

POLITECHNIKA ŁÓDZKA

INSTYTUT FIZYKI

**LABORATORIUM**  
**FIZYKI FAZY SKONDENSOWANEJ**

Ćwiczenie 9

Temperaturowa zależność  
statycznych i dynamicznych charakterystyk  
złącza **p-n**

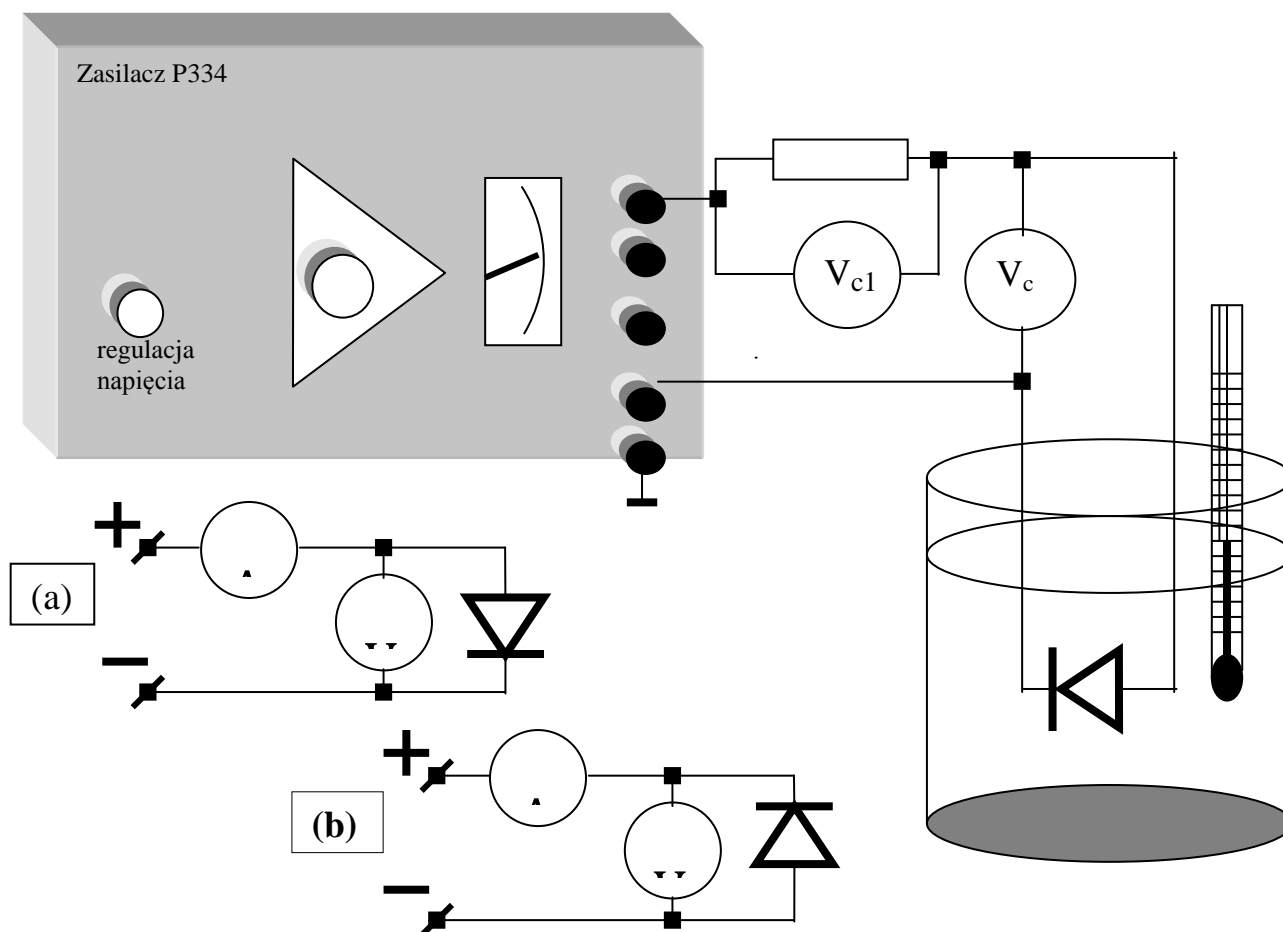
## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie wpływu temperatury na własności złącza **p-n** diod półprzewodnikowych różnych typów – typowej germanowej i krzemowej oraz tunelowej i Schottk'owego, a ponadto wykorzystanie tych własności do konstruowania termometrów półprzewodnikowych.

