

## План лекції

- Вплив температури на електропровідність металів та сплавів
- Металеві термометри опору
- Вплив температури на електропровідність напівпровідників
- Напівпровідникові термометри опору

## Вплив температури на електропровідність металів

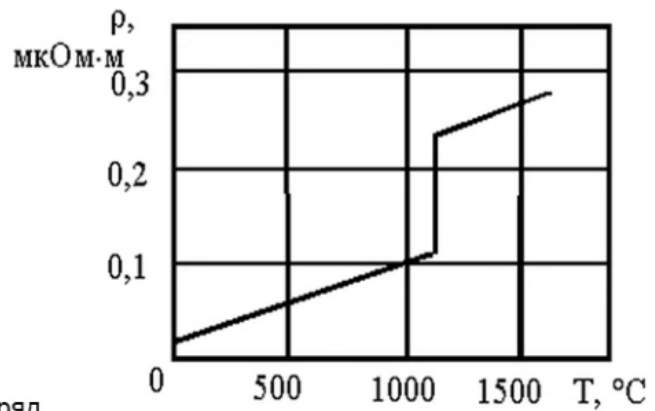
$$\rho = \frac{m \cdot v_T}{q^2 \cdot n \cdot l_{cp}} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{h}{K \cdot q^2 \cdot n^{2/3} \cdot l_{cp}} \quad (2)$$

де  $m$  – маса електрона,  $v_T$  – середня швидкість теплового руху електрона всередині металу,  
 $l_{cp}$  – середня довжина вільного пробігу електрону,  
 $n$  – концентрація електронів,  $q$  – елементарний заряд,  
 $h$  – постійна Планка,  $K$  – стала

$$\rho_1 = \rho_0 [1 + \alpha \cdot (T_1 - T_0)] \quad (3)$$

$\rho_1$  – питомий опір металу при температурі  $T_1$ ,  
 $\rho_0$  – питомий опір металу при температурі  $0^\circ\text{C}$ ,  
 $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору (ТКО)



Температурна залежність питомого опору міді

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}, \quad ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (або } K^{-1}) \quad (4)$$

$$\alpha > 0$$

# Вплив температури на електропровідність сплавів

## Правило Маттіссена:

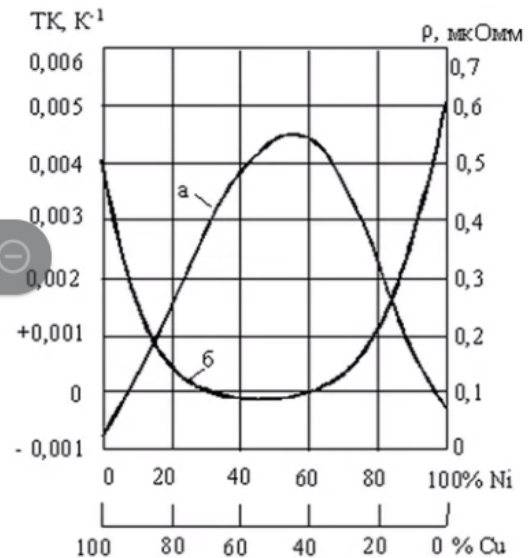
$$\rho = \rho_T + \rho_{\text{зал}} \quad (5)$$

де  $\rho_T$  – це опір, обумовлений розсіянням електронів на теплових коливаннях ґратки,  $\rho_{\text{зал}}$  – залишковий опір, пов'язаний з розсіянням електронів на неоднорідностях структури сплаву.

## Закон Нордгейма:

$$\rho_{\text{зал}} = C \cdot x_A \cdot x_B = C \cdot x_B (1 - x_B) \quad (6)$$

де  $C$  – константа, що залежить від природи сплаву,  $x_A$  та  $x_B$  – атомні долі компонентів в сплаві



Концентраційна залежність питомого опору (а) та ТКО (б) сплаву мідь-нікель

## Металеві термометри опору

### Вимоги до матеріалів для виготовлення металевих терморезисторів:

- ❖ Стабільний ТКО
- ❖ Відтворюваність опору при даній температурі
- ❖ Стабільні хімічні та фізичні властивості при нагріванні
- ❖ Інертність до впливу досліджуваного середовища

