

Imię i nazwisko:	Zespół:	Data:
	Wydział:	

## Ćwiczenie nr 123\*: Warstwowe złącze półprzewodnikowe p-n

### Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z własnościami warstwowych złączy półprzewodnikowych p-n. Wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych kolorowych diod świecących LED.

### Literatura

1. Koprowski J., *Podstawowe Przyrządy Półprzewodnikowe*, SU 1668, AGH, Kraków 2005.
2. Resnick R., Halliday D., Walker J., *Podstawy Fizyki*, t. V, Wydawnictwo Naukowe PWN, 2003.
3. Kittel Ch., *Wstęp do Fizyki Ciała Stałego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1999.
4. [www.physics.gatech.edu](http://www.physics.gatech.edu)

### Zagadnienia do opracowania

1. Zjawisko fotoelektryczne.
2. Stała Plancka, pochodzenie, wymiar.
3. Rodzaje półprzewodników.
4. Rodzaje nośników ładunku w przewodniku i półprzewodniku.
5. Teoria pasmowa w ciele stałym.
6. Budowa i zasada działania diody półprzewodnikowej.
7. Charakterystyka prądowo napięciowa diody LED.
8. Zasada działania i zastosowanie diody LED.

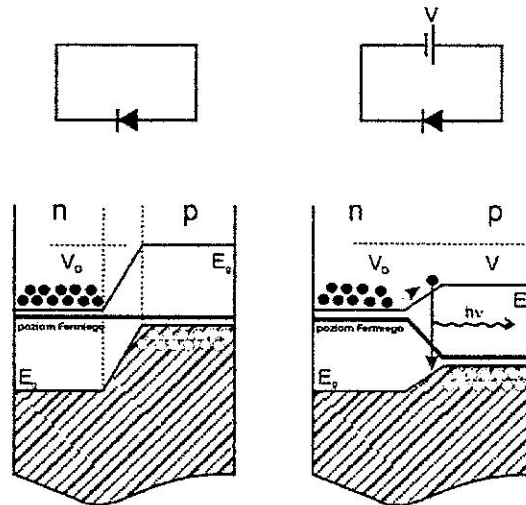
Ocena  
i podpis


Ocena z odpowiedzi:

--

## Niektóre niezbędne wzory i użyteczne stałe

**Dioda LED** (*Light Emitting Diode*) to urządzenie optoelektroniczne, które zamienia energię elektryczną na światło. Jest ona zbudowana z dwóch warstw półprzewodnika; jednego typu  $n$ , drugiego typu  $p$ , które razem tworzą złącze  $p-n$ . Jej działanie opiera się na zjawisku rekombinacji nośników ładunku. W stanie, gdy nie istnieje zewnętrzne pole elektryczne w pobliżu połączenia obu warstw powstaje obszar zubożony (tzw. warstwa zaporowa) – na skutek rekombinacji praktycznie nie występują tam swobodne nośniki. W momencie przyłożenia zewnętrznego napięcia, równowaga łącza zostaje zaburzona. Obszar zubożony zmniejsza się proporcjonalnie do wartości przyłożonego napięcia,  $e(V_D - V)$ . Kiedy bariera zostaje zmniejszona część elektronów może przechodzić z obszaru  $n$  do obszaru  $p$ .



Rysunek 123\*-1: Zasada działania złącza  $p-n$ .

Podczas tego przejścia elektrony rekombinują z dziurami, oddając przy tym nadwyżkę energii w postaci fotonu o energii równej szerokości przerwy energetycznej  $E_g$ . Inaczej mówiąc elektrony przechodząc z wyższego poziomu energetycznego na niższy zachowują swój pęd oddając nadmiar energii w postaci kwantu promieniowania elektromagnetycznego.

