

1. Wprowadzenie

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie szerokości przerwy energetycznej materiału półprzewodnikowego.

Ze względu na zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego ciała stałe można podzielić na przewodniki, półprzewodniki i izolatory.

Przewodniki

W przewodnikach nie ma przerw między pasmami walencyjnym i przewodnictwa. W niektórych metalach pasma przewodnictwa i walencyjne częściowo się pokrywają. Oznacza to, że elektrony mogą swobodnie przemieszczać się między pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa. Pasma przewodnictwa jest tylko częściowo wypełnione. Oznacza to, że są w nim miejsca, do których elektrony mogą się przemieszczać. Gdy elektrony z pasma walencyjnego przechodzą do pasma przewodnictwa, mają swobodę ruchu. Umożliwia to przewodzenie.

Izolatory

Izolatory mają dużą przerwę między pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa. Pasma walencyjne jest pełne, ponieważ żadne elektrony nie mogą przejść do pasma przewodnictwa. W związku z tym pasmo przewodnictwa jest puste. Tylko elektrony w paśmie przewodnictwa mogą się łatwo przemieszczać, więc ponieważ w paśmie przewodnictwa izolatora nie ma elektronów, materiał nie może przewodzić prądu.

Półprzewodniki

W półprzewodnikach przerwa między pasmem walencyjnym a pasmem przewodnictwa jest dużo mniejsza niż w izolatorach. W temperaturze pokojowej dostępna jest wystarczająca ilość energii, aby przenieść część elektronów z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa. Umożliwia to przewodzenie.

Wzrost temperatury zwiększa przewodnictwo półprzewodnika, ponieważ więcej elektronów będzie miało wystarczającą energię, aby przejść do pasma przewodnictwa. Co zostało wykazane w doświadczeniu

Wyróżniamy trzy typy półprzewodników: samoistne i domieszkowe typu p i n. Samoistny półprzewodnik jest bardzo czysty chemicznie. Składa się tylko z jednego rodzaju elementu w tych materiałach prąd płynie w wyniku ruchu elektronów swobodnych i dziur (dziury to rodzaj nośnika ładunku odpowiedzialne wraz z elektronami za przepływ prądu. Dziury są dodatnio naładowanymi nośnikami). Całkowity prąd jest sumą prądu elektronowego wynikającego z

termicznie generowanych elektronów i prądu dziurowego. Przewodność półprzewodników można znacznie poprawić, wprowadzając niewielką liczbę odpowiednich atomów zastępczych. W wyniku których powstają półprzewodniki domieszkowe typu p i n. W półprzewodnikach domieszkowych typu n do atomów z grupy 14 domieszane są atomy pierwiastków z grupy 15. Cztery elektrony atomu domieszkowego łączą się z innymi atomami w sieci krystalicznej. Piąty elektron atomu z domieszki jest słabo związany, dzięki czemu nawet w temperaturze pokojowej staje się elektronem swobodnym. W półprzewodniki typu p nośnikami prądu są dodatnie dziury. w takich półprzewodnikach do atomów pierwiastków 14 grupy domieszane są atomy pierwiastków z 13 grupy. Do pełnego wiązania brakuje jednego elektronu, to puste miejsce nazywa się dziurą. Może być ona zapełniona elektronem oswobodzonym z którejś z par elektronowych, przez np. dostarczenie energii cieplnej.

2. Opis Stanowiska

Stanowisko składa się tranzystora, który podgrzewa dwa termistory i potencjometru, który reguluje natężenie prądu płynącego przez termistory. Opór i temperatura mierzone są miernikami cyfrowymi. Celem badania jest wyznaczenie szerokości przerwy energetycznej półprzewodnika.

3. Wykres

Na początku należy obliczyć swoje niepewności pomiarowe. By obliczyć niepewność pomiarową należy spojrzeć w dokumentację maszyny i wybrać odpowiednią funkcję i zakres.

Niepewność $u(V)$ dla multimetru V-561 na podstawie instrukcji obliczyliśmy ze wzoru:

$$u(mV) = \frac{\textit{klasa} * \textit{wskazanie} + b * C}{\sqrt{3}}$$

Gdzie :

