

## WYZNACZANIE STAŁEJ PLANCKA Z POMIARU CHARAKTERYSTYK PRĄDOWO-NAPIĘCIOWYCH DIOD ELEKTROLUMINESCENCYJNYCH

Irena Jankowska-Sumara, Magdalena Krupska

### Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie stałej Plancka za pomocą pomiaru charakterystyk prądowo – napięciowych wybranych diod i zmierzeniu długości fali światła.

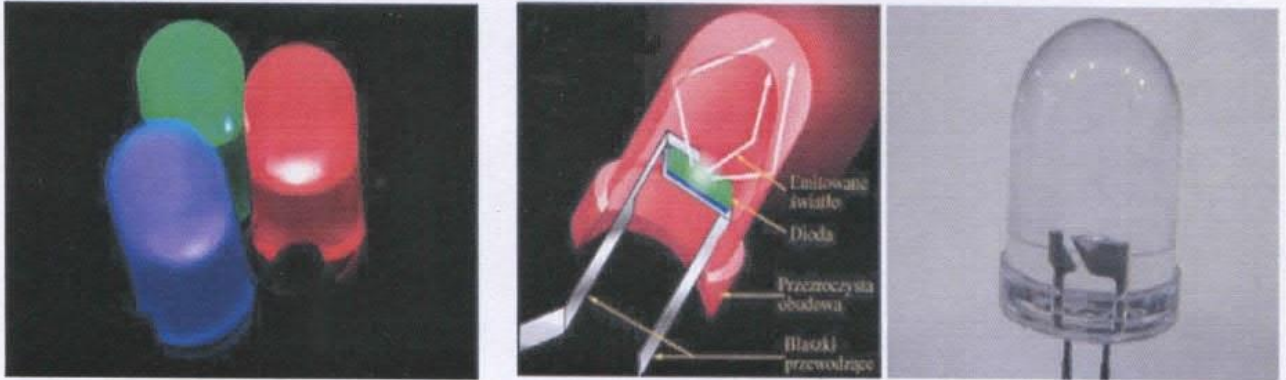
### Zagadnienia do opracowania

- 1) Zjawisko fotoelektryczne zewnętrzne i wewnętrzne. Prawa zjawiska fotoelektrycznego
- 2) Półprzewodnik samoistny i domieszkowany
- 3) Budowa i zasada działania fotoelementów
- 4) Elektroluminescencja. Mechanizm świecenia na złączu p-n. Przejścia optyczne.
- 5) Interpretacja charakterystyk prądowo-napięciowych oraz charakterystyk widmowych.

### Zalecana literatura

- 1) II pracownia fizyczna (praca zbiorowa), Wydawnictwo Naukowe AP w Krakowie (2000)
- 2) Sz. Szczeniowski, Fizyka Doświadczalna cz V – Fizyka atomu
- 3) F. Kaczmarek, II pracownia Fizyczna, PWN Poznań 1976
- 4) H. Szydłowski, Pracownia Fizyczna wspomagana komputerem

