

## Ćwiczenie 31

### Wyznaczanie szerokości przerwy energetycznej w germanie.

#### 31.1. Zasada ćwiczenia

W ćwiczeniu badana jest przewodność elektryczna próbki kryształu germanu w funkcji natężenia temperatury. Na podstawie pomiarów określona zostaje szerokość przerwy energetycznej w germanie.

#### 31.2. Wiadomości teoretyczne

Przewodność właściwa materiałów zdefiniowana jest jako:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{I L}{U S} \quad (31.1)$$

gdzie:  $\rho$  - opór właściwy materiału,  $I$  – natężenie prądu płynącego przez próbkę,  $U$  – różnica potencjałów między dwoma przeciwległymi punktami próbki oddalonymi od siebie o  $L$ ,  $S$  – pole przekroju poprzecznego próbki.

W przypadku półprzewodników przewodność elektryczna jest sumą przewodności związanej z ruchem elektronów i dziur:

$$\sigma = e (n\mu_n + p\mu_p) \quad (31.2)$$

gdzie:  $n$  i  $p$  oznaczają odpowiednio koncentracja elektronów i dziur;  $\mu_n$ ,  $\mu_p$  – ruchliwość elektronów i dziur.

Zarówno koncentracja nośników jak i ich ruchliwość są wielkościami zależnymi od temperatury kryształu.

W ogólności zależność przewodności właściwej od odwrotności temperatury przedstawia rys. 31.1. Można tu wyróżnić 3 obszary:

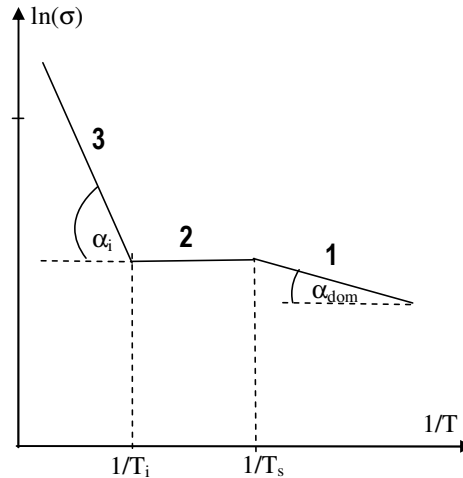
1. zakres niskich temperatur - obszar przewodnictwa niesamoistnego – temperaturowy wzrost przewodności półprzewodnika w tym obszarze spowodowany jest głównie jonizacją atomów domieszek. Górną granicę tego zakresu temperatur nazywamy temperaturą wyczerpania domieszki  $T_s$ . Zależność przewodności można przedstawić wzorem:

$$\sigma_d(T) = \sigma_{0d} e^{\frac{-E_d}{2kT}} \quad (31.3)$$

którą po logarytmowaniu można zapisać w postaci:

$$\ln(\sigma_d) = \ln(\sigma_{0d}) - \frac{E_d}{2kT} \quad (31.4)$$

gdzie:  $E_d$  – wartość energia jonizacji domieszki,  $k$  – stała Boltzmanna,  $T$  – temperatura bezwzględna,  $\sigma_{0d}$  – stała, słabo zależna od temperatury. Wyznaczenie współczynnika kierunkowego tej prostej umożliwia obliczenie wartości energii jonizacji domieszki.



Rys. 31.1. Zależność przewodnictwa elektrycznego półprzewodników domieszkowych od temperatury.

2. zakres pośrednich temperatur – obszar między temperaturą wyczerpania domieszek  $T_s$  a temperaturą przejścia półprzewodnika w obszar przewodnictwa samoistnego  $T_i$ . Zależność temperaturowa przewodności uwarunkowana jest tu głównie zachowaniem ruchliwości ładunków, ponieważ koncentracja nośników jest względnie stała. Ruchliwość nośników może maleć lub rosnać wraz z temperaturą, zależnie od typu mechanizmu rozpraszania. W niższej temperaturze w półprzewodnikach domieszkowanych dominującym efektem jest rozpraszanie na jonach domieszek, co powoduje wzrost ruchliwości ze wzrostem temperatury. W obszarze wyższej temperatury ważniejszą rolę odgrywa efekt rozpraszania nośników na drganiach sieci, co powoduje zmniejszanie się ruchliwości nośników ładunku.