-klasa = 0,5% = 0,005,

-b=1,

- C(rozdzielczość)= 1 mV =

Niepewność $u(R1)$ dla multimetru M80 policzyliśmy z następującego wzoru:

$$u(mV) = \frac{\textit{klasa} * \textit{wskazanie} + b * C}{\sqrt{3}}$$

Gdzie

-klasa=1,2% = 0,012,

-n=10,

-C(rozdzielczość)=0,1 kΩ

Niepewność u(R2) dla multimetru Metex 3650 policzyliśmy z następującego wzoru:

$$u(mV) = \frac{\textit{klasa} * \textit{wskazanie} + b * C}{\sqrt{3}}$$

Gdzie

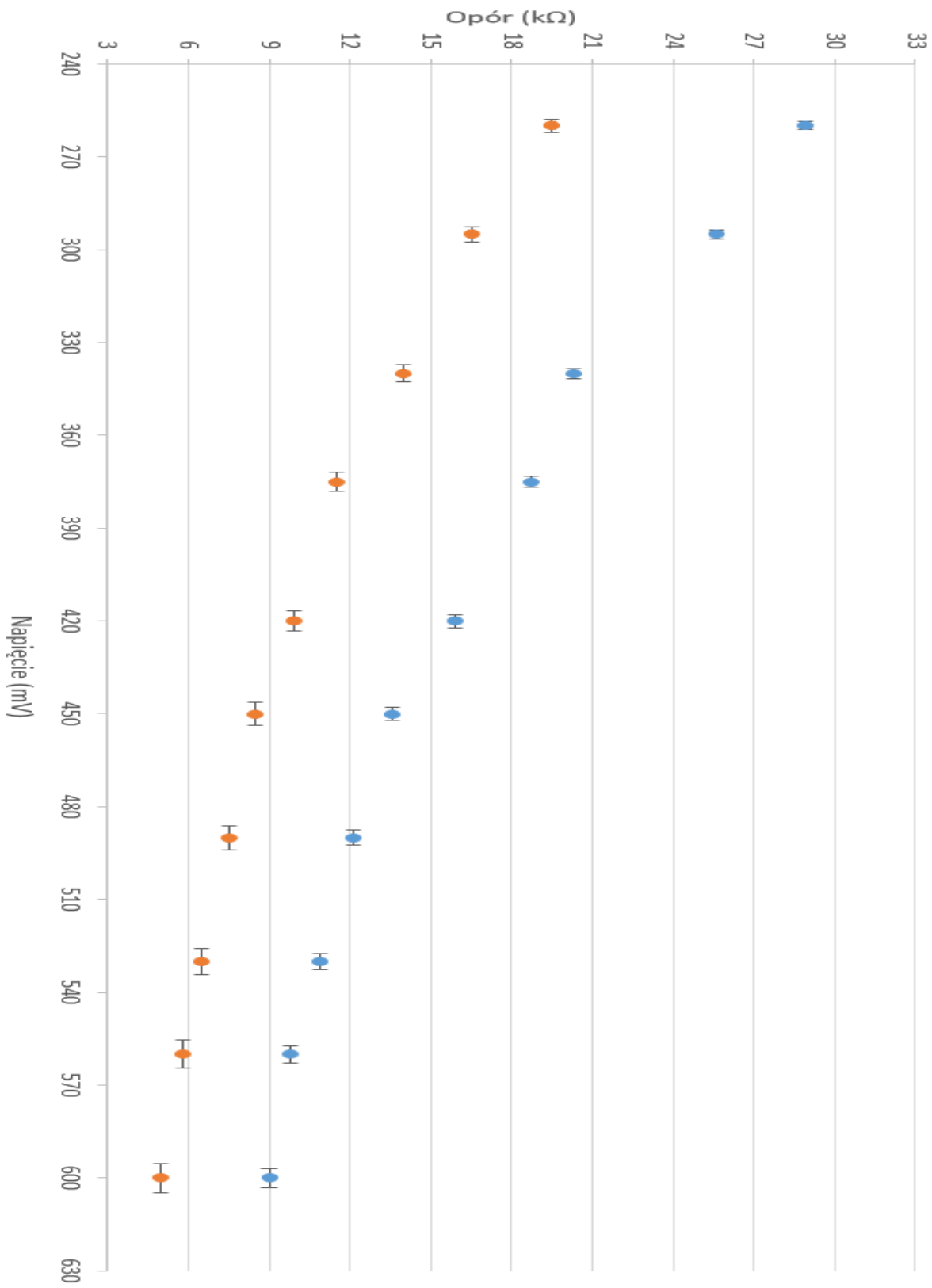
-klasa=0,5% = 0,005,

-n=1,

-C(rozdzielczość)=0,1 kΩ

| Pomiar T(mV) | u(T) | Pomiar R1(kΩ) | u(R1) | Pomiar R2(kΩ) | u(R2) |
|--------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 260 | 1,32790 6 | 19,50 | 0,71245 | 29,9 | 0,14404 9 |