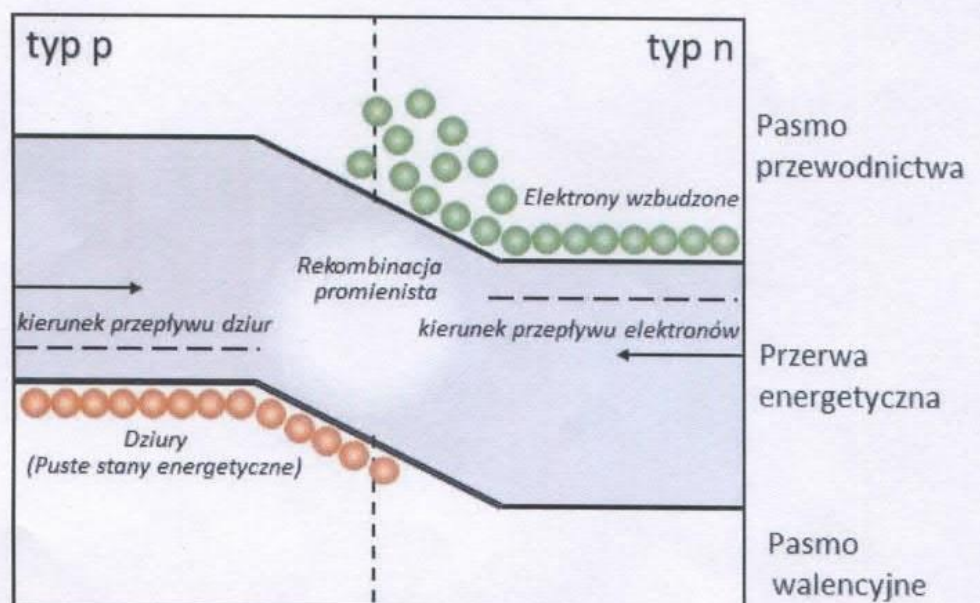
## Wstęp



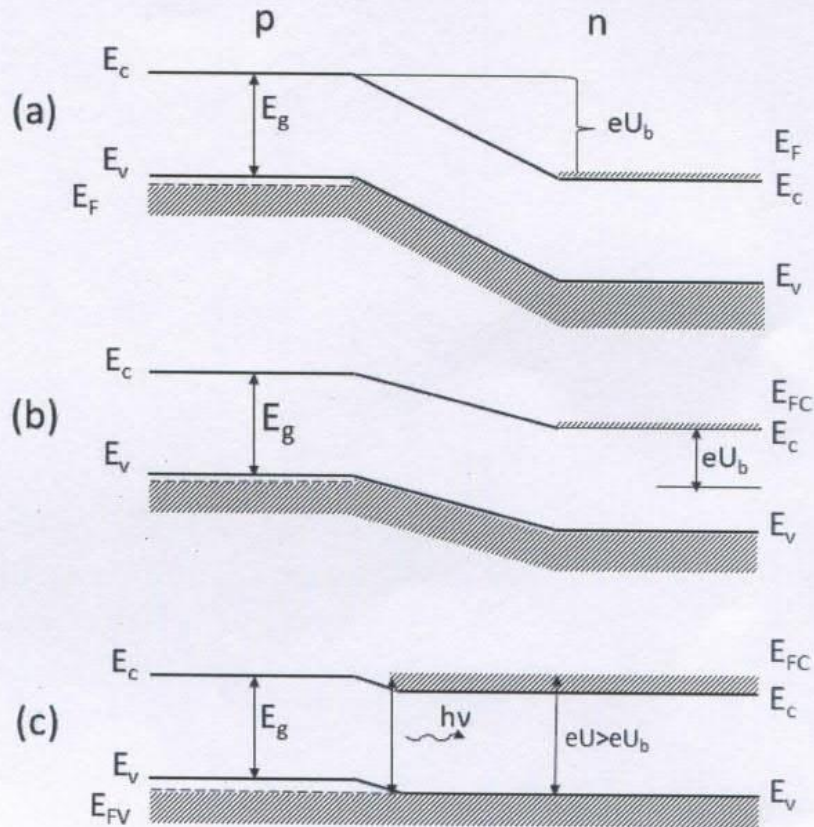
Diody elektroluminescencyjne to półprzewodnikowe złącza p-n, które spolaryzowane odpowiednio dużym napięciem w kierunku przewodzenia emitują promieniowanie elektromagnetyczne w obszarze widzialnym.

Elektroluminescencja jest podstawą działania półprzewodnikowych diod emitujących światło (ang. Light Emitting Diode). Dlatego w języku polskim nazywa się je wprost diodami elektroluminescencyjnymi (w skrócie DEL). Diody LED są strukturami półprzewodnikowymi, w których wstrzykiwane zewnętrznym polem elektrycznym elektrony i dziury rekombinują w maksymalnie sprzyjających ku temu warunkach, a nadmiar energii zostaje wypromieniowywany w postaci kwantu światła. Takie optymalne warunki mają miejsce w złączu p-n (nazywanym również obszarem aktywnym). Złącze p-n jest połączeniem dwóch warstw materiałów półprzewodnikowych typu p i n (rys. 1).

Rysunek 2 przedstawia złącze p-n przy zerowej polaryzacji oraz spolaryzowane 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 temu towarzyszy wstrzykiwanie nośników mniejszościowych tj. elektronów do obszaru typu p i dziur do obszaru typu n.



**Rys. 1.** Energetyczny schemat przedstawiający półprzewodnikowe złącze p-n spolaryzowane w kierunku przewodzenia. W obszarze aktywnym elektrony przechodzą z pasma przewodnictwa do pasma walencyjnego rekombinując z dziurami. W efekcie rekombinacji par elektron-dziura powstaje kwant energii świetlnej (promieniowania widzialnego).



**Rys. 2.** Model pasmowy półprzewodnikowego złącza p-n ( $E_c$  oznacza dno pasma przewodzenia,  $E_v$  – wierzchołek pasma walencyjnego,  $E_F$  - poziom Fermiego): przy zerowej polaryzacji (a), przy niewielkiej polaryzacji napięciem w kierunku przewodzenia (b) oraz przy polaryzacji napięciem  $U > U_b$  (c)

Dla napięcia równego wysokości bariery  $U_b$  następuje wzmożone wstrzykiwanie nośników mniejszościowych, które rekombinują z nośnikami większościowymi danego obszaru półprzewodnika. W większości półprzewodników rekombinacja ta jest niepromienista tzn., energia wydzielająca się w procesie rekombinacji jest oddawana sieci krystalicznej (zamieniana na ciepło). W niektórych półprzewodnikach zachodzi rekombinacja promienista tzn. energia wydzielana jest w postaci fotonów, dla których długość fali jest dana wzorem:

$$\lambda = \frac{h \cdot c}{E}$$

gdzie:  $c$  oznacza prędkość światła,  $h$  stała Plancka, a  $E$  - energię rekombinującego elektronu. Takie złącza nazywamy diodami elektroluminescencyjnym, w skrócie LED (Light Emitting Diode). Do takich półprzewodników należą GaAs (arsenek galu), InAs (arsenek indu), GaP (fosforan galu) czy InSb (antymonek indu).