### Wyznaczanie charakterystyk prądowo-napięciowych

W układzie przedstawionym na rys.1. dokonać pomiaru charakterystyk  $U_D = f(I_D)$ , tzn. zależności spadku napięcia na złączu **p-n** (diodzie) w funkcji prądu przepływającego przez złącze dla:

- złącza spolaryzowanego w kierunku przewodzenia (schemat (a))
- złącza spolaryzowanego w kierunku zaporowym (schemat (b)).



Rys. 1 . Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia zależności temperaturowej charakterystyk prądowo-napięciowych złącza **p-n** (diody). Schematy ideowe dla kierunku przewodzenia (a) oraz kierunku zaporowego (b) zostały w praktyce zrealizowane bez potrzeby zmiany konfiguracji połączeń, przy użyciu zasilacza o zmiennej polaryzacji, z płynnym przejściem napięcia przez zero.

Funkcję amperomierza pełni opornik wzorcowy **1000 $\Omega$**  wraz z woltomierzem  $V_{c1}$ , mierzącym spadek napięcia na tym oporniku – prądowi **1 $\mu$ A** odpowiada spadek napięcia na oporniku równy **1mV**, prądowi **1mA** odpowiada **1V**, prądowi **10mA** odpowiada **10V** itp.

## Przebieg ćwiczenia

1. Dokonać pomiaru kilkunastu wartości prądu przepływającego przez wybraną diodę dla, nastawianych potencjometrem, wartości spadków napięć na diodzie. Przeprowadzić te pomiary zarówno dla kierunku przewodzenia, jak i kierunku zaporowego. Zanotować temperaturę w kąpeli olejowej, w której znajduje się zestaw diod. Powtórzyć pomiary dla kolejnego typu diody.
2. Uruchomić termostat nastawiając temperaturę na około  $10\div 15$  K wyższą od ostatnio ustalonej.
3. Powtórzyć czynności z punktów (1) i (2) w zakresie temperatur od pokojowej do 350 K.

## Opracowanie wyników pomiarów

1. Na podstawie wykonanych pomiarów, dla tej samej temperatury jako parametru, wykonać wykresy charakterystyk prądowo-napięciowych. Przeanalizować błędy i nanieść na wykresy odpowiednie informacje.
2. Sprawdzić prawdziwość wzoru Shockley'a wykonując wykres  $\log I = f(U)$  dla określonej temperatury. Sprawdzić ile wynosi nachylenie tego wykresu.
3. Wykonać wykres współczynnika prostowania - stosunku prądu przewodzenia do prądu wstecznego, przy tym samym napięciu – jako funkcji napięcia dla najniższej i najwyższej temperatury pomiarów.
4. Wykonać wykres oporności dynamicznej ( $r = dU/dI$ ) jako funkcji napięcia dla najniższej i najwyższej temperatury pomiarów.
5. Wyznaczyć z wykresu (p.3) prąd nasycenia  $I_0$  w poszczególnych temperaturach i sporządzić wykres  $\log I_0 = f(1/T)$ . Z nachylenia wykresu znaleźć metodą najmniejszych kwadratów **energię aktywacji prądu nasycenia**.
6. Dla wybranej wartości prądu przewodzenia sporządzić wykres  $U = f(T)$  i wyznaczyć metodą najmniejszych kwadratów **temperaturowy współczynnik napięcia na złączu**.
7. Przedstawić wnioski dotyczące wpływu temperatury na właściwości złącza **p-n**.

