

## WYZNACZANIE STAŁEJ PLANCKA NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYKI DIOD ELEKTROLUMINESCENCYJNYCH

**Cel ćwiczenia:** wyznaczenie stałej Plancka na podstawie charakterystyk diod elektroluminescencyjnych.

**Zagadnienia:** półprzewodniki, złącze  $p-n$ , diody elektroluminescencyjne, stała Plancka.

### 48.1. Wprowadzenie

Stała Plancka  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  J·s jest podstawową stałą fizyczną mechaniki kwantowej. Występuje ona w opisie wszystkich zjawisk mikroświata. Wyznacza granice stosowalności zarówno mechaniki newtonowskiej, jak i maxwellowskiej teorii elektromagnetyzmu [1].

W naszym ćwiczeniu, pomiaru stałej Plancka dokonuje się pośrednio poprzez pomiar charakterystyk prądowo–napięciowych diod elektroluminescencyjnych, tzw. LED. Diody elektroluminescencyjne to zwykle półprzewodnikowe złącza  $p-n$  (patrz wstęp do ćwiczeń 44 i 45), które spolaryzowane odpowiednio dużym napięciem w kierunku przewodzenia emitują promieniowanie elektromagnetyczne.

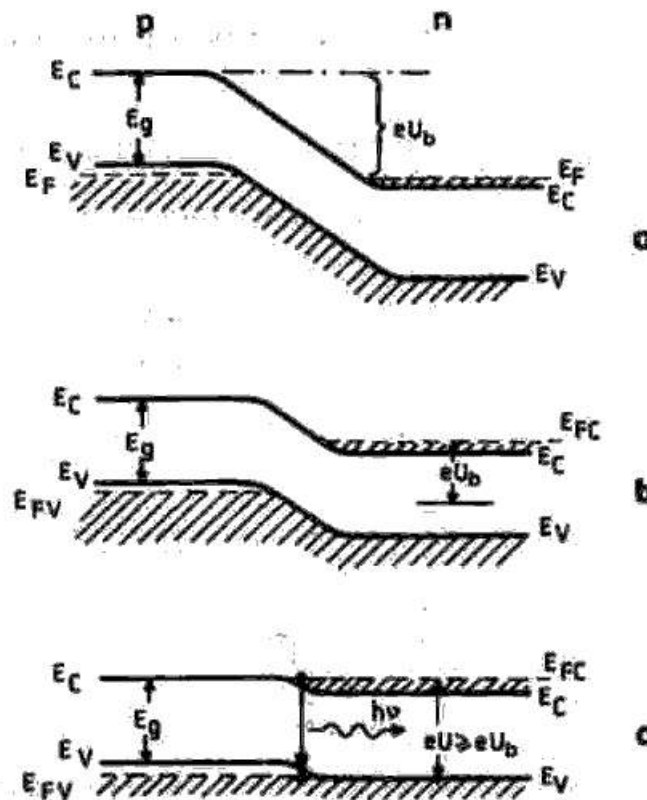
Na rysunkach 48.1a i 48.1b przedstawiono złącze  $p-n$  przy zerowej polaryzacji oraz spolaryzowane niewielkim napięciem w kierunku przewodzenia. Im większe jest to napięcie, tym niższa jest bariera potencjału dla nośników prądu i większy prąd płynący przez złącze  $p-n$ . Przepływowi prądu przez złącze  $p-n$  w kierunku przewodzenia towarzyszy wstrzykiwanie nośników mniejszościowych: elektronów do obszaru typu  $p$  i dziur do obszaru typu  $n$ . Dla napięcia równego wysokości bariery  $U_b$  następuje wzmożone wstrzykiwanie nośników mniejszościowych, które rekombinują z nośnikami większościowymi danego obszaru półprzewodnika i ich koncentracja szybko spada w miarę oddalania się od złącza  $p-n$  w głąb półprzewodnika. W wielu półprzewodni-

