

70 KWANTOWA NATURA ŚWIATŁA – WYZNACZANIE WARTOŚCI STAŁEJ PLANCKA

1. ZAGADNIENIA TEORETYCZNE

- Zjawisko fotoelektryczne (zewnętrzne i wewnętrzne).
- Półprzewodniki samoistne i domieszkowane.
- Złącze p–n i mechanizm świecenia diod elektroluminescencyjnych (LED): rekombinacja elektron–dziura jako źródło emisji światła.
- Metody wyznaczania stałej Plancka.

Podstawa fizyczna pomiaru

Mechanizm świecenia diody LED opiera się na zjawisku elektroluminescencji. Przyłożenie napięcia zewnętrznego w kierunku przewodzenia powoduje obniżenie bariery potencjału złącza p-n, co umożliwia dyfuzję nośników i ich rekombinację w obszarze czynnym. W procesie rekombinacji promienistej nadmiar energii elektronu emitowany jest w postaci fotonu o energii:

$$E_{\text{fotonu}} = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (1)$$

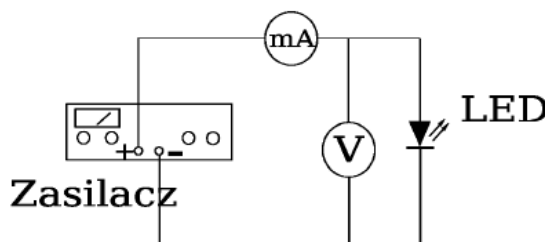
W modelu idealnym przyjmuje się, że minimalna energia dostarczona przez pole elektryczne potrzebna do pokonania bariery potencjału ($e \cdot U_B$) odpowiada energii przerwy energetycznej E_g , a ta z kolei odpowiada energii emitowanych fotonów. Prowadzi to do relacji:

$$e \cdot U_B \approx h \cdot \frac{c}{\lambda}. \quad (2)$$

2. POMIARY

Zadanie 1. Charakterystyki prądowo–napięciowe diod

- 1) Podłączyć badaną diodę zgodnie ze schematem na Rys. 1.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego.

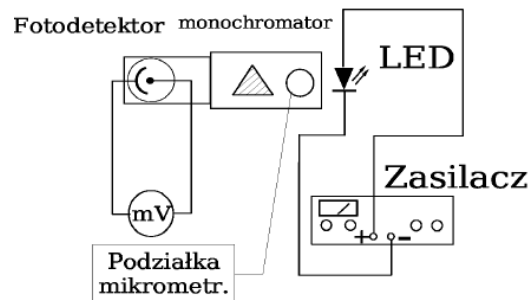
- 2) Zanotować wartości natężenia prądu I dla napięcia U z zakresu od 0 V do ok. 2,5 V, (dla diody niebieskiej 0 V - 3,5 V).
- 3) Zagęścić pomiary w obszarze przewodzenia (powyżej 1 mA), wykonując je z mniejszym krokiem napięcia.

- 4) Zakończyć serię pomiarową po osiągnięciu prądu 20 mA. Nie przekraczać tej wartości, aby nie dopuścić do termicznej zmiany parametrów złącza.
- 5) Pomiary powtórzyć dla pozostałych diod.

Zadanie 2. Wyznaczanie długości fali λ_{max} .

Celem jest precyzyjne wyznaczenie długości fali, przy której dioda emituje najwięcej światła.

- 1) Umieścić badaną diodę w uchwycie monochromatora (Rys. 2).



Rys. 2. Schemat układu pomiarowego

- 2) Za pomocą pokrętki monochromatora (podziałka mikrometryczna) zlokalizować przybliżone położenie maksimum natężenia prądu rejestrowanego przez fotodetektor.
- 3) W bezpośrednim sąsiedztwie maksimum wykonać gęstsze pomiary, przesuwając pokrętkę monochromatora co 0,02 działki przyrządu. Dokonać zapisu wszystkich zmierzonych wartości, aby precyzyjnie wyznaczyć wierzchołek krzywej emisji.
- 4) Odczytać wartość podziałki monochromatora odpowiadającą maksimum emisji i przeliczyć ją na długość fali λ_{max} w jednostkach [nm], korzystając z krzywej kalibracyjnej monochromatora.
- 5) Pomiary powtórz dla pozostałych diod zgodnie z punktami 1-4.

3. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

W celu wyeliminowania błędu subiektywnego, napięcie progowe U_B wyznacza się metodą ekstrapolacji:

- 1) Sporządzić wykresy charakterystyk prądowo-napięciowych $I = f(U)$ badanych diod.
- 2) Zidentyfikować liniowy odcinek charakterystyki przewodzenia i dopasować prostą regresji.
- 3) Na jej podstawie wyznaczyć **napięcie progowe** U_B , jako punkt przecięcia prostej z osią napięcia: $U_B = -\frac{b}{a}$ (dla $I = 0$ mA).
- 4) Wyznaczyć złożoną niepewność standardową $u(U_B)$, korzystając z prawa przenoszenia niepewności dla pomiarów nieskorelowanych (wzór 15 ONP). W obliczeniach należy uwzględnić niepewności parametrów regresji $u(a)$ oraz $u(b)$ (rozdział 4.1.1 ONP).
- 5) Dla każdej z diod oblicz wartość stałej Plancka h zgodnie ze wzorem:

$$h = \frac{e \cdot U_B \cdot \lambda_{max}}{c} \quad (3)$$

Przyjąć wartości stałych: $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C, $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s.

- 6) Złożoną niepewność standardową $u(h)$ obliczyć, korzystając z prawa przenoszenia niepewności pomiarów bezpośrednich nieskorelowanych (wzór 15 ONP).

- 7) Otrzymany wynik stałej Plancka porównać z wartością tablicową.
- 8) Rozważyć potencjalne źródła błędów systematycznych.

4. LITERATURA

- Sz. Szczeniowski, Fizyka Doświadczalna, tom II, PWN Warszawa 1976
- H. Szydłowski, Pracownia fizyczna, PWN Warszawa 1999
- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Podstawy fizyki, tom 3, PWN, Warszawa, 2003
- K. Szalimowa, Fizyka półprzewodników, PWN, Warszawa, 1974 (lub nowsze wydania)
- S. Kuta, Elementy i układy elektroniczne (część 1), Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2000