W przybliżeniu możemy powiedzieć, że energia wypromieniowanego kwantu jest równa:

$$h\nu \approx E_g;$$

gdzie  $E_g$  jest szerokością pasma zabronionego lub różnicą energii poziomów, między którymi zachodzi rekombinacja. Z drugiej strony, szerokość pasma zabronionego zależy od przyłożonego napięcia:

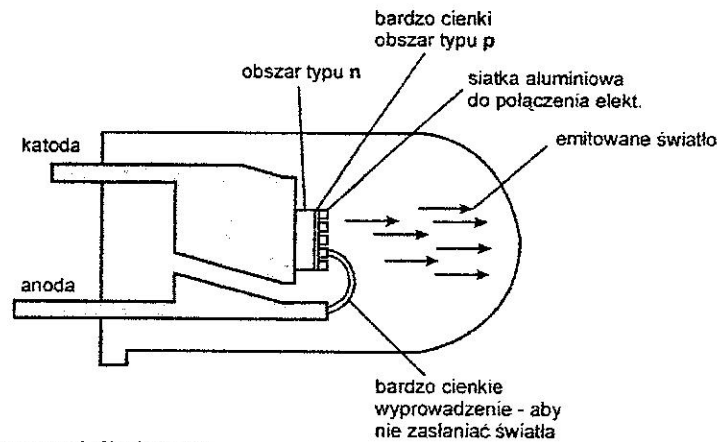
$$eU_D \approx E_g.$$

Wiążąc powyższe wzory, dochodzimy do wniosku:

$$h\nu \approx eU_D.$$

Powyższa zależność pozwala nam wyznaczyć wartość stałej Plancka,  $h$ . Jeśli tylko znamy długość fali emitowanej przez diodę i jesteśmy w stanie zmierzyć  $U_D$ , wtedy wartość  $h/e$  opisana jest powyższym równaniem.

Podstawowym problemem przy konstrukcji diod świecących jest ilość emitowanego światła, która zależy od: absorpcji w przewodniku, wewnętrznego odbicia na granicy półprzewodnik – powietrze. Osłabienie tych efektów osiągane jest poprzez specjalną konstrukcję diod.



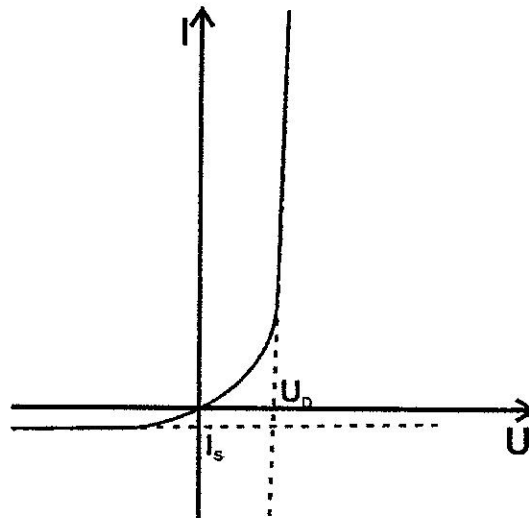
Rysunek 123\*-2: Budowa typowej diody LED.

Równanie prądowo-napięciowe złącza  $p-n$ :

$$I = I_s \left( \exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) - 1 \right);$$

gdzie:

- $I$  – natężenie prądu złącza;
- $U$  – napięcie polaryzacji zewnętrznej;
- $I_s$  – teoretyczny prąd nasycenia złącza;
- $k_B T / e$  – potencjał termiczny złącza ( $\sim 26\text{mV}$  dla  $T=300\text{K}$ )