### Zakres obowiązującego materiału

Przewodnictwo elektryczne półprzewodników na gruncie modelu pasmowego. Budowa i parametry złącza **p-n**. Wyprowadzenie wzoru Shockley'a  $I = I_0 (\exp(qU/kT) - 1)$ . Wpływ nieliniowości charakterystyki diody półprzewodnikowej na jej zastosowania. Uzasadnienie stosowanych układów pomiarowych.

### Literatura

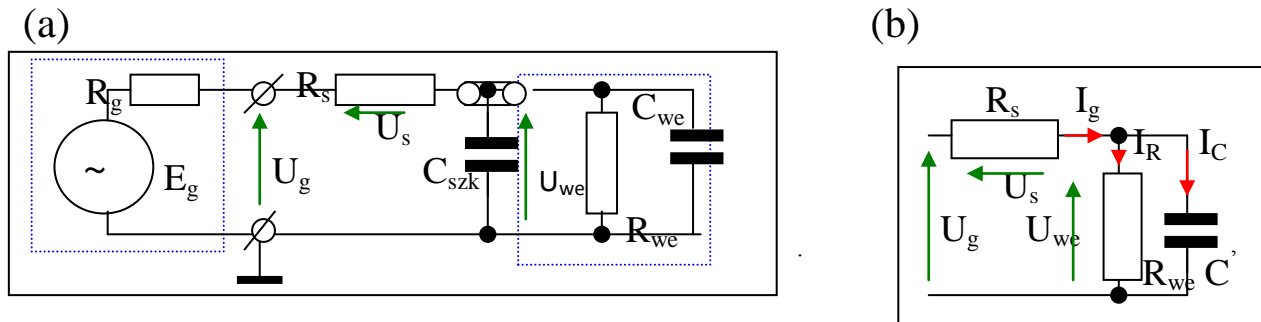
1. K.W.Szalimowa, *Fizyka półprzewodników*, PWN, Warszawa 1974.
2. A.Świt, *Przyrządy półprzewodnikowe*, WNT (wyd.II), Warszawa 1969.
- 3.G.J.Pikus, *Podstawy teorii przyrządów półprzewodnikowych*, WkiŁ, Warszawa 1968.
4. Encyklopedia Fizyki.

## Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie stanów nieustalonych w złączu **p-n** związanych z procesami przełączania złącza ze stanu przewodzenia w stan zaporowy, zależności od temperatury oraz ograniczeń stosowalności przyrządów półprzewodnikowych na bazie złączy **p-n**.

## Przebieg ćwiczenia

Przed przystąpieniem do pomiarów czasu magazynowania należy najpierw określić pojemności szkodliwe wnoszone do układu pomiarowego przez przyrządy pomiarowe i przewody łączące. W tym celu należy zmontować układ pomiarowy wg rysunku 1. Poniżej



przedstawiono schematy zastępcze ( (a)-pełny i (b)-uproszczony ) układu pomiarowego. Analizę przeprowadzamy w oparciu o schemat uproszczony, na którym  $R_s=100\text{k}\Omega$  jest pomocniczym opornikiem szeregowym,  $R_{we}=1\text{M}\Omega$  jest ekwiwalentem oporności wejściowej oscyloskopu zaś  $C'$  jest pojemnością wypadkową (sumą) pojemności wejściowej oscyloskopu  $C_{we}$  i pojemności szkodliwej przewodów łączących  $C_{szk}$ .