| 295 | 1,42894 2 | 16,50 | 0,69166 6 | 25,6 | 0,13163 6 |
| 340 | 1,55884 6 | 14,00 | 0,67434 5 | 20,3 | 0,11633 6 |
| 375 | 1,65988 2 | 11,50 | 0,65702 5 | 18,7 | 0,11171 7 |
| 420 | 1,78978 6 | 9,90 | 0,64593 9 | 15,9 | 0,10363 4 |
| 450 | 1,87638 8 | 8,50 | 0,63624 | 13,6 | 0,09699 5 |
| 490 | 1,99185 8 | 7,50 | 0,62931 2 | 12,1 | 0,09266 5 |
| 530 | 2,10732 8 | 6,50 | 0,62238 4 | 10,9 | 0,08920 1 |
| 560 | 2,19393 1 | 5,80 | 0,61753 4 | 9,8 | 0,08602 5 |
| 600 | 2,30940 1 | 5,00 | 0,61199 1 | 9 | 0,08371 6 |

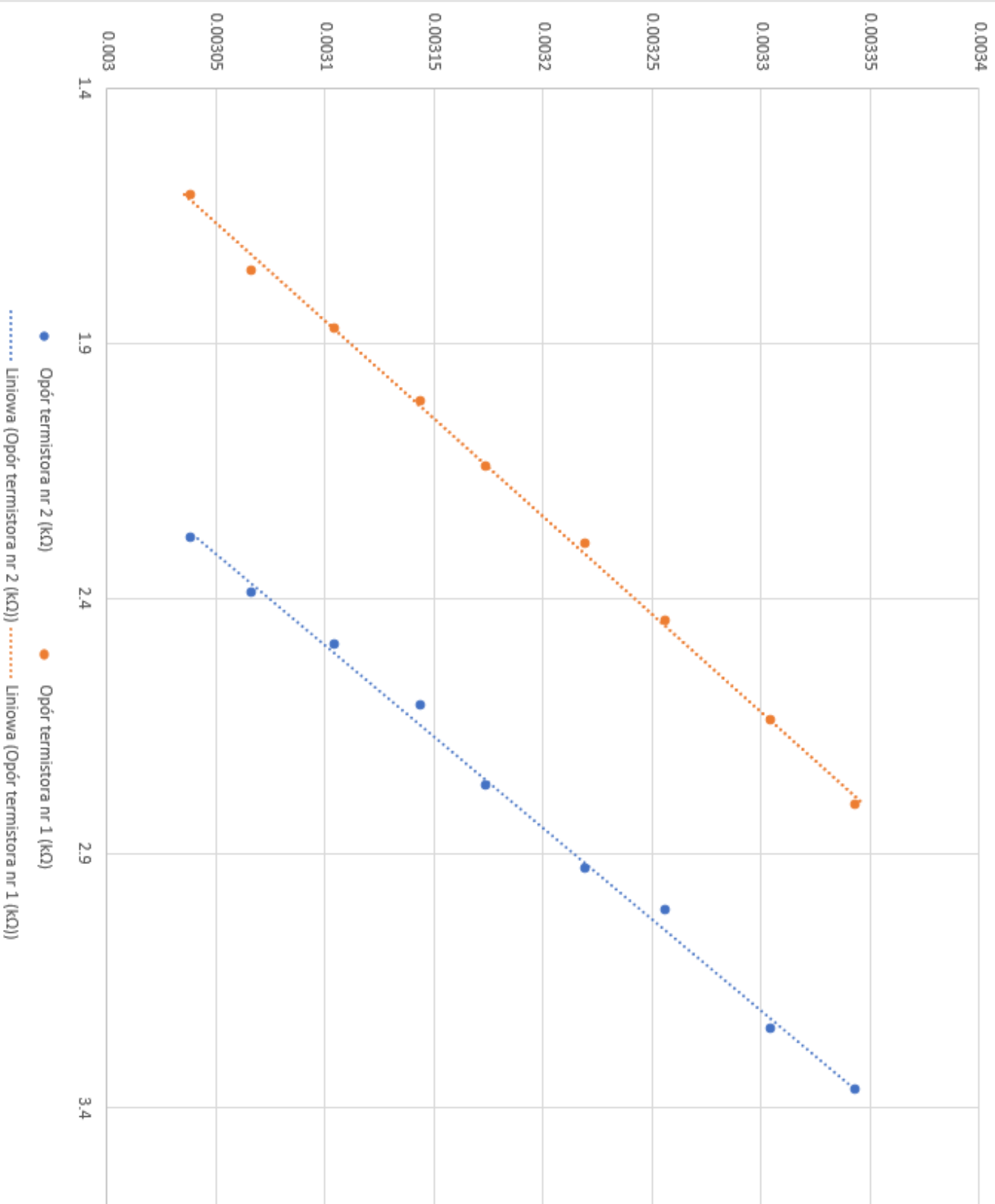
Wykres zależności oporu R od temperatury T dla obu termistorów