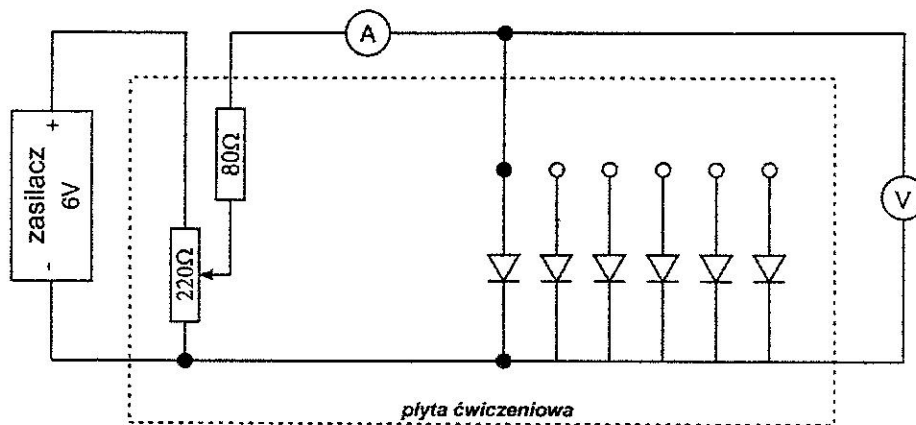


Rysunek 123\*-3: Typowa charakterystyka prądowo-napięciowa dla złącza  $p-n$ .

## Układ pomiarowy

W ćwiczeniu mierzy się prąd płynący przez diodę w funkcji przyłożonego napięcia. Do pomiaru natężenia prądu służy wielozakresowy przyrząd uniwersalny o dużej czułości typu V-640, lub równoważny o czułości prądowej co najmniej 1 nA. Pomiar napięcia odbywa się przy użyciu dowolnego woltomierza cyfrowego. Schemat układu płyty ćwiczeniowej przedstawiono na rysunku 123\*-4. Dołączamy do niej zasilacz stabilizowany oraz wymienione wyżej przyrządy pomiarowe. Na płycie ćwiczeniowej znajduje się przełącznik rodzaju badanej diody oraz obrotowy

potencjometr umożliwiającą płynną i precyzyjną zmianę wartości napięcia oraz natężenia prądu złącza.



Rysunek 123\*-4: Schemat płyty ćwiczeniowej.

## 2. Wykonanie ćwiczenia

1. Zestaw układ pomiarowy według rysunku 123\*-4. Prowadzący ćwiczenia sprawdza układ przed włączeniem zasilania. Przyrząd uniwersalny V-640 używany jest jako amperomierz dla pomiaru dużego natężenia prądu w kierunku przewodzenia. Aby uchronić przyrząd przed zniszczeniem należy przed każdym pomiarem ustawić go na największy zakres pomiarowy i następnie dobrać, w trakcie pomiaru, optymalny zakres pracy przyrządu. Przyrząd należy wyzerować dla każdego używanego zakresu pomiarowego.
2. Wykonaj pomiary charakterystyk prądowo - napięciowych dla polaryzacji w kierunku przewodzenia dla wszystkich dostępnych diod, w zakresie prądów od 0,01 mA do 20 mA.

*Uwaga: Prąd regulować nie w równych odstępach, lecz by za każdym razem zwiększał się o 10-30%, zapewnia to równe rozłożenie punktów na skali logarytmicznej.*

