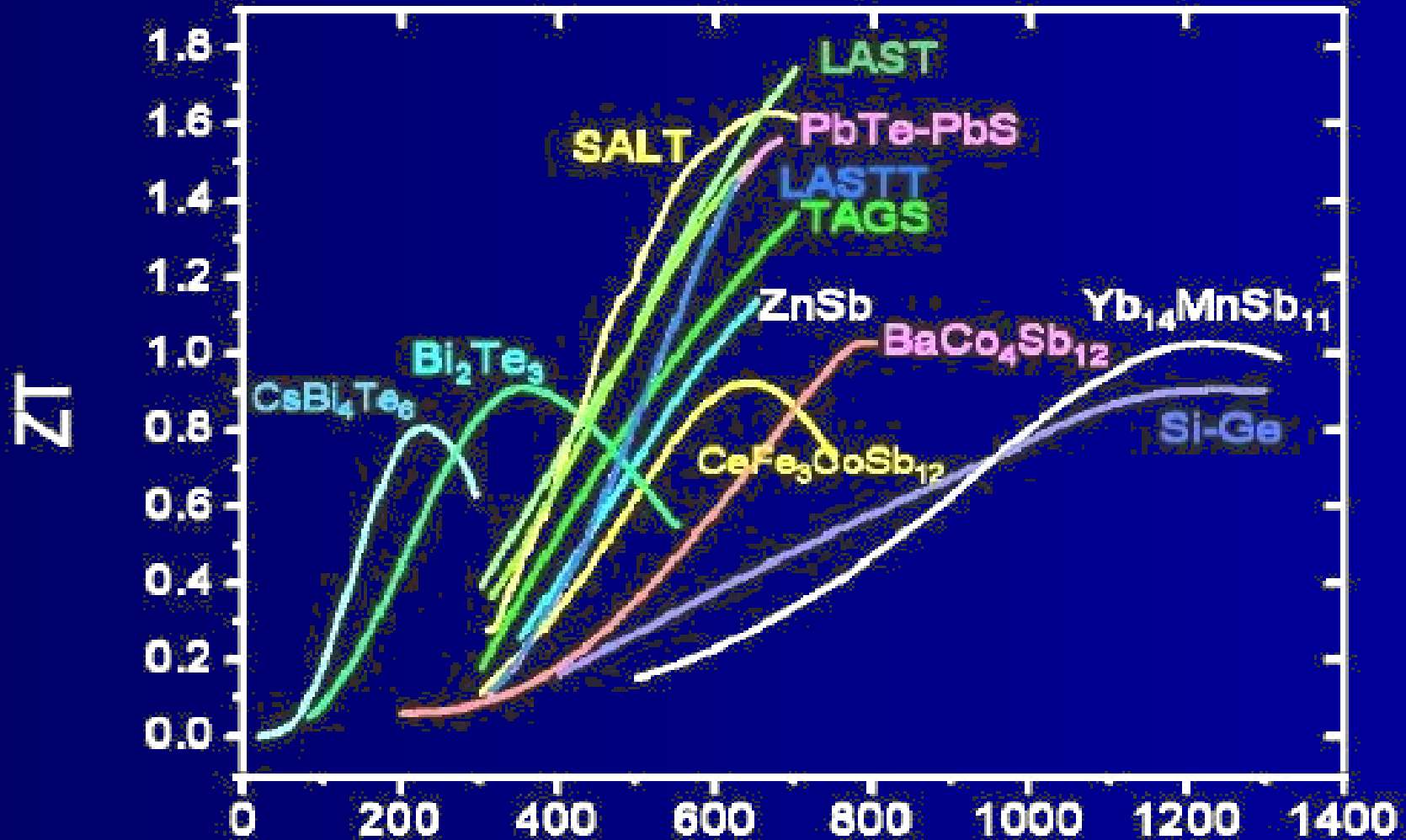
Zjawisko termoelektryczne

- Najlepsze własności termoelektryczne mają półprzewodniki.
- Dla temperatury rzędu 300 [K] najlepsze własności termoelektryczne ma domieszkowany tellurek bizmutu Bi_2Te_3 .

