

Wyznaczanie stałej Planca na podstawie charakterystyki diody elektroluminescencyjnej

Nr. ćwiczenia: 48

Data wykonania ćwiczenia: 11.04.2024 r.
Data oddania sprawozdania: 17.04.2024 r.

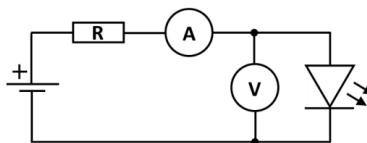
1 Wstęp

Wykorzystane przyrządy pomiarowe:

- Multimetr Sanwa CD771
- Multimetr Jenit JT890
- Monochromator

Przebieg doświadczenia

Pomiar charakterystyki napięciowo prądowej diody



Przy pomocy multimetrów cyfrowych zmierzono charakterystykę prądowo-napięciową dla czerwonej/żółtej/zielonej oraz niebieskiej diody elektroluminescencyjnej. Pomiary były wykonywane co 50[mV] od momentu przewodzenia diody do momentu osiągnięcia końca zakresu układu zasilającego.

Pomiar długości fali diody

Przy pomocy monochromatora ustalono długość fali dla kolejnych diód:

- dla diody czerwonej - 630 [nm]
- dla diody żółtej - 590 [nm]
- dla diody niebieskiej - 460 [nm]
- dla diody zielonej - 560 [nm]

Wyniki te pokrywają się, w granicach niepewności pomiarowych, z danymi producentów diod elektroluminescencyjnych. Zakresy długości fali dla diod według producentów:

- dla diody czerwonej - od 627 [nm] do 780 [nm]
- dla diody żółtej - od 566 [nm] do 589 [nm]
- dla diody niebieskiej - od 436 [nm] do 495 [nm]
- dla diody zielonej - od 495 [nm] do 566 [nm]

Zastosowana teoria

Dioda elektroluminescencyjna to urządzenie elektryczne oparte na złączu p-n, czyli połączeniu półprzewodnika typu n (z przewagą elektronów) i półprzewodnika typu p (z przewagą dziur elektronowych). Gdy do takiego złącza nie jest przyłożone napięcie, w jego środkowej części w wyniku rekombinacji elektronów i dziur tworzy się warstwa zaporowa o znikomej ilości wolnych ładunków, uniemożliwiająca swobodny przepływ ładunku. Jeśli złącze zostanie spolaryzowane w kierunku przewodzenia (poprzez przyłożenie napięcia) elektrony w półprzewodniku typu n i dziury w półprzewodniku typu p zaczną być przyciągane w kierunku warstwy zaporowej, powodując jej zmniejszanie.

Przy wystarczająco dużym napięciu (napięcie odpowiadające barierze potencjału) warstwa zaporowa zanika; od tego momentu prąd płynie swobodnie i natężenie rośnie wraz z napięciem w sposób liniowy zgodnie z prawem Ohma. Rekombinacja w obszarze złącza zaczyna wtedy zachodzić w sposób ciągły. Rekombinacja powoduje oddanie przez elektron energii równej różnicy między pasmem przewodnictwa a pasmem walencyjnym poprzez emisję fotonu (rekombinacja promienista). Energia ta jest w przybliżeniu równa iloczynowi napięcia odpowiadającego barierze potencjału i ładunku elektronu:

$$E \approx U_B \cdot e$$

E - energia emitowanego fotonu,

U_B - napięcie odpowiadające barierze potencjału,

e - ładunek elementarny,

Energia fotonu jest powiązana z długością fali promieniowania w następujący sposób:

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

h - stałą Planca,

c - prędkość światła,

λ - długość fali,

Po przekształceniu otrzymujemy:

$$h = \frac{e}{c} \cdot U_B \cdot \lambda$$

Stałą Plancka h możemy więc wyznaczyć mierząc napięcie odpowiadające barierze potencjału diody elektroluminescencyjnej oraz długość fali emitowanego przez nią światła.

2 Dane

Wyniki dla diody czerwonej

U[V]	I[mA]	u(U)[V]	u(I)[mA]
1.45	0	0.015	0.0010
1.502	0.001	0.016	0.0010
1.601	0.01	0.016	0.0011
1.649	0.032	0.017	0.0013
1.7	0.118	0.017	0.0019
1.75	0.415	0.018	0.0043
1.8	1.229	0.018	0.011
1.852	3.02	0.019	0.025
1.9	5.97	0.019	0.049
1.949	10.71	0.020	0.087
2	18.09	0.020	0.15

