

Zależność oporu elektrycznego przewodnika od temperatury

Wraz ze zmianą temperatury zmienia się wartość oporu elektrycznego materiału.

1. Metale

W metalach opór elektryczny **rośnie wraz ze wzrostem temperatury**.

Przyczyną jest silniejsze drganie jonów sieci krystalicznej. Elektrony przewodnictwa częściej zderzają się z drgającymi jonami, co utrudnia ich ruch.

W przybliżeniu (dla niezbyt dużych zmian temperatury) zależność opisuje wzór liniowy:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T),$$

gdzie R – opór w temperaturze T , R_0 – opór w temperaturze początkowej T_0 , α – temperaturowy współczynnik oporu

$$\Delta T = T - T_0$$

Współczynnik α zależy od materiału przewodnika.

Wniosek: dla metali temperatura rośnie $\rightarrow$ opór rośnie.

2. Półprzewodniki

W półprzewodnikach zachodzi **zjawisko odwrotne**: temperatura rośnie $\rightarrow$ **opór maleje**.

Dzieje się tak dlatego, że wzrost temperatury powoduje powstawanie większej liczby nośników ładunku (elektronów i dziur).

3. Izolatory

W izolatorach opór jest bardzo duży, ale również **maleje ze wzrostem temperatury**, ponieważ pojawia się więcej nośników ładunku.

4. Podsumowanie

Materiał	Zmiana temperatury	Zmiana oporu
metale	wzrost T	wzrost R
półprzewodniki	wzrost T	spadek R
izolatory	wzrost T	spadek R

1. Wyprowadzenie zależności $R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$

Opór elektryczny przewodnika zależy od jego **oporu właściwego** oraz wymiarów geometrycznych:

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

gdzie R – opór przewodnika, ρ – opór właściwy materiału, l – długość przewodnika, S – pole przekroju poprzecznego.

Jeżeli zmienia się temperatura, to przede wszystkim zmienia się **opór właściwy** materiału. Dla niewielkich zmian temperatury zależność jest w przybliżeniu liniowa:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta T)$$

gdzie ρ_0 – opór właściwy w temperaturze T_0 , α – temperaturowy współczynnik oporu

$$\Delta T = T - T_0$$

Podstawiając do wzoru na opór:

$$R = \rho_0(1 + \alpha\Delta T) \frac{l}{S}$$

Ponieważ

$$R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$$

otrzymujemy:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

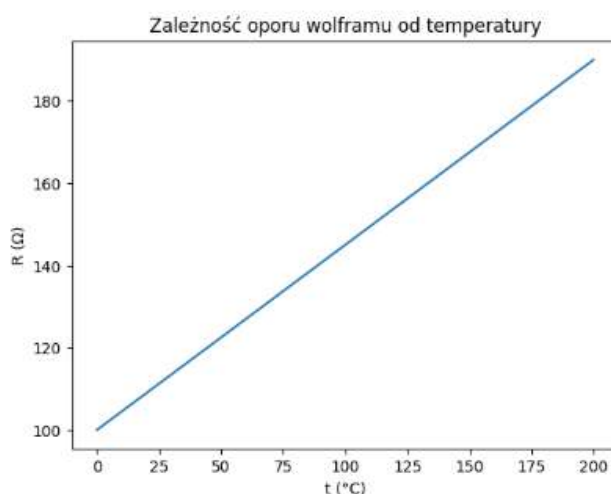
2. Typowe wartości temperaturowego współczynnika oporu

Wartości te podaje się zwykle dla temperatury około 20°C .

Metal	$\alpha(1/\text{K})$
miedź	0,00393
aluminium	0,00429
srebro	0,00380
wolfram	0,00450
żelazo	0,00600

3. Wykres zależności oporu od temperatury. Metale

W umiarkowanym zakresie temperatur zależność jest **prawie liniowa**.



Wykres zależności $R(t)$ dla wolframu w zakresie $0\text{--}200^{\circ}\text{C}$ przy założeniu:

- $R_0 = 100$ w temperaturze 0°C
- temperaturowy współczynnik oporu wolframu
 $\alpha = 0,0045\text{ }1/\text{K}$

Korzystamy z zależności: $R = R_0(1 + \alpha t)$,

gdzie t jest temperaturą w $^{\circ}\text{C}$ (różnica temperatur w K jest taka sama).

Z tego wynika:

- $R(0^{\circ}\text{C}) = 100\text{ }\Omega$
- $R(100^{\circ}\text{C}) = 145\text{ }\Omega$
- $R(200^{\circ}\text{C}) = 190\text{ }\Omega$

Widzimy więc **liniowy wzrost oporu z temperaturą**, co jest typowe dla metali w umiarkowanym zakresie temperatur. Opór rośnie wraz z temperaturą.

