



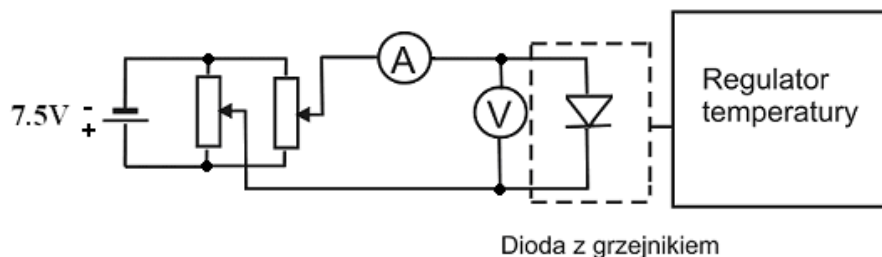
## Ćw. II. Pomiary charakterystyk I-V-T złącza $p-n$

### Cel ćwiczenia

Pomiary charakterystyk prądowo-napięciowych krzemowego złącza  $p-n$  w kilku różnych temperaturach. Wyznaczenie przerwy energetycznej złącza.

### Układ pomiarowy

Schemat układu pomiarowego przedstawia Rys. 1.



Rysunek 1. Układ do pomiarów charakterystyk I-V-T diody krzemowej.

W skład stanowiska pomiarowego wchodzi:

- regulator temperatury o zakresie regulacji od  $0^{\circ}\text{C}$  do  $100^{\circ}\text{C}$ ,
- skrzynka pomiarowa, w której znajduje się badana dioda krzemowa wraz z grzejnikiem,
- multimetry METEX wyposażone w wyjście RS232 umożliwiające komunikację z komputerem,
- komputer służący do rejestracji i wizualizacji danych pomiarowych.

### Zadania do wykonania

1. Połączyć układ wg schematu przedstawionego na Rys. 1.
2. W obecności prowadzącego włączyć regulator temperatury i potencjometrem, znajdującym się na płycie czołowej regulatora, ustawić żadaną wartość temperatury. Potencjometr ten został wykalibrowany w ten sposób, że pozycji 0 odpowiada  $0^{\circ}\text{C}$ , zaś pozycji 10 odpowiada  $100^{\circ}\text{C}$ .
3. Dla ustalonej temperatury zmierzyć charakterystykę prądowo – napięciową diody krzemowej, spolaryzowanej w kierunku przewodzenia.
4. Powtórzyć pomiary dla kilku różnych temperatur ustalonych przez prowadzącego.

**Uwaga:** Nie przekraczać temperatury  $60^{\circ}\text{C}$  !



## Opracowanie wyników pomiarów

1) Wykorzystując wyniki pomiarów narysować charakterystyki I-V (wykresy punktowe) dla różnych temperatur. Następnie obliczyć i zaznaczyć na wykresach niepewności pomiaru prądu  $u(I) = \frac{\text{dokładność pomiaru prądu}}{\sqrt{3}}$  i napięcia  $u(U) = \frac{\text{dokładność pomiaru napięcia}}{\sqrt{3}}$ , korzystając z formuł podanych w instrukcjach do multimetrów.

2) Z wykresów I-V dla różnych temperatur wyznaczyć wysokości potencjału wbudowanego  $V_{bi}$  w złączu p-n z przecięcia osi napięcia z przedłużeniem prostej najlepiej dopasowanej do charakterystyki w zakresie dużych napięć:

$$V_{bi} = -\frac{b}{a},$$

gdzie  $a$  i  $b$  – współczynniki regresji w równaniu  $y = ax + b$ . Obliczyć niepewność pomiaru potencjału wbudowanego, korzystając z niepewności wynikających z regresji liniowej  $\Delta a$  i  $\Delta b$ :

$$u(V_{bi}) = \sqrt{\left[\frac{b}{a^2}\Delta a\right]^2 + \left[\frac{1}{a}\Delta b\right]^2}.$$

3) Narysować wykres zależności  $V_{bi} = f(T)$  i zaznaczyć na nim prostokąty niepewności dla każdego punktu – niepewność wartości potencjału wbudowanego wziąć z poprzedniego punktu, niepewność temperatury  $u(T) = \frac{\text{dokładność podziałki na skali}}{\sqrt{3}}$ . Na jego podstawie wyznaczyć temperaturowy współczynnik  $dV_{bi}/dT$  (korzystając z regresji liniowej  $dV_{bi}/dT = a$ , gdzie  $a$  – współczynnik kierunkowy prostej aproksymującej punkty na wykresie). Określić niepewność współczynnika temperaturowego  $u(dV_{bi}/dT) = \Delta a$ . Otrzymaną wartość współczynnika temperaturowego porównać z danymi literaturowymi.

4) Narysować charakterystyki  $\ln I = f(V)$  dla poszczególnych temperatur, przy czym prąd wyrazić w [A] a napięcie w [V] (uwaga: w programie komputerowym wartości prądu i napięcia podane są odpowiednio w [mA] i [mV]). Następnie wyznaczyć wartości prądów nasycenia  $I_0$ , znając wartość współczynnika przecięcia  $b$  prostej  $y = ax + b$ , otrzymanej z dopasowania liniowej części charakterystyki  $\ln I = f(V)$ .

Ponieważ dla napięć takich, że  $\frac{qV}{kT} \geq 3$  można we wzorze  $I = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right]$  pominąć 1, wówczas:  $I \cong I_0 \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)$ . Logarytmując obie strony równania otrzymujemy:



$$\begin{cases} \ln I = f(V) \\ y = ax + b \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \ln I = \ln I_0 + \frac{q}{nkT} \cdot V \\ y = ax + b \end{cases} \rightarrow \begin{cases} a = \frac{q}{nkT} \\ b = \ln I_0 \end{cases}$$

Zatem  $I_0 = \exp(b)$ .

**Uwaga:** Za T podstawiać wartości temperatur w [K] a nie w [°C].

Obliczyć niepewności wartości prądu nasycenia, korzystając ze wzoru:

$$u(I_0) = e^b \cdot \Delta b,$$

gdzie  $\Delta b$  to niepewność wynikająca z regresji liniowej.

5) Sporządzić wykres zależności  $\ln\left(\frac{I_0}{T^2}\right) = f\left(\frac{1}{T}\right)$ . Następnie aproksymować otrzymane punkty wykresu linią prostą o równaniu  $y = ax + b$ . Znając współczynnik kierunkowy prostej obliczyć wartość przerwy wzbronionej  $E_g$  półprzewodnika, z którego wykonano złącze  $p-n$  ze wzoru:

$$E_g = -2ka,$$

gdzie  $k$  – stała Boltzmann.

Obliczyć niepewność przerwy wzbronionej za pomocą wzoru:

$$u(E_g) = 2k\Delta a,$$

gdzie  $\Delta a$  to niepewność wynikająca z regresji liniowej.

Porównać otrzymaną wartość  $E_g$  badanego złącza  $p-n$  z wartością przerwy energetycznej krzemu.

## Materiały pomocnicze

1. Opis teoretyczny do ćwiczenia.

Opracowanie: Z. Gumienny, E. Popko, E. Zielony