### Класифікація металевих терморезисторів



Дротові терморезистори



Тонкоплівкові терморезистори

# Металеві термометри опору

## Дротові терморезистори

Матеріал	$\text{TKO} \cdot 10^{-3}, 1/^{\circ}\text{C}$	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$	Робочий діапазон, $^{\circ}\text{C}$
Платина	3,91	0,105	-260...+1300
Мідь	4,28	0,017	-40...+200
Нікель	6,3	0,068	-50...+850

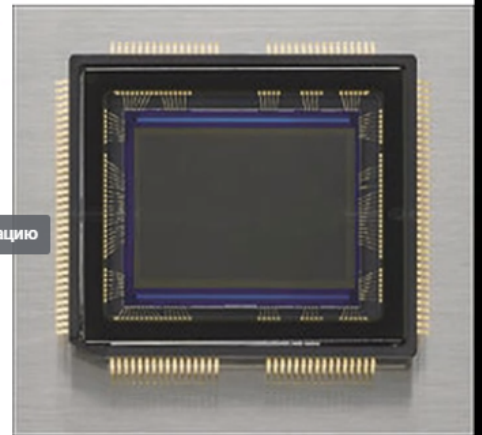


Термодатчики на основі платинових терморезисторів РТ 100

# Металеві термометри опору

## Тонкоплівкові терморезистори

Матеріал	$\text{TKO} \cdot 10^{-6}, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\rho \cdot 10^{-6}, \text{Ом} \cdot \text{см}$	Робочий діапазон, $^\circ\text{C}$	Підкладка
Мідь	4,3	1,72	-50...+200	Б
Молібден	3,0	5,7	-200...+200	кераміка
Платина	3,3	10,6	-60...+350	кераміка, скло, корунд



Термодатчик у плівковому виконанні

## Вплив температури на електропровідність напівпровідників

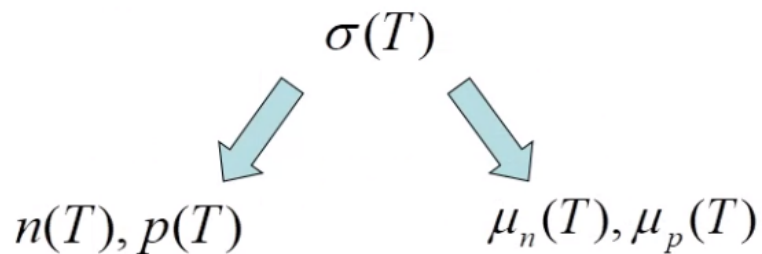
- питома електропровідність власного напівпровідника:

$$\sigma = q \cdot n_i \cdot (\mu_n + \mu_p) \quad (7)$$

- питома електропровідність домішкового напівпровідника:

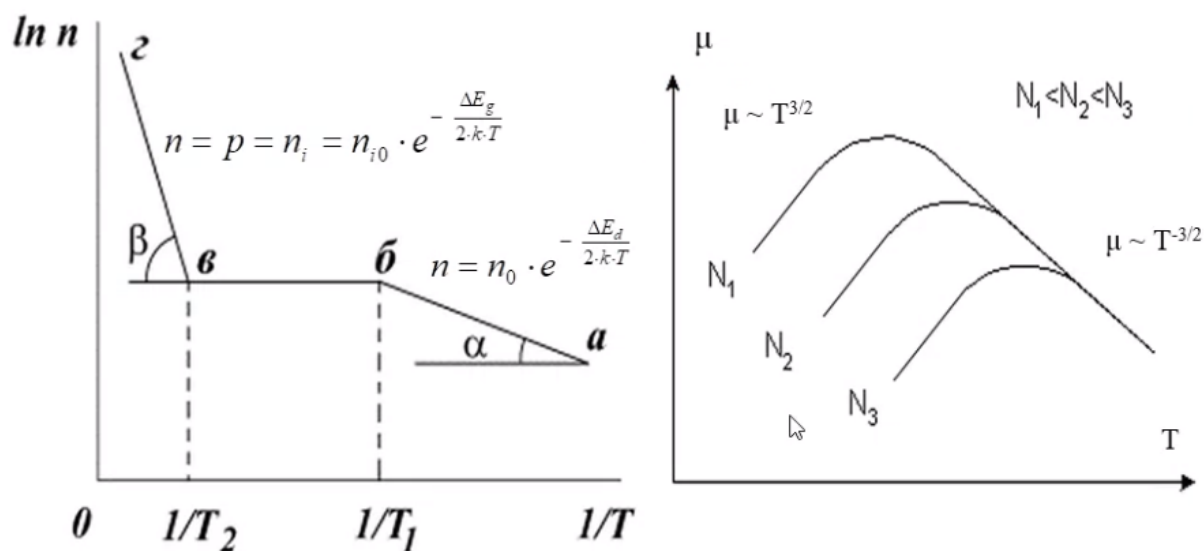
$$\sigma = q \cdot (n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \quad (8)$$