Wyniki dla diody żółtej

U[V]	I[mA]	u(U)[V]	u(I)[mA]
1.45	0	0.015	0.0010
1.506	0.001	0.016	0.0010
1.552	0.004	0.016	0.0010
1.6	0.011	0.016	0.0011
1.651	0.034	0.017	0.0013
1.703	0.096	0.017	0.0018
1.751	0.248	0.018	0.0030
1.801	0.594	0.018	0.0058
1.85	1.347	0.019	0.012
1.901	3.24	0.019	0.027
1.95	7.31	0.020	0.059
1.999	15.92	0.020	0.13
2.039	29	0.020	0.35

Wyniki dla diody zielonej

U[V]	I[mA]	u(U)[V]	u(I)[mA]
1.5	0	0.016	0.0010
1.552	0.001	0.016	0.0010
1.602	0.002	0.016	0.0010
1.651	0.008	0.017	0.0011
1.703	0.03	0.017	0.0012
1.75	0.087	0.018	0.0080
1.8	0.256	0.018	0.0030
1.85	0.764	0.019	0.0071
1.9	2.24	0.019	0.019
1.95	5.41	0.020	0.044
2	10.73	0.020	0.087
2.05	18.7	0.020	0.15
2.108	28.3	0.021	0.23

Wyniki dla diody niebieskiej

U[V]	I[mA]	u(U)[V]	u(I)[mA]
2.3	0	0.023	0.0010
2.35	0.001	0.023	0.0010
2.373	0.003	0.023	0.0010
2.4	0.005	0.024	0.0010
2.425	0.01	0.024	0.0011
2.453	0.018	0.024	0.0011
2.501	0.044	0.025	0.0014
2.552	0.093	0.025	0.0017
2.601	0.174	0.025	0.0024
2.65	0.301	0.026	0.0034
2.7	0.503	0.026	0.0050
2.75	0.824	0.027	0.0076
2.8	1.314	0.027	0.012
2.85	2.05	0.028	0.017
2.9	3.12	0.028	0.026
2.95	4.59	0.029	0.038
3	6.6	0.029	0.054
3.05	8.15	0.029	0.066
3.1	12.08	0.030	0.098
3.16	16.25	0.030	0.13

3 Obliczenia

Niepewność bezwzględną multimetra wyliczamy ze wzoru:

$$\Delta = a\% \cdot rdg + c \cdot dgt$$

a, c - współczynniki podawane przez producenta,

rdg - wartość odczytana z miernika,

dgt - najmniejsza możliwa do odczytania wartość na wykorzystanym zakresie,

Przykładowo dla pomiaru napięcia barierę potencjału diody wyliczamy ze wzoru:

$$U_B = -\frac{b}{a}$$

Przykładowo dla diody niebieskiej:

$$U_B = -\frac{b}{a} = -\frac{-143.059950}{50.063309} = 2.857581[V]$$

Niepewność obliczania bariery potencjału obliczamy z wzoru na niepewność złożoną:

$$\begin{aligned} u_c(U_B) &= \sqrt{\left(\left(\frac{\partial f(U_B)}{a}\right) \cdot u(a)\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial f(U_B)}{b}\right) \cdot u(b)\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\left(\frac{b}{a^2}\right) \cdot u(a)\right)^2 + \left(\left(\frac{-1}{a}\right) \cdot u(b)\right)^2} \end{aligned}$$

Przykładowo dla diody niebieskiej:

$$\begin{aligned} u_c(U_B) &= \sqrt{\left(\left(\frac{-143.059950}{50.063309^2}\right) \cdot 5.041035\right)^2 + \left(\left(\frac{-1}{50.063309}\right) \cdot 15.263963\right)^2} = \\ &= 0.4192298[V] \approx 0.42[V] \end{aligned}$$

Stałą Planca wyznaczamy ze wzoru:

$$h = \frac{e}{c} \cdot U_B \cdot \lambda$$

Przykładowo dla diody niebieskiej:

$$h = \frac{1.602 \cdot 10^{-19}[C]}{299792458[\frac{m}{s}]} \cdot 2.857581[V] \cdot 4.6 \cdot 10^{-7}[m] = 7.024995 \cdot 10^{-34}[J \cdot s]$$

Niepewność obliczania stałej Planca obliczamy z wzoru na niepewność złożoną:

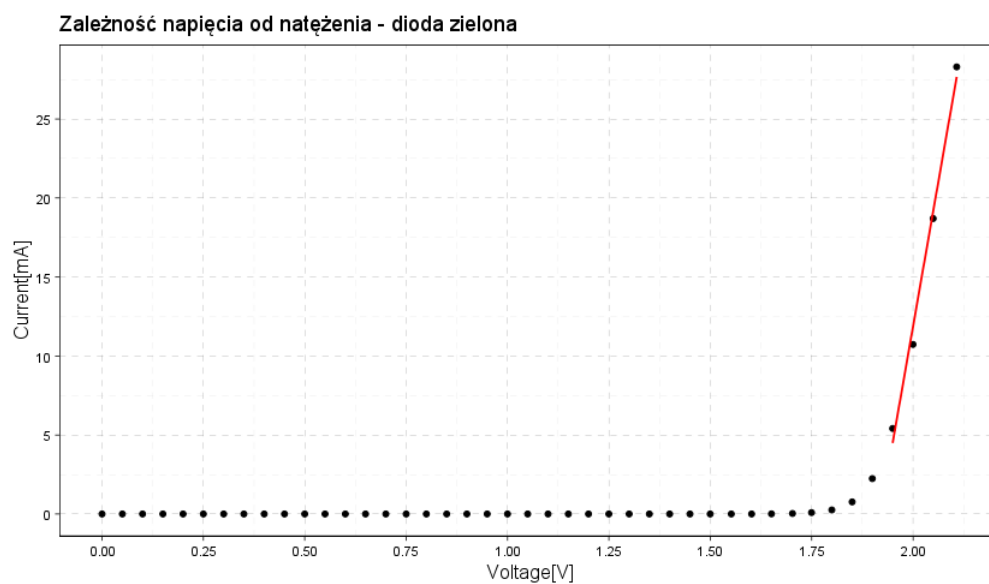
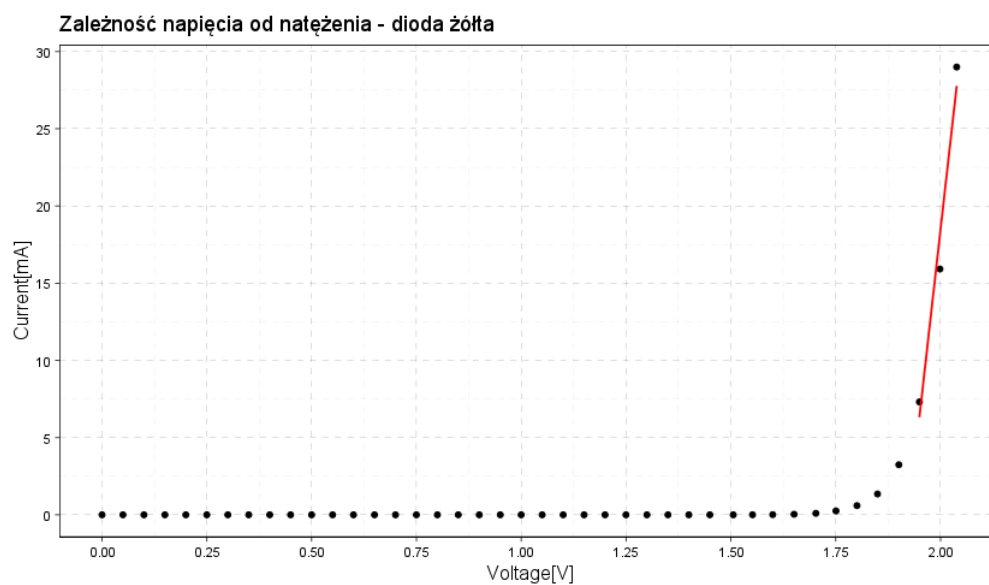
$$\begin{aligned} u_c(h) &= \sqrt{\left(\frac{\partial f(h)}{\partial U_B} \cdot u(U_B)\right)^2 + \left(\frac{\partial f(h)}{\partial \lambda} \cdot u(\lambda)\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{e}{c} \cdot \lambda \cdot u(U_B)\right)^2 + \left(\frac{e}{c} \cdot U_B \cdot u(\lambda)\right)^2} \end{aligned}$$