3. Dla każdej diody zanotować napięcie, przy którym zaczęła świecić

## Wariant do wykonania (określa prowadzący):

Wykonaj pomiary dla  diod

### 3. Wyniki pomiarów

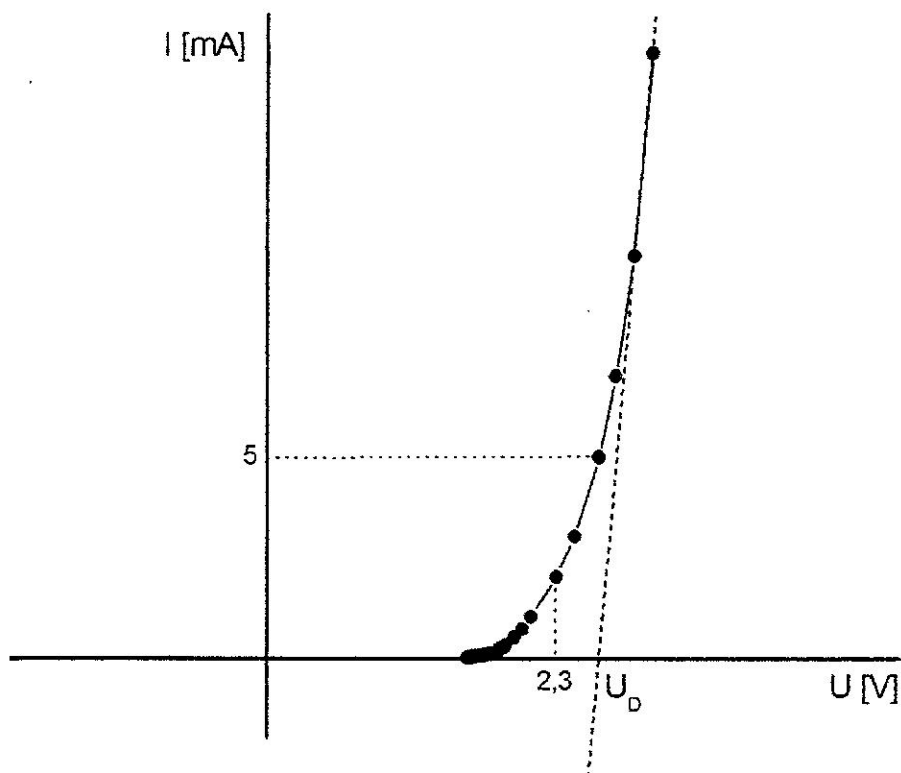
Tabela 1: Pomiary charakterystyki prądowo-napięciowych

I [mA]	Napięcie U[V] diody:					
	czerwona	super czerwona	żółta	zielona	niebieska	UV
0,01						
0,02						
0,03						
0,05						
0,07						
0,1						
0,2						
0,3						
0,5						
0,7						
1						
2						
3						
5						
7						
10						
20						

*podpis*

### 4. Opracowanie wyników pomiarów

1. Wykonać wykresy charakterystyk prądowo - napięciowych,  $I = f(U)$  dla wszystkich zmierzonych diod.
2. Wyznaczyć prąd nasycenia  $I_S$  dla każdej diody poprzez dopasowanie krzywej eksponentyjnej.



Rysunek 123\*-5: Typowa zależność prądowo-napięciowa dla diody LED.

- Wyznaczyć  $U_D$  dla każdej diody poprzez dopasowanie prostej do fragmentu powyżej punktu zagięcia (tak, żeby prosta była jak najbardziej stroma). Zanotować niepewność dopasowania współczynników  $a$  i  $b$  korzystając z metody regresji liniowej.
- Dla każdej diody policzyć wartość  $h/e$  korzystając z zależności:

$$\frac{h}{e} = \frac{U_D \lambda}{c}$$

Obliczyć niepewność  $h/e$  dla każdej diody uwzględniając niepewność długości fali dla każdej diody oraz niepewność  $U_D$  jako niepewność współczynników  $a$  i  $b$ .

Fizyczne właściwości diod LED

	dioda 1	dioda 2	dioda 3	dioda 4	dioda 5	dioda 6
kolor	czerwona	super czerwona	żółta	zielona	niebieska	UV
dł. fali [nm]	665±15	635±15	590±15	560±15	480±40	410±20
materiał	GaAs <sub>0.6</sub> P <sub>0.4</sub> :N	GaAs <sub>0.35</sub> P <sub>0.65</sub> :N	GaAs <sub>0.15</sub> P <sub>0.85</sub> :N	GaP:N	InGaN	InGaN

- Wykonać wykres zależności  $U_D$  od częstotliwości  $\nu$ , dla długości fali emitowanej przez diodę. Korzystając z zależności:

$$h\nu = eU_D;$$

oraz regresji liniowej wyznaczyć wartość  $h/e$ , jako nachylenie prostej  $y = ax + b$ . Podać wartość niepewności dopasowania współczynnika  $a$ .

- Porównać otrzymaną wartość  $h/e$  z tablicową oraz otrzymane wartości niepewności.