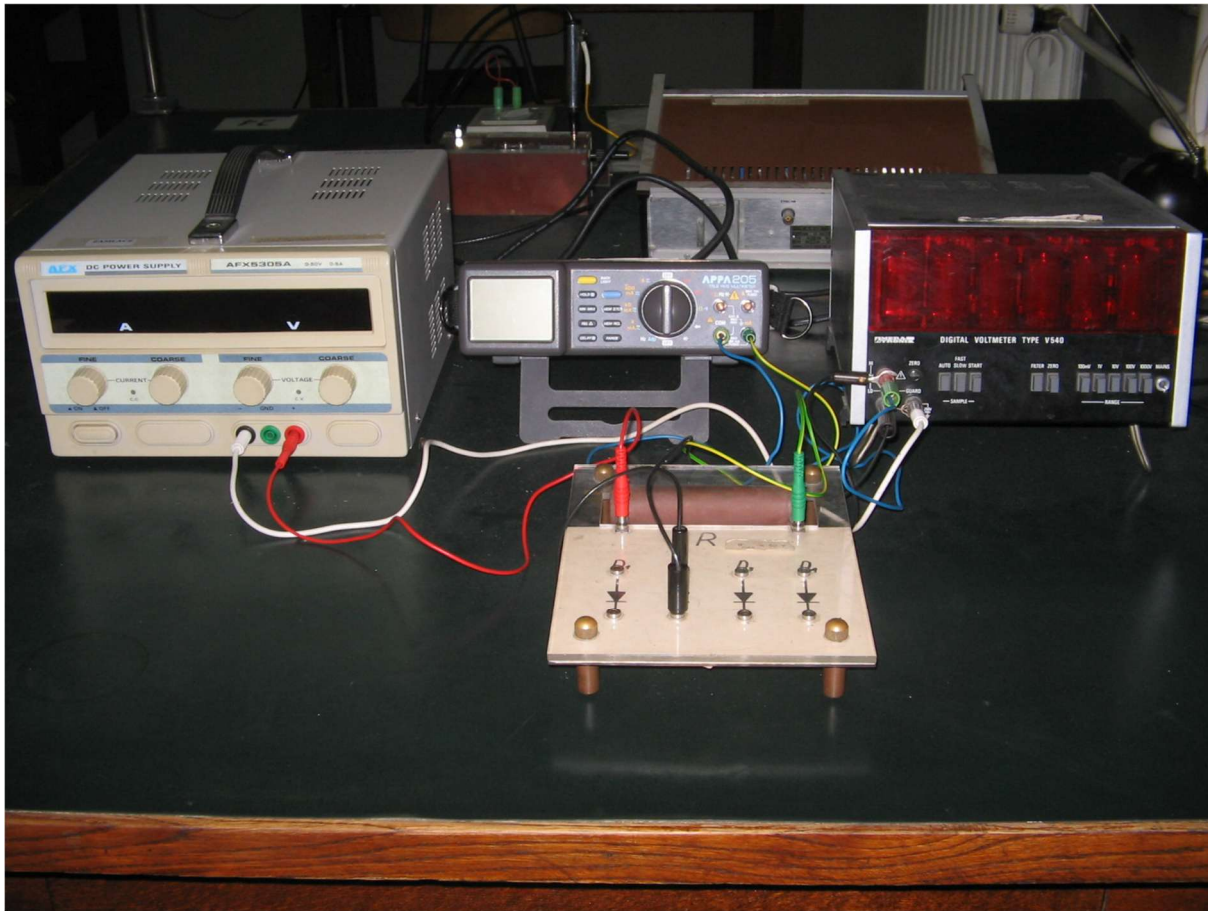


BADANIE CHARAKTERYSTYKI DIODY PÓŁPRZEWODNIKOWEJ



1. Opis teoretyczny do ćwiczenia

zamieszczony jest na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

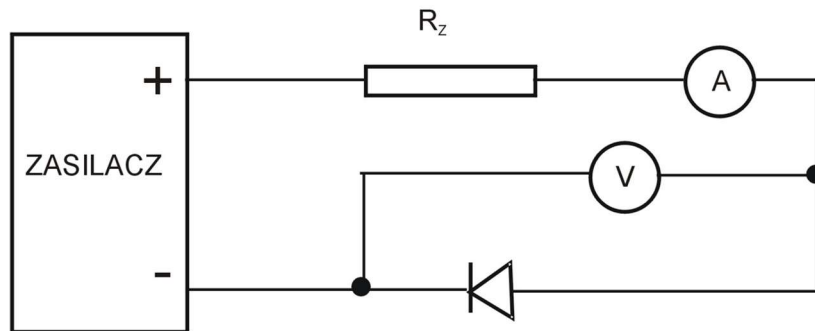
2. Opis układu pomiarowego

Ćwiczenie wykonywane jest ze wskazaną przez wykładowcę diodą w dwóch różnych układach pomiarowych służących do mierzenia charakterystyki $I - U$ w kierunku przewodzenia i zaporowym. W obydwu układach wykorzystuje się te same elementy obwodu.

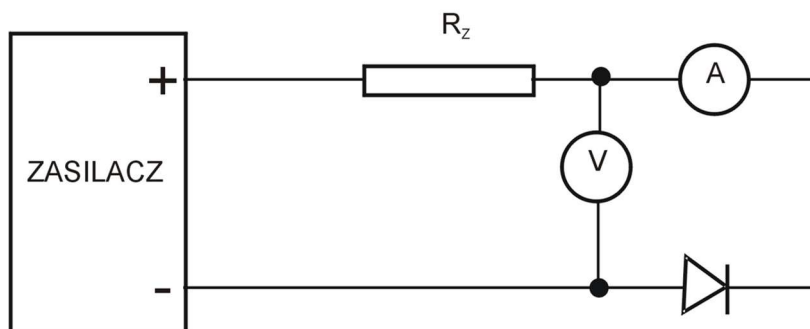
Pomiar charakterystyki $I - U$ diody w kierunku przewodzenia przeprowadza się w układzie pomiarowym przedstawionym na rysunku **a)**. W skład układu wchodzi: zasilacz, badana dioda, woltomierz cyfrowy, amperomierz oraz rezystor zabezpieczający R_z . Amperomierz w tym układzie pomiarowym wskazuje sumę prądów płynących w diodzie i przez woltomierz. Trzeba jednak zauważyć, że rezystancja wewnętrzna woltomierza cyfrowego jest znacznie większa w porównaniu z małą rezystancją diody spolaryzowanej w kierunku przewodzenia, a więc prąd płynący przez woltomierz jest znacznie mniejszy niż prąd płynący przez diodę. W ten sposób amperomierz praktycznie mierzy prąd płynący przez diodę.