Maksimum zdolności emisyjnej diody elektroluminescencyjnej przypada na długość fali odpowiadającej wartości energii wzbronionej  $E_g$  (patrz rys. 1) czyli:

$$\lambda_m = \frac{h \cdot c}{E_g}$$

W diodach LED obszary złącza p-n są silnie domieszkowane. Wówczas wysokość bariery potencjału  $U_b$  spełnia w przybliżeniu warunek:

$$e \cdot U_b = E_g$$

Z porównania wzorów otrzymujemy wzór na stałą Plancka ( $h \approx 6.626070040 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ):

$$h = \frac{e \cdot U_b \cdot \lambda_m}{c}$$

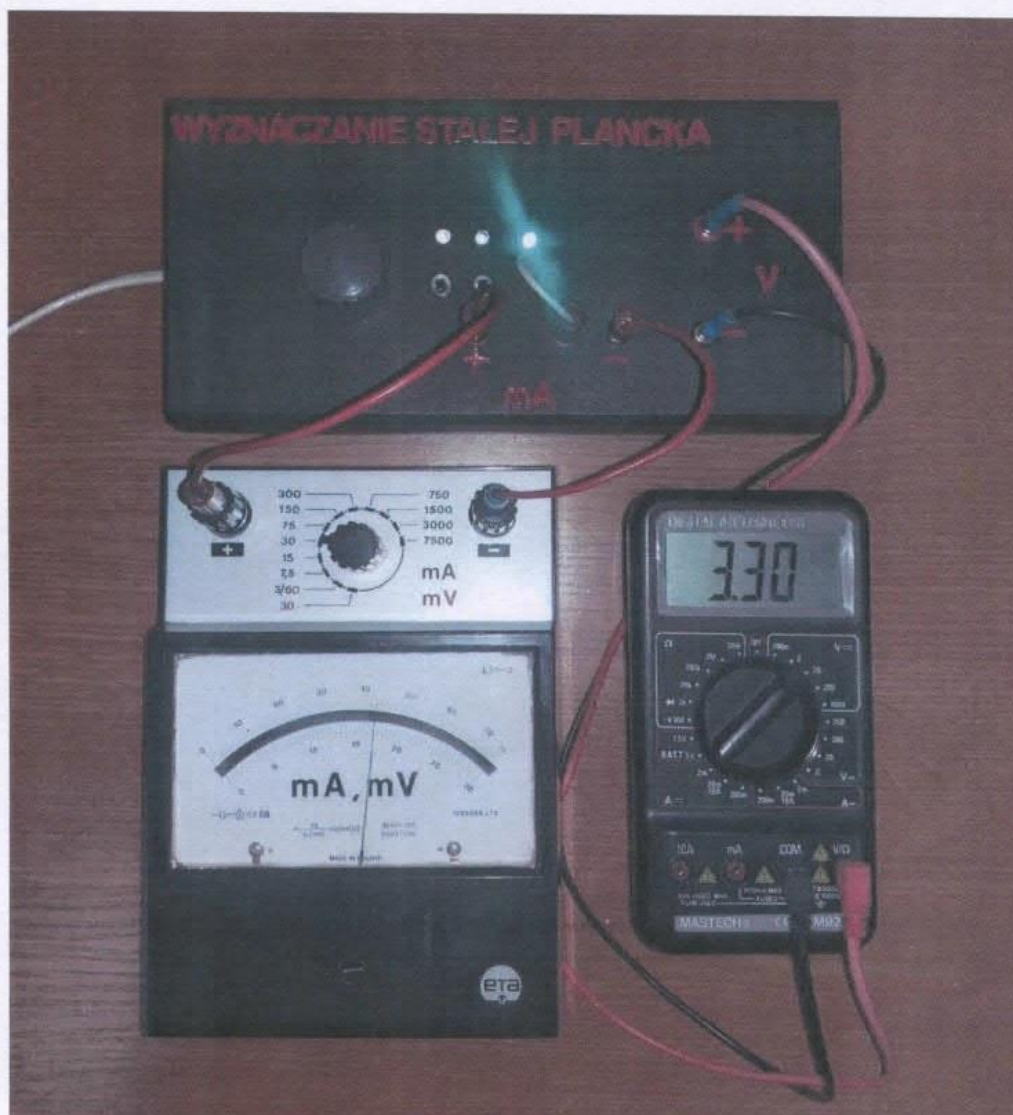
Wzór ten może posłużyć do wyznaczenia stałej Plancka: wystarczy wyznaczyć wysokość bariery  $U_b$  oraz długość fali elektromagnetycznej  $\lambda_m$  odpowiadającej maksimum zdolności emisyjnej diody. Wysokość bariery  $U_b$  wyznacza się z charakterystyk prądowo-napięciowych diody, zaś długość fali  $\lambda_m$  można wyznaczyć za pomocą spektrometru siatkowego.