Następnie tworzymy wykres zależności logarytmu naturalnego oporności od odwrotności temperatury.

| $1/T[1/K]$ | $\ln R_1$ | $\ln R_2$ |
|------------|-----------|-----------|
| 0,00346 | 3,03392 | 3,47102 |
| 0,00331 | 2,76031 | 3,23848 |
| 0,00326 | 2,63218 | 3,11381 |
| 0,00323 | 2,51019 | 3,02128 |
| 0,00320 | 2,49104 | 2,94382 |
| 0,00317 | 2,33438 | 2,85382 |
| 0,00314 | 2,12573 | 2,65123 |
| 0,00311 | 2,00148 | 2,56482 |
| 0,00309 | 1,87210 | 2,47034 |
| 0,00307 | 1,79175 | 2,38312 |
| 0,00303 | 1,66770 | 2,28129 |

Wykres zależności logarytmu naturalnego oporności od odwrotności temperatury



Obliczenia

Wzór:

$$R=R_0e^{\Delta E/2kT}$$

opisuje zależność oporu od temperatury. Logarytmując otrzymujemy:

$$\ln R = \Delta E/2kT + \ln R_0$$

Obliczamy współczynnik kierunkowy:

$$a = \Delta E/2k$$

Następnie obliczam przerwę energetyczną ΔE ze wzoru:

$$\Delta E = 2ka$$

gdzie k to $1,3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – stała Boltzmanna

Dla Termistora nr I, przy ogrzewaniu:

$$a = 4189,81 \text{ K}$$

$$U(a) = 12,78 \text{ K}$$

Natomiast dla Termistora nr II, przy ogrzewaniu:

$$b = 4176,12 \text{ K}$$

$$U(b) = 11,21 \text{ K}$$

Następnie obliczamy szerokość przerwy energetycznej dla Termistora nr I oraz Termistora nr II używając następującego wzoru:

$$\Delta E = 2 \cdot k \cdot a \cdot s$$

gdzie k to $1,3806488 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ – stała Boltzmanna,

a – współczynnik funkcji liniowej dopasowanej do punktów pomiarowych za pomocą metody regresji liniowej,

$s = 0,62415 \cdot 10^{19} \text{ eV}$ (stała użyta do uzyskania wyniku w eV).

Dla Termistora nr I:

$$\Delta E = 2 \cdot k \cdot a \cdot s = 0,6319 \text{ eV}$$

Obliczamy niepewność wyznaczonej szerokości przerwy energetycznej:

$$u(\Delta E) = 2 \cdot k \cdot u(a) \cdot s = 0,0065 \text{ eV}$$

Powtarzamy obliczenia dla Termistora nr II:

$$\Delta E = 2 \cdot k \cdot b \cdot s = 0,5512 \text{ eV}$$

$$u(\Delta E) = 2 \cdot k \cdot u(b) \cdot s = 0,0057 \text{ eV}$$

Do określenia zgodności wyników oraz sprawdzenia, czy termistory są jednakowe, obliczono niepewność rozszerzoną z następującego wzoru:

$$| \Delta E_1 - \Delta E_2 | \leq U(\Delta E_1 - \Delta E_2)$$

Po podstawieniu odpowiednich wartości do wzoru:

$$(|0,6319 - 0,5512|) / \sqrt{([0,0065]^2 + [0,0057]^2)} \approx 9,3$$

Więc

$$9,3 \geq 2$$

5. Podsumowanie

Zamierzeniem ćwiczenia było wyznaczenie pasma wzbronionego półprzewodnika. By to osiągnąć przeprowadzono pomiary oporności termistorów w zależności od temperatury przez ogrzewanie. Narysowane wykresy zależności wskazują, że wraz ze wzrostem temperatury opór maleje, co jest zgodne ze wzorem teoretycznym. Logarytmując ten wzór otrzymano zależność liniową. Po naniesieniu punktów na wykres tej zależności obliczono z regresji liniowej współczynniki prostych dopasowanych do tych punktów. Obliczone współczynniki kierunkowe tych prostych pozwoliły wyznaczyć pasmo wzbronione dla obu termistorów. Były one różne co dowodzi że nie są wykonane z tych samych materiałów.