W metalach wzrost temperatury powoduje:

- silniejsze **drgania jonów sieci krystalicznej**,
- częstsze **zderzenia elektronów przewodnictwa z jonami**,
- **mniejszą ruchliwość elektronów**,
- **większy opór elektryczny**.

Dlaczego zależność przestaje być liniowa przy bardzo wysokich temperaturach oraz przy temperaturach bliskich zeru bezwzględnemu (tam pojawia się np. zjawisko nadprzewodnictwa).

dlatego zależność przestaje być liniowa przy bardzo wysokich temperaturach oraz przy temperaturach bliskich zeru bezwzględnemu (tam pojawia się np. zjawisko nadprzewodnictwa).

Zależność

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T)$$

jest **tylko przybliżeniem**, które dobrze działa w umiarkowanym zakresie temperatur (np. w pobliżu temperatury pokojowej). Przy bardzo **wysokich** oraz bardzo **niskich temperaturach** mechanizmy rozpraszania elektronów zmieniają się, dlatego zależność przestaje być liniowa.

1. Bardzo wysokie temperatury

W wysokich temperaturach drgania jonów sieci krystalicznej stają się bardzo silne.

Powoduje to kilka efektów:

Silnie nieliniowy wzrost drgań sieci

Amplituda drgań atomów nie rośnie już proporcjonalnie do temperatury. Zderzenia elektronów z jonami stają się bardziej złożone, więc opór przestaje rosnąć liniowo.

Zmiany struktury krystalicznej

Przy wysokich temperaturach mogą występować: deformacje sieci, defekty krystaliczne, przejścia fazowe. Powoduje to dodatkowe rozpraszanie elektronów.

Zmiana koncentracji nośników

W niektórych materiałach wzrost temperatury może zmieniać liczbę elektronów przewodnictwa.

Wniosek:

w wysokich temperaturach wykres $R(T)$ zaczyna się **odchyłać od prostej**.

2. Temperatury bliskie zeru bezwzględnemu

W niskich temperaturach zachodzi odwrotny proces.

Zanik drgań sieci krystalicznej

Gdy temperatura maleje: drgania jonów słabną, elektrony coraz rzadziej się rozpraszają.

Opór gwałtownie maleje. Jednak nawet w temperaturze bliskiej zera pozostaje tzw.

opór resztkowy wynikający z: domieszek, defektów sieci, granic ziaren.

Dlatego w zwykłych metalach: $R \rightarrow R_{res}$ a nie do zera.

3. Zjawisko nadprzewodnictwa

W niektórych materiałach przy bardzo niskiej temperaturze zachodzi nagle zjawisko:

$$R = 0$$

czyli **nadprzewodnictwo**.

Zostało ono odkryte w 1911 r. przez Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926).

Dzieje się to przy temperaturze zwanej **temperaturą krytyczną** T_c . Przykłady:

materiał	temperatura krytyczna
rtęć	4,2 K
ołów	7,2 K
niob	9,3 K

Mechanizm fizyczny

W bardzo niskiej temperaturze elektrony tworzą **pary Coopera**.

Opisuje to teoria BCS opracowana przez:

- John Bardeen (1908–1991)
- Leon Cooper (1930–)
- John Robert Schrieffer (1931–2019)

Elektrony w parach poruszają się w kryształ **bez rozpraszania**, dlatego opór znika.

Zadanie

Metalowy przewodnik ma opór $R_0 = 80 \, \Omega$ w temperaturze 20°C .

Temperaturowy współczynnik oporu przewodnika wynosi $\alpha = 0,004 \, 1/\text{K}$.

Przewodnik podłączono do źródła napięcia $12 \, \text{V}$.

Polecenia

- Oblicz natężenie prądu płynącego w przewodniku w temperaturze 20°C .
- Oblicz opór przewodnika w temperaturze 120°C .
- Oblicz natężenie prądu w tej temperaturze.

Rozwiązanie

a)

Z prawa Ohma

$$I = \frac{U}{R}$$
$$I = \frac{12}{80}$$
$$I = 0,15 \, \text{A}$$

b)

$$\Delta T = 120^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 100 \, \text{K}$$
$$R = 80(1 + 0,004 \cdot 100)$$
$$R = 80(1 + 0,4)$$
$$R = 80 \cdot 1,4$$
$$R = 112 \, \Omega$$

c)

$$I = \frac{U}{R}$$
$$I = \frac{12}{112}$$
$$I \approx 0,107 \, \text{A}$$

Odpowiedź

Natężenie prądu zmniejsza się z $0,15 \, \text{A}$ do $0,107 \, \text{A}$

ponieważ wraz ze wzrostem temperatury **opór przewodnika rośnie**.