kach rekombinacja ta jest niepromienista: energia wydzielająca się podczas rekombinacji jest oddawana sieci krystalicznej, a więc, w ostatecznym wyniku, zamieniana jest na ciepło. Jednakże w takich półprzewodnikach jak GaAs, InAs, GaP, InSb zachodzi rekombinacja promienista: podczas rekombinacji energia wydzielana jest w postaci kwantów promieniowania – fotonów. Sytuację tę przedstawiono na rysunku 48.1c. Obserwowane są wówczas fotony o długościach fal  $\lambda$  wyrażonych wzorem

$$\lambda = hc/E, \quad (48.1)$$

gdzie  $c$  – prędkość światła,  $h$  – stała Plancka,  $E$  zaś oznacza energię rekombinującego elektronu. Maksimum zdolności emisyjnej diody elektroluminescencyjnej [2] przypada na długości fali odpowiadającej wartości energii wzbronionej półprzewodnika

$$\lambda = hc/E_g. \quad (48.2)$$



Rys. 48.1. Model pasmowy półprzewodnikowego złącza  $p-n$  ( $E_C$  oznacza dno pasma przewodnictwa,  $E_V$  – wierzchołek pasma walencyjnego,  $E_F$  – poziom Fermiego):

- a) przy zerowej polaryzacji; b) przy polaryzacji niewielkim napięciem w kierunku przewodzenia; c) przy polaryzacji napięciem  $U \geq U_b$

W diodach LED zwykle obydwie obszary złącza  $p-n$  są bardzo silnie domieszkowane (patrz rys. 48.1). Wówczas wysokość bariery potencjału  $U_b$  spełnia następujący warunek:

$$eU_b \cong E_g. \quad (48.3)$$

Z porównania wzorów (48.2) i (48.3) otrzymujemy równość

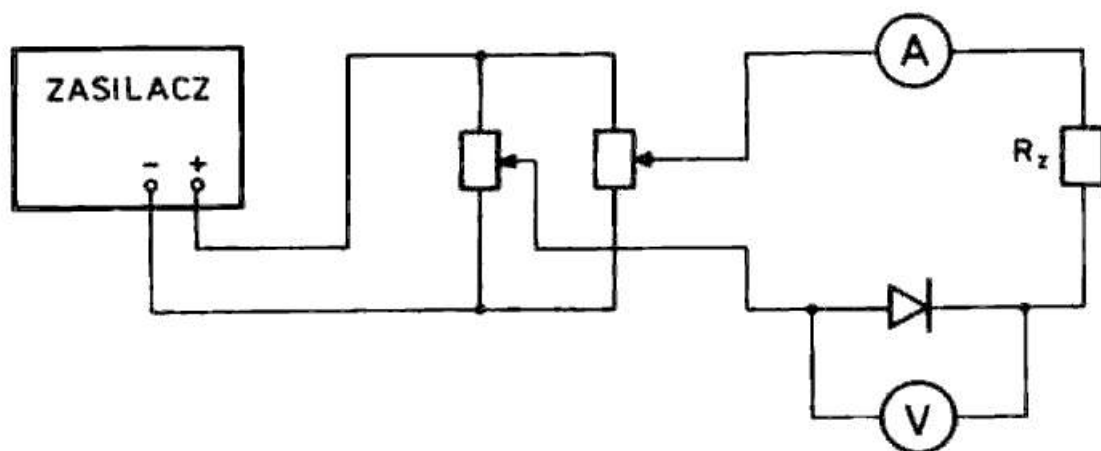
$$h = \frac{eU_b \lambda}{c}. \quad (48.4)$$

Z powyższego wzoru wynika, że aby wyznaczyć stałą Plancka wystarczy wyznaczyć wysokość bariery  $U_b$  oraz długość fali elektromagnetycznej  $\lambda$  odpowiadającą maksimum zdolności emisyjnej diody elektroluminescencyjnej. Wysokość bariery  $U_b$  wyznacza się z charakterystyk prądowo-napięciowych diody. Długość fali  $\lambda$  można wyznaczyć np. za pomocą monochromatora.