3. zakres wysokich temperatur – obszar przewodnictwa samoistnego. W tym obszarze wzrost przewodnictwa spowodowany jest wzrostem ilości nośników generowanych termicznie z pasma walencyjnego do pasma przewodzenia w półprzewodnikach samoistnych oraz domieszkowych. Przewodność właściwa zależy od temperatury zgodnie z funkcją:

$$\sigma(T) = \sigma_0 e^{\frac{-E_g}{2kT}} \quad (31.5)$$

### Wyznaczanie przerwy energetycznej w germanie

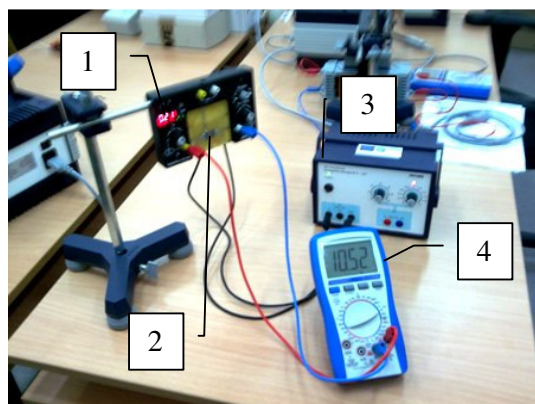
gdzie  $E_g$  – wartość przerwy wzbronionej w kryształach,  $k$  – stała Boltzmana,  $T$  – temperatura bezwzględna,  $\sigma_0$  – stała.

Zależność powyższą można przekształcić do postaci:

$$\ln(\sigma) = \ln(\sigma_0) - \frac{E_g}{2kT} \quad (31.6)$$

Wyznaczenie współczynnika kierunkowego tej prostej umożliwia obliczenie wartości przerwy energetycznej w monokryształach germanu.

### 31.3. Aparatura pomiarowa



1. Moduł pomiarowy;
2. Płytki półprzewodnika;
3. Zasilacz;
4. Multimetr cyfrowy;

Rys. 31.2. Widok aparatury pomiarowej.

### 31.4. Zadania

1. Zmierzyć zależność napięcia w próbce germanu niedomieszkowanego od temperatury przy stałej wartości natężenia prądu (5mA) oraz braku pola magnetycznego.
2. Zmierzyć zależność napięcia w próbce germanu domieszkowanego od temperatury przy stałej wartości natężenia prądu (30mA) oraz braku pola magnetycznego.
3. Wykonać wykresy zależności  $\ln(\sigma) = f(T^{-1})$  dla obu próbek.
4. Wyznaczyć wartość szerokości przerwy energetycznej  $E_g$  w germanie w półprzewodniku domieszkowanym i samoistnym oraz wyznaczyć jej błąd.

### 31.5. Przebieg pomiarów i opracowanie wyników

Pomiar napięcia wzdłuż próbki przeprowadza się przy użyciu uniwersalnego miernika cyfrowego, połączonego z modułem pomiarowym poprzez dolne zaciski

umieszczone na frontowej ścianie modułu. Wartość natężenia prądu i temperatury próbki odczytywana jest z wyświetlacza wbudowanego w jednostkę pomiarową. Dla próbki germanu niedomieszkowanego ustawić wartość natężenia prądu równą 5mA. Podczas ogrzewania próbki natężenie prądu zmienia się w niewielkim stopniu, natomiast napięcie w próbce zmienia się wraz z temperaturą. Przełączyć moduł pomiarowy na tryb pomiaru charakterystyki temperaturowej (przycisk „Display” wyciśnięty). Pomiar rozpoczyna się z chwilą włączenia cewki ogrzewającej próbkę za pomocą włącznika „on/off” na tylnej ścianie modułu pomiarowego. Pomiar napięcia w próbce należy przeprowadzić w zakresie zmian temperatury od ok. 20<sup>0</sup>C (temperatura pokojowa) do 160<sup>0</sup>C co 20<sup>0</sup>C. Tę samą procedurę pomiarową zastosować dla próbki półprzewodnika domieszkowanego, dla wartości natężenia prądu równej 30mA. Korzystając z metody regresji liniowej i zależności (31.6) wyznaczyć wartość szerokości przerwy energetycznej  $E_g$  w obu próbkach oraz wyznaczyć jej błąd.

### 31.6. Wymagane wiadomości

- model pasmowy ciał stałych,
- półprzewodniki, metale i izolatory w świetle teorii pasmowej,
- półprzewodniki samoistne i domieszkowe,
- przewodnictwo elektryczne półprzewodników

### 31.7. Literatura

- [1] Zubek M., Kuczkowski A.: II Pracownia Fizyczna. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.
- [2] Bobrowski Cz. : Fizyka - krótki kurs. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2005.
- [3] Halliday D, Resnick R., Walker J.: Podstawy fizyki, t.5. PWN 2003.