Pomiar charakterystyki diody w kierunku zaporowym przeprowadza się w układzie pomiarowym przedstawionym na **b)**. W tym układzie pomiarowym woltomierz wskazuje sumę napięć na diodzie i na amperomierzu. Ponieważ rezystancja wewnętrzna amperomierza jest bardzo mała w porównaniu z rezystancją diody spolaryzowanej zaporowo, spadek napięcia na amperomierzu można pominąć w porównaniu ze spadkiem napięcia na diodzie i praktycznie woltomierz wskazuje napięcie na diodzie.

a)



b)



Schematy układów do wyznaczania charakterystyki $I - U$ diody:
 a) w kierunku przewodzenia, b) w kierunku zaporowym.

3. Przeprowadzenie pomiarów

A. Pomiar charakterystyki diody w kierunku przewodzenia

1. Zmontować obwód według schematu na rysunku **a)**. Do pomiaru natężenia i napięcia prądu podłączyć odpowiedni miernik.
2. Ustawić amperomierz i woltomierz na największy zakres.
3. Na zasilaczu ustawić najmniejsze możliwe napięcie, następnie włączyć zasilacz.
4. Zmniejszyć zakres woltomierza (np. do 1 V), tak by wskazania go nie przekraczały.
5. Wykonać pomiary natężenia prądu dla napięć od 600 mV do 900 mV co 20 mV. Napięcie zwiększać regulując napięcie wyjściowe zasilacza. Zwiększać zakres amperomierza, tak by wskazania go nie przekraczały.