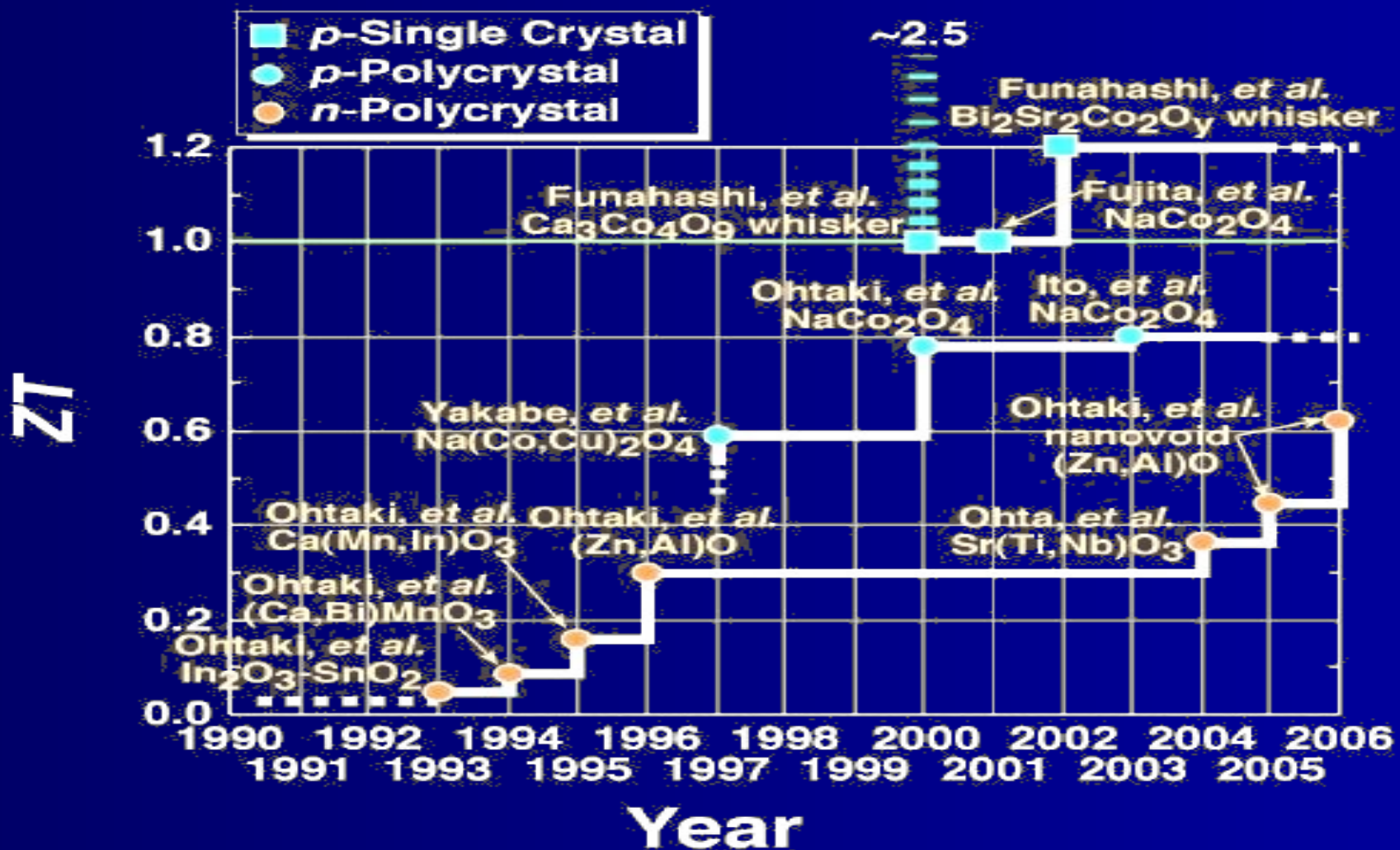
Zjawisko termoelektryczne

- Wartość bezwymiarowego ZT dla tellurku bizmutu równa jest jedności.
- Tellurek bizmutu jest stosowany w temperaturach -10 [$^{\circ}\text{C}$] do 130 [$^{\circ}\text{C}$] przy różnicy temperatur nie przekraczającej 70 [deg].
- Maksymalna temperatura stosowania tellurku bizmutu wynosi 247 [$^{\circ}\text{C}$].

Zjawisko termoelektryczne



Zjawisko termoelektryczne



Zjawisko termoelektryczne

Współczynnik wydajności chłodniczej chłodziarki termoelektrycznej jest stosunkiem mocy cieplnej użytecznej do mocy elektrycznej pobranej

$$\varepsilon = \frac{q_0}{N_e}$$

Zjawisko termoelektryczne

Pobierana moc elektryczna jest zużywana na zrównoważenie siły termoelektrycznej i opór cieplny

$$N_e = N_t + q_R$$

$$N_e = \alpha \cdot (T_g - T_0) \cdot i + i^2 \cdot R$$

Zjawisko termoelektryczne

Współczynnik wydajności cieplnej chłodziarki termoelektrycznej wynosi

$$\varepsilon = \frac{\alpha \cdot i \cdot T_0 - \lambda \cdot \frac{S}{l} \cdot (T_g - T_0) - \frac{1}{2} \cdot i^2 \cdot R}{\alpha \cdot i \cdot (T_g - T_0) + i^2 \cdot R}$$