## 48.2. Układ pomiarowy – zasada pomiaru

### 48.2.1. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych diod LED

Schemat układu pomiarowego do wyznaczania charakterystyk prądowo-napięciowych przedstawiono na rysunku 48.2. Zmieniając napięcie zasilające za pomocą oporników suwakowych dokonujemy równoczesnego pomiaru prądu płynącego przez diodę i spadku napięcia na diodzie.



Rys. 48.2. Schemat układu do pomiaru charakterystyk prądowo-napięciowych diod LED

### 48.2.2. Wyznaczenie długości fali odpowiadającej maksimum zdolności emisyjnej diody LED

Badaną diodę ustawia się naprzeciw szczeliny wejściowej monochromatora (opis działania monochromatora znajduje się w pracowni). Detektor fotoelektryczny [3] umieszcza się naprzeciw szczeliny wyjściowej monochromatora, na monochromatorze ustawia się długość fali najbliższą barwie światła emitowanego przez diodę. Zmieniając długość fali znajduje się takie położenie pokrętła regulacji długości fali, przy którym emisyjność diody jest największa. Maksimum zdolności emisyjnej odpowiada maksimum napięcia na wyjściu detektora fotoelektrycznego. Po znalezieniu optymalnego ustawienia odczytuje się długość fali odpowiadającą temu ustawieniu.

## 48.3. Zadania do wykonania

### A. Pomiary

1. Pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych.

Wykonać pomiar charakterystyk prądowo-napięciowych dla kilku wybranych diod elektroluminescencyjnych LED. W tym celu należy połączyć układ pomiarowy wg schematu przedstawionego na rys. 48.2 i zmierzyć  $I = f(U)$  w odpowiednim zakresie napięć, wskazanym przez prowadzącego zajęcia.

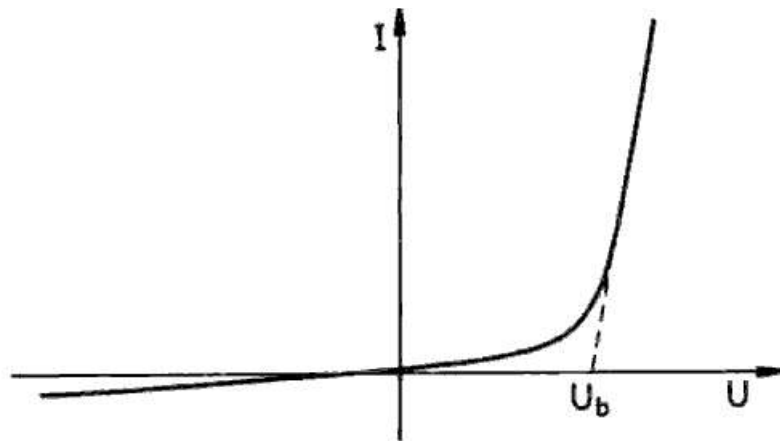
2. Pomiary długości fal  $\lambda$  emitowanych przez badane diody LED.

Wykonać pomiary długości fal  $\lambda$  odpowiadające maksimum zdolności emisyjnej badanych diod LED.

### B. Opracowanie wyników

ad A1.

Narysować wykresy charakterystyk prądowo-napięciowych badanych diod LED. Można pokazać, że aby wyznaczyć wartość  $U_b$  z charakterystyk  $I-U$  wystarczy ekstrapolować prostoliniową część charakterystyki, dla dużych napięć w kierunku przewodzenia, do osi napięcia tak jak to pokazano przykładowo na rys. 48.3. Wyznaczyć wartość  $U_b$ . Korzystając z wyznaczonych wartości  $U_b$  oraz  $\lambda$  i ze wzoru (48.4) obliczyć wartość stałej Plancka.



Rys. 48.3. Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa dla diody LED

### Literatura

- [1] OREAR J., *Fizyka*, t. II, WNT, Warszawa 1990, rozdz. 24.
- [2] SAWIELIEW I. W., *Wykłady z fizyki*, t. III, PWN, Warszawa 1994, rozdz. I.
- [3] OREAR J., *op. cit.*, rozdz. 28.