- температурна залежність електропровідності напівпровідника:



# Вплив температури на електропровідність напівпровідників

Температурна залежність концентрації та рухливості носіїв заряду



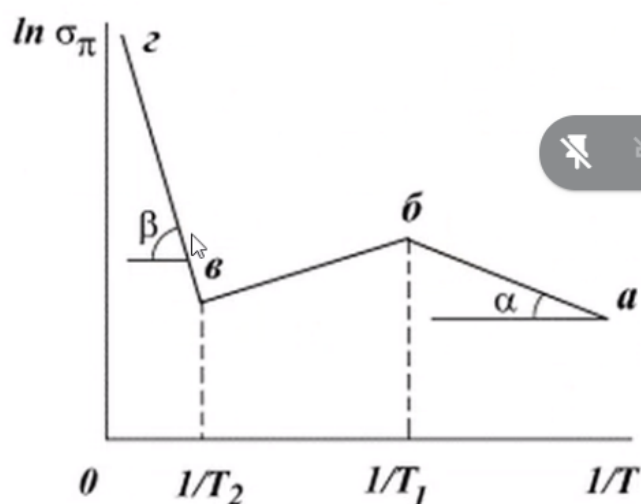


# Вплив температури на електропровідність напівпровідників

Температурна залежність електропровідності

ТКО

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} (\text{або } \text{K}^{-1})$$



Класифікація напівпровідникових терморезисторів

Термістори  
(ТКО < 0)

Позистори  
(ТКО > 0)

# Напівпровідникові термометри опору

## Термістори

**Термістор** – це напівпровідниковий терморезистор з від'ємним ТКО

**Фізичні явища, які лежать в основі роботи термісторів:**

- ❖ збільшення концентрації носіїв зарядів (Si, Ge, SiC,  $A^3B^5$ );
- ❖ збільшення інтенсивності обміну електронами між іонами зі змінною валентністю (оксиди Mn, Fe, Ni, Cu, Zn та Co);
- ❖ фазові перетворення напівпровідникового матеріалу ( $V_2O_4$ ,  $V_2O_3$ ).



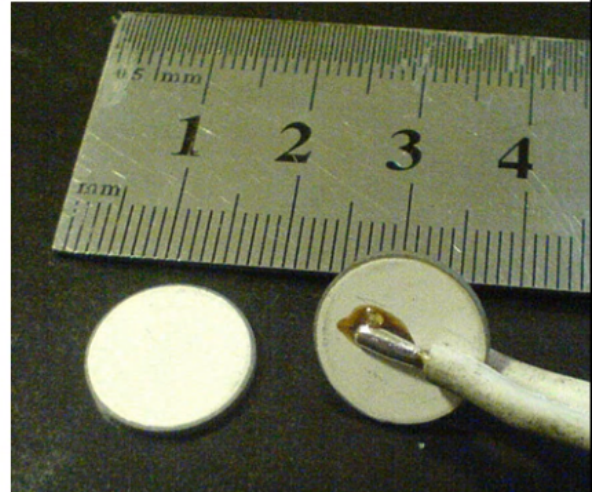
# Напівпровідникові термометри опору

## Позистори

**Позистор** – це напівпровідниковий терморезистор з додатнім ТКО

**Фізичні явища, які лежать в основі роботи позисторів:**

- ❖ збільшення розсіювання носіїв заряду на теплових коливаннях ґратки (Si, Ge);
- ❖ аномальна температурна залежність в околі точки Кюрі ( $\text{BaTiO}_3$ )



## Термометри опору

**Переваги напівпровідникових терморезисторів порівняно з металевими:**

- малі габарити,
- мала інерційність,
- висока чутливість.

**Однак напівпровідникові перетворювачі поступаються металевим в точності.**