Zjawisko termoelektryczne

Współczynnik wydajności chłodniczej osiąga wartość maksymalną dla natężenia prądu

$$i_{ef} = \frac{\alpha}{R} \cdot \Delta T \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} - 1}$$

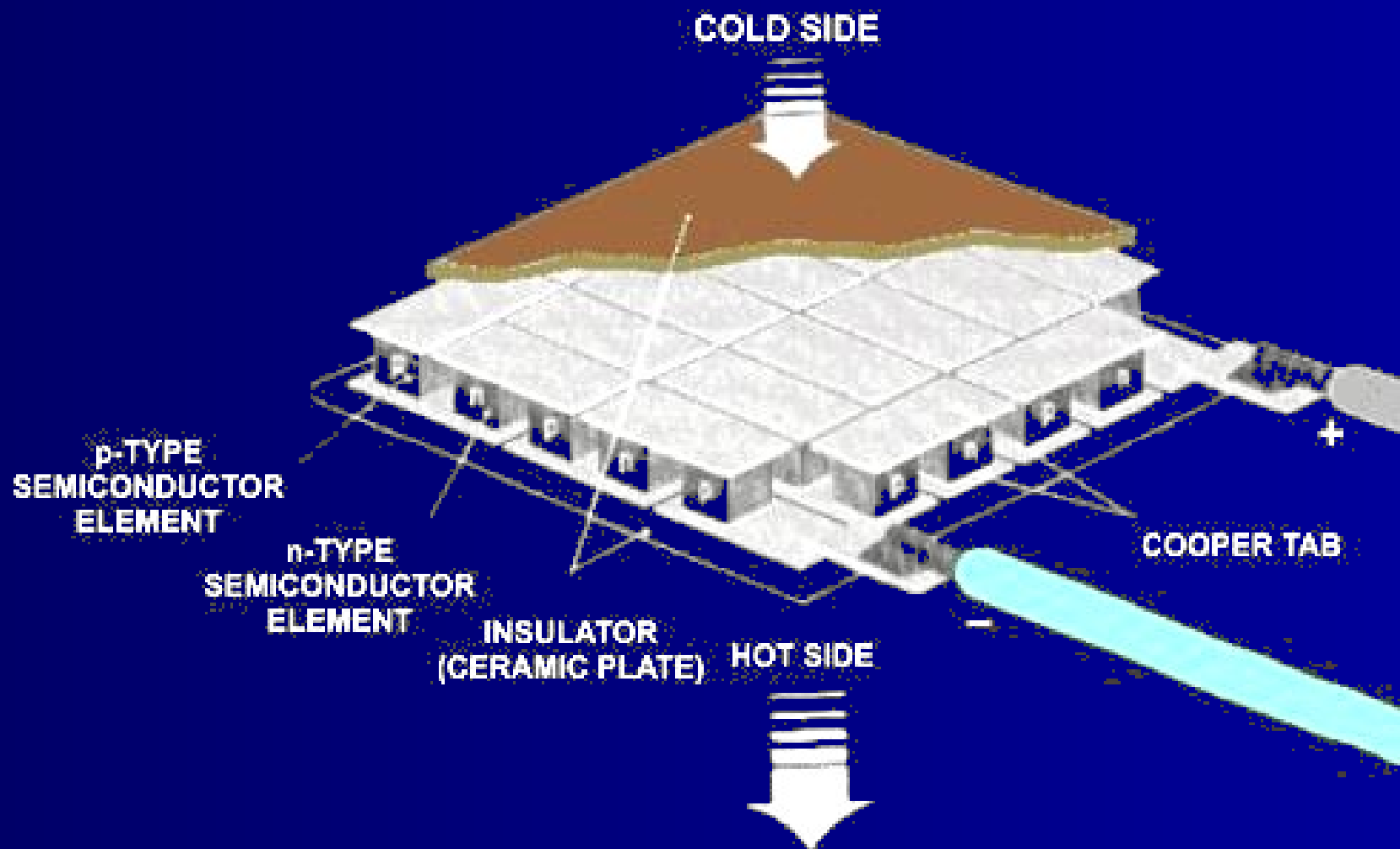
$$T_{sr} = \frac{T_g + T_0}{2}$$

Zjawisko termoelektryczne

Maksymalna wartość współczynnika wydajności cieplnej wynosi

$$\varepsilon_{\max} = \frac{T_0}{T_g - T_0} \cdot \frac{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} - \frac{T_0}{T_g}}{\sqrt{1 + Z \cdot T_{sr}} + 1}$$

Zjawisko termoelektryczne



Zjawisko termoelektryczne

- Układy termoelektryczne osiągają wydajności rzędu 30 [%] układów sprężarkowo-parowych.
- Warunkiem dorównania wydajności osiąganej przez układy sprężarkowo-parowe jest zwiększenie współczynnika ZT do wartości $3 \div 4$.