B. Pomiar charakterystyki diody w kierunku zaporowym

1. Zmontować obwód według schematu na rysunku **b)**. Do pomiaru natężenia i napięcia prądu podłączyć odpowiedni miernik.
2. Ustawić amperomierz i woltomierz na największy zakres.
3. Na zasilaczu ustawić najmniejsze możliwe napięcie, następnie włączyć zasilacz.
4. Zmniejszyć zakres woltomierza (np. do 100 V), tak by wskazania go nie przekraczały.
5. Wykonać pomiary natężenia prądu dla napięć: 0,5, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 V. Napięcie zwiększać regulując napięcie wyjściowe zasilacza. Zwiększać zakres amperomierza, tak by wskazania go nie przekraczały.

4. Opracowanie wyników pomiarów

Wykonanie wykresu (1)

charakterystyki prądowo-napięciowej diody w kierunku przewodzenia

1. Nanieść punkty pomiarowe (wraz z niepewnościami) charakterystyki prądowo-napięciowej diody dla kierunku przewodzenia (Wykres 1). Dobrać odpowiednio skale dla osi prądu i napięcia.
2. Wyznaczyć rezystancje różniczkowe diody dla dwóch wybranych napięć. Rezystancja różniczkowa w danym punkcie wykresu jest równa współczynnikowi kierunkowemu stycznej do wykresu. Narysować styczne do charakterystyki i oszacować wartość ich współczynników kierunkowych.

Wykonanie wykresu (2)

charakterystyki prądowo-napięciowej diody w kierunku zaporowym

3. Nanieść punkty pomiarowe (wraz z niepewnościami) charakterystyki prądowo-napięciowej diody dla kierunku zaporowego (Wykres 2). Dobrać odpowiednio skale dla osi prądu i napięcia.
4. Wyznaczyć rezystancje różniczkowe diody dla dwóch wybranych napięć. Rezystancja różniczkowa w danym punkcie wykresu jest równa współczynnikowi kierunkowemu stycznej do wykresu. Narysować styczne do charakterystyki i oszacować wartość ich współczynników kierunkowych.
5. Oszacować na wykresie wartość I_s dla której wartość prądu nie ulega zmianie mimo zmiany wartości napięcia.

Wykonanie wykresu (3)

logarytmicznej charakterystyki prądowo-napięciowej diody w kierunku przewodzenia

6. W punkcie 7 wykonać wykres (3) $\ln I = \left(\frac{e}{\beta k T}\right) U + \ln I_s$ gdzie:
 I_s – tzw. prąd nasycenia (wyznaczany w punkcie 12), e – ładunek elementarny, k – stała Boltzmanna, β - współczynnik proporcjonalności (wyznaczany w punkcie 8) między składową prądu dyfuzyjnego ($\beta = 1$) i rekombinacyjnego ($\beta = 2$), T – temperatura termodynamiczna (przyjmujemy temperaturę otoczenia w czasie pomiarów).
 Zwrócić szczególną uwagę na to, aby oś $\ln I$ przechodziła przez punkt $U = 0$. Nanoszenie niepewności pomiarowych nie jest konieczne.
7. Metodą najmniejszych kwadratów wyznaczyć parametry prostej $y = \bar{a}x + \bar{b}$, gdzie $x = U$, $y = \ln(I)$, oraz ich niepewności:

$$\bar{a} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right)}{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right)}, \quad \bar{b} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)}{n},$$

$$u(\bar{a}) = \sigma_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{n}{n-2} \cdot \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i^2\right) - \bar{a} \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i\right) - \bar{b} \cdot \left(\sum_{i=1}^n y_i\right)}{n \cdot \left(\sum_{i=1}^n x_i^2\right) - \left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}}, \quad u(\bar{b}) = \sigma_{\bar{b}} = \sigma_{\bar{a}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}.$$

Przy wyznaczaniu parametrów prostych zaleca się wykonanie tabeli zawierającym kolumny z poszczególnymi wartościami: x_i , y_i , x_i^2 , y_i^2 , $x_i \cdot y_i$ oraz ich sumy w celu uniknięcia błędów

przy przetwarzaniu wartości zmierzonych.

Prostą wraz z wyznaczonymi parametrami nanieś na wykres (3).

Wyznaczenie współczynnika proporcjonalności β i jego niepewności

$$\ln I = \left(\frac{e}{\beta k T} \right) U + \ln I_s$$

8. Na podstawie współczynnika kierunkowego wyznaczonej prostej

wyznaczyć współczynnik $\beta = \frac{e}{\bar{a} k T}$.

9. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną względną $u_{c,r}(\beta) = \sqrt{\left(\frac{u(\bar{a})}{\bar{a}} \right)^2 + \left(\frac{u(T)}{T} \right)^2}$.