### 1. Oszacowanie $C'$ przy pomocy sygnału sinusoidalnego

Ustawiamy amplitudę przebiegu sinusoidalnego o częstotliwości kilkudziesięciu Hz tak aby jego obraz wypełniał maksymalnie ekran oscyloskopu. Zwiększamy częstotliwość pracy generatora aż do momentu zmniejszenia się amplitudy obserwowanego na ekranie obrazu do wartości **0.7** amplitudy początkowej. Można wówczas z pewnym przybliżeniem stwierdzić, że wartość bezwzględna spadku napięcia na pomocniczym oporniku  $R_s$  jest równa wartości bezwzględnej napięcia na wejściu oscyloskopu. Jeśli ponadto przyjąć, że wówczas moduł impedancji wejściowej (zawadę) oscyloskopu można zastąpić modulem impedancji  $X_{C'}$  to z zależności :

$$R_s = X_{C'} \text{ , wynika: } \omega * R_s * C' = 1 \text{ lub } 2 * \pi * f * R_s * C' = 1$$

### 2. Oszacowanie $C'$ przy pomocy sygnału prostokątnego

Ustawiamy częstotliwość przebiegu prostokątnego na kilkadziesiąt kHz. Na podstawie obrazu eksponenty napięcia wejściowego określamy wartość stałej czasowej  $R_s * C'$ .

## Badanie czasu magazynowania nośników mniejszościowych w złączu p-n diody półprzewodnikowej

Pomiary czasu magazynowania nośników mniejszościowych przeprowadzamy dla diody krzemowej w układzie pomiarowym jak na rysunku

1. Przerysować oscyloskopowe obrazy napięć i prądów dla różnych amplitud sinusoidalnego i prostokątnego napięcia wymuszającego. Zwracać szczególną uwagę na fragmenty krzywych związane ze zjawiskiem magazynowania nośników mniejszościowych.
2. Określić czasy magazynowania dla każdego z przypadków w temperaturze pokojowej.
3. Na podstawie obrazów prądów i napięć oszacować oporność wewnętrzną generatora  $R_g$ .

4. Zastąpić diodę krzemową diodą germanową (zanurzoną w kąpeli olejowej) i wykonać analogiczne pomiary zarówno dla temperatury pokojowej, jak i dla temperatur wyższych, aż do około 360 K, ze skokiem co około 10 K.
5. Zakładając, że amplituda natężenia prądu w kierunku przewodzenia  $I_p$  równa jest maksymalnej wartości prądu w kierunku wstecznym  $I_w$  obliczyć czasy życia  $\tau$  nośników mniejszościowych z zależności:

$$\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{t_{mag}}{\tau}}\right) = \frac{1}{1 + \frac{I_w}{I_p}} = \frac{1}{2}$$

gdzie symbol **erf** oznacza tzw. funkcję błędu

6. Obliczyć średni czas życia nośników mniejszościowych w poszczególnych temperaturach powyżej 310 K. Wykreślić zależność czasu życia jako funkcję temperatury i odwrotności temperatury. Z wykresu logarytmu czasu życia w funkcji odwrotności temperatury wyznaczyć energię aktywacji czasu życia.
7. Upewnić się, że stała czasowa użytego układu pomiarowego jest wyraźnie mniejsza od mierzonej wartości czasu magazynowania.
8. Przedstawić pisemne wnioski dotyczące źródeł błędów pomiarowych i interpretację otrzymanej zależności  $\tau = f(T)$ .

### **Wymagania**

Przewodnictwo elektryczne półprzewodników na gruncie modelu pasmowego. Budowa i działanie złącza **p-n**. Zjawiska niestacjonarne w złączu **p-n**. Stan nieustalony odzyskiwania właściwości zaporowych. Czas magazynowania. Czas życia nośników. Wpływ temperatury na czas życia nośników.

## **Literatura**

1. R.Trykozko *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki* (wyd. II), Wydawn. PW, Warszawa 1974.
2. Ben G.Streatman *Przyrządy półprzewodnikowe*, WNT, Warszawa 1976.
3. G.J.Pikus *Podstawy teorii przyrządów półprzewodnikowych*, WKiŁ, Warszawa 1968.

