

<i>Imię i nazwisko:</i>	<i>Zespół:</i>	<i>Data:</i>
		<i>Wydział:</i>

Ćwiczenie nr 123*: Warstwowe złącze półprzewodnikowe p-n

Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z własnościami warstwowych złącza 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

Zagadnienia do opracowania

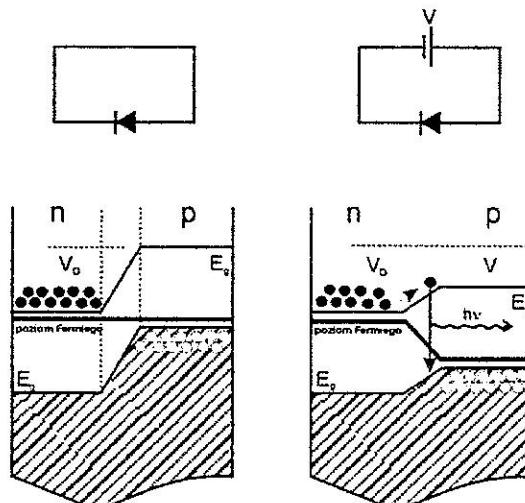
*Ocena
i podpis*

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 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 łączna 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 wypromienowanego 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:

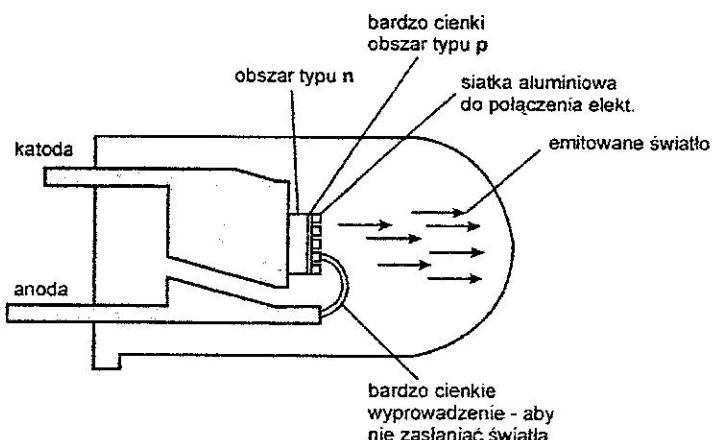
$$eU_D \approx E_g.$$

Wiącząc 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.



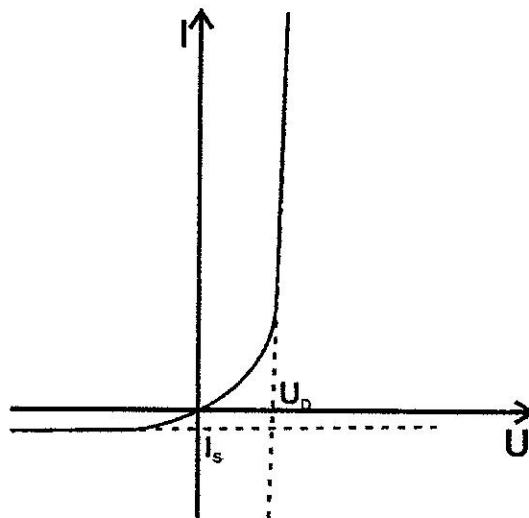
Rysunek 123*-2: Budowa typowej diody LED.

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 $T=300\text{K}$)

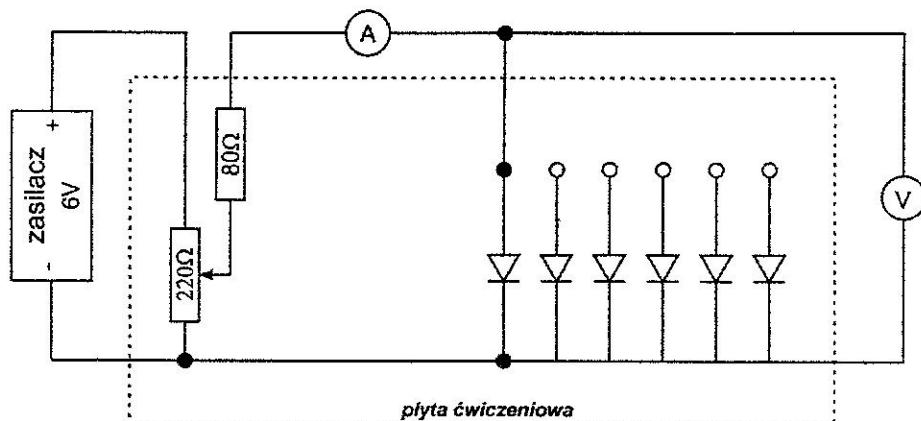


Rysunek 123*-3: Typowa charakterystyka prądowo-napięciowa dla złącza $p-n$.

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 voltmierza 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 umożliwiający płynna i precyzyjna 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 regułować 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

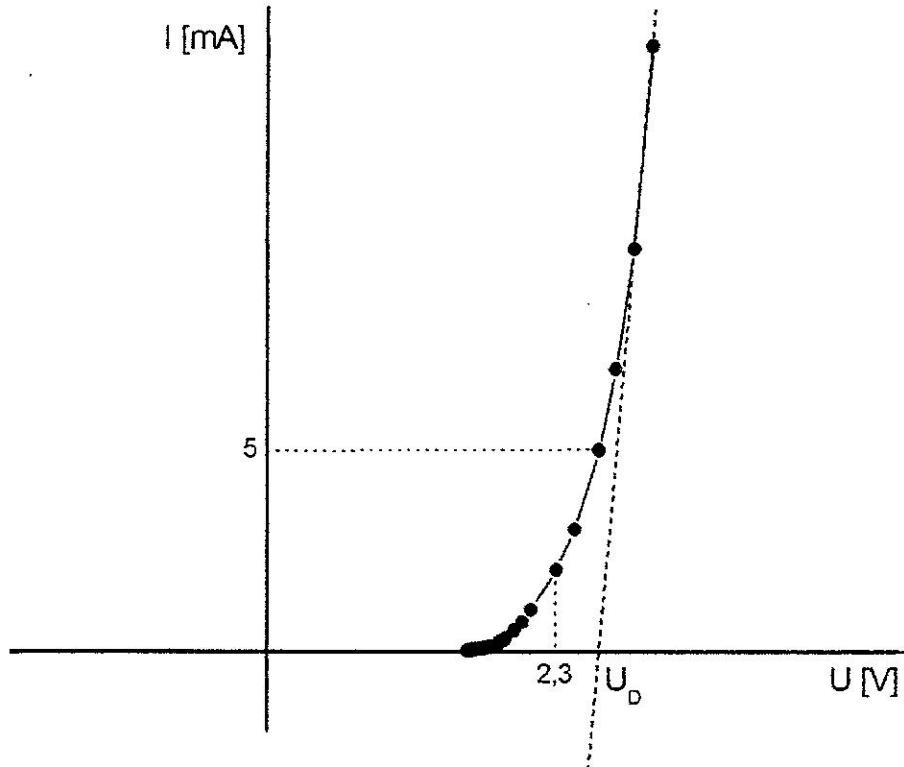
Tabela 1: Pomiary charakterystyki prądowo-napięciowych

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 eksponentonalnej.



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

3. 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.
4. 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 _{0.6} P _{0.4} :N	GaAs _{0.35} P _{0.65} :N	GaAs _{0.15} P _{0.85} :N	GaP:N	InGaN	InGaN

5. Wykonać wykres zależności U_D od częstotliwości ν , 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 .

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