### Zadania do wykonania

- 1) Wykonać pomiar charakterystyk prądowo napięciowych dla wybranych diod.
- 2) Wyznaczyć długości fali emitowanej przez diodę elektroluminescencyjną
- 3) Narysować wykresy badanych charakterystyk prądowo-napięciowych
- 4) Zmierzyć długość fali światła
- 5) Obliczyć wartość stałej Plancka
- 6) Oszacować niepewność pomiarową wyznaczonej wartości stałej Plancka

### Sposób realizacji ćwiczenia

- 1) Zmieniając napięcie zasilające (w przedziale podanym przez prowadzącego) wykonać pomiar charakterystyk prądowo napięciowych dla wybranych diod.



Rys. 3 Aparatura pomiarowa

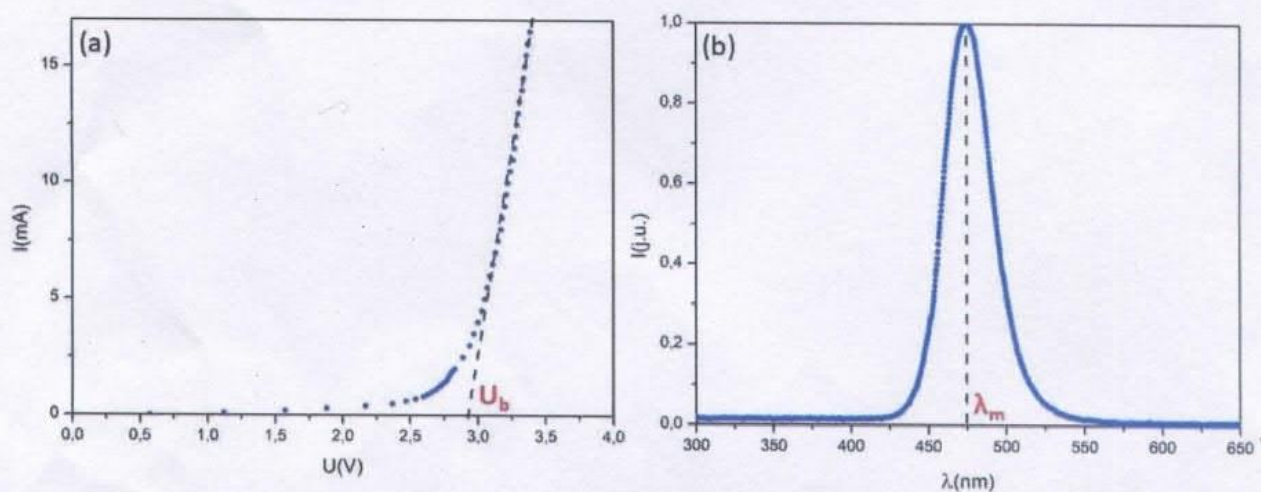
- 2) W celu wyznaczenia długości fali emitowanej przez diodę elektroluminescencyjną wykorzystać spektrometr światłowodowy CCD 2048 (Instrukcja obsługi dostępna jest na stronie: <http://www.optel.opole.pl/spektrometr.php>)



Rys. 4 Spektrometr światłowodowy CCD 2048

**Opracowanie wyników:**

1. Narysować wykresy badanych charakterystyk prądowo-napięciowych. Przykładowa charakterystyka prądowo-napięciowa niebieskiej diody LED przedstawiona jest na rys. 5(a)
2. Zmierzyć długość fali światła przy pomocy spektrometru CCD. Przykładowa charakterystyka widmowa światła emitowanego przez diodę (dla barwy niebieskiej) przedstawiona jest na rys. 5(b)
3. Korzystając z wyznaczonych wartości  $U_b$  i  $\lambda_m$  obliczyć wartość stałej Plancka.
4. Oszacować niepewność pomiarową wyznaczonej wartości stałej Plancka.



**Rys. 5** Przykładowa charakterystyka światła niebieskiego: (a) prądowo-napięciowa, (b) widmowa światła emitowanego przez diodę.