10. Wyznaczyć niepewność standardową złożoną $u_c(\beta) = \beta \sqrt{\left(\frac{u(\bar{a})}{\bar{a}} \right)^2 + \left(\frac{u(T)}{T} \right)^2}$.

11. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(\beta) = 2 \cdot u_c(\beta)$.

Wyznaczenie prądu nasycenia i jego niepewności

$$\ln I = \left(\frac{e}{\beta k T} \right) U + \ln I_s$$

12. Na podstawie wyrazu wolnego wyznaczonej prostej wyznaczyć współczynnik $I_s = \exp(\bar{b})$.

13. Wyznaczyć niepewność standardową $u(I_s) = \exp(\bar{b}) u(\bar{b})$.

14. Wyznaczyć niepewność rozszerzoną $U(I_s) = 2 \cdot u_c(I_s)$.

5. Podsumowanie

1. Zgodnie z regułami prezentacji wyników zestawień wyznaczone wielkości:

$(I_S, u(I_S), u_r(I_S), U(I_S))$ oraz wartości odniesienia,
 $(\beta, u(\beta), u_r(\beta), U(\beta))$ oraz wartości odniesienia $\Delta\beta = |\beta_{\max} - \beta_{\min}|$,
 wszystkie wyznaczone wartości rezystancji różniczkowych.

2. Przeanalizować uzyskane rezultaty:

a) czy spełniona jest relacja $u_r(I_S) < 0,1$,

b) która z niepewności pomiarowych ma największy wpływ na niepewność $u_{c,r}(\beta)$,

c) czy spełniona jest relacja $u_r(\beta) < 0,1$,

d) czy spełniona jest relacja $\Delta\beta < U(\beta)$,

e) wzajemnych relacji wartości wyznaczone wartości rezystancji różniczkowych,

f) rozkład punktów na charakterystyce względem wyznaczonej prostej (wykres 3),
 pod kątem występowania i przyczyn błędów grubych, systematycznych i przypadkowych.

3. Synteza.

a) Wyciągnąć wnioski pod kątem występowania błędów grubych, systematycznych i przypadkowych oraz ich przyczyn.

b) Zaproponować działania zmierzające do podniesienia dokładności wykonywanych pomiarów.

c) Wyjaśnić czy cele ćwiczenia zostały osiągnięte.

6. Przykładowe pytania

Zamieszczone są na stronie www.wtc.wat.edu.pl w dziale
 DYDAKTYKA – FIZYKA – ĆWICZENIA LABORATORYJNE.

Zadania dodatkowe do wyznaczenia i analizy:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(m_i - \bar{m}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2} . \text{ Jego wartość}$$

1. Wyznaczyć i zapisać na wykresie współczynnik korelacji poddać analizie i syntezie.
2. Porównać wartości I_S : oszacowaną z wykresu (2) i wyznaczoną z wykresu (3). Wyciągnąć wnioski.

Zespół w składzie

.....

cele ćwiczenia:

- a) wyznaczenie parametru I_S ,
- b) wyznaczenie parametru β ,
- c) określenie charakterystyki prądowo-napięciowej diody;

3.1 Wartości teoretyczne wielkości wyznaczanych lub określanych wraz z niepewnościami:

.....

.....

.....

3.2 Parametry stanowiska (wartości i ich niepewności):

.....

.....

.....

3.3 Pomiary i uwagi do ich wykonania.

Niepewność pomiaru napięcia

.....

Niepewność pomiaru natężenia

.....

Temperatura otoczenia i jej niepewność

Kierunek przewodzenia, dioda nr			Kierunek zaporowy, dioda nr		
U [mV]	na skali do	odczytano jednostek	U [V]	na skali do	odczytano jednostek
600			2		
620			4		
640			6		
660			8		
680			10		
700			12		
720			14		
740			16		
760			18		
780			20		
800			25		
820			30		
840			35		
860			40		
880			45		
900			50		

Prąd I wyznaczamy w następujący sposób: jeżeli na skali $0,15 \mu\text{A}$ odczytano 2,5 jednostki, a maksimum skali to 15 jednostek, to prąd płynący przez diodę wynosi $I = 0,15 \mu\text{A} * 2,5 / 15 = 0,025 \mu\text{A}$