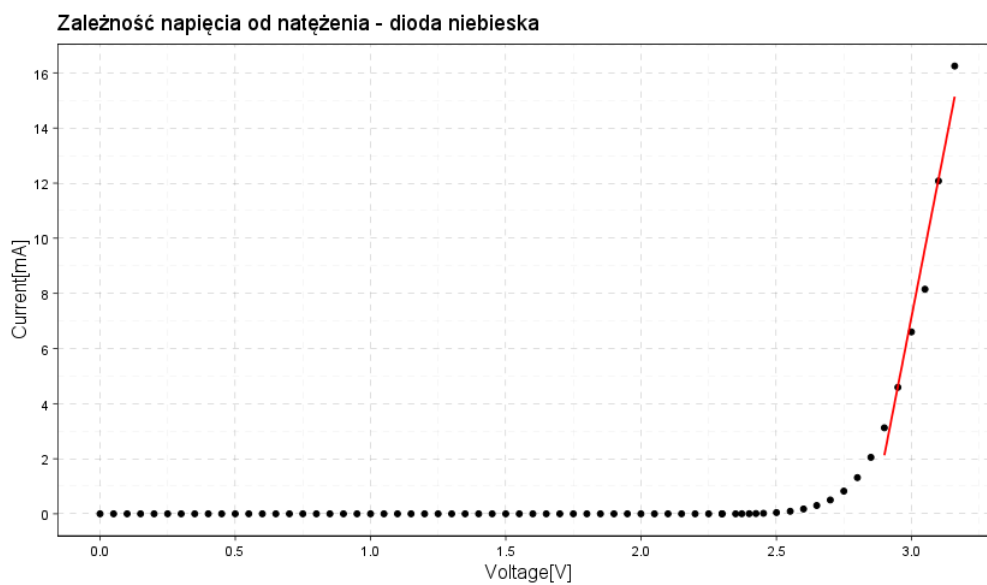
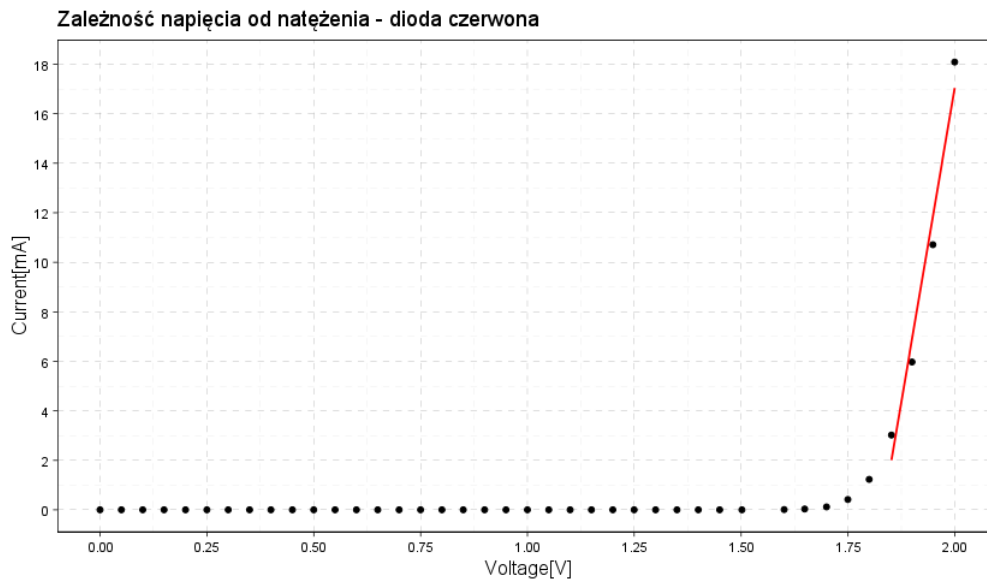
Przykładowo dla diody niebieskiej:

$$\begin{aligned} u_c(h) &= \\ &= \sqrt{\left(\frac{1.602 \cdot 10^{-19}[C]}{299792458[\frac{m}{s}]} \cdot 4.6 \cdot 10^{-7}[m] \cdot 0.42[V]\right)^2 + \left(\frac{1.602 \cdot 10^{-19}[C]}{299792458[\frac{m}{s}]} \cdot 2.857[V] \cdot 5.77 \cdot 10^{-9}\right)^2[m]} = \\ &= 1.034387 \cdot 10^{-34}[J \cdot s] = 1.1 \cdot 10^{-34}[J \cdot s] \end{aligned}$$

4 Wyniki

Wykres zależności napięcia od natężenie prądu elektrycznego dla kolejnych diód





Bariery potencjału oraz stałe planca dla kolejnych diód

Dla referencji tablicowa wartość stałej Planca:

$$h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} [J \cdot s]$$

Typ diody	$U_B[\text{V}]$	$u(U_B)[\text{V}]$	$h[\text{Js}]$	$u(h)[\text{Js}]$
Czerwona	1.83	0.35	$6.2 \cdot 10^{-34}$	$1.2 \cdot 10^{-34}$
Zielona	1.934	0.031	$5.79 \cdot 10^{-34}$	$1.1 \cdot 10^{-35}$
Niebieska	2.86	0.42	$7.0 \cdot 10^{-34}$	$1.1 \cdot 10^{-34}$
Żółta	1.92	0.50	$6.1 \cdot 10^{-34}$	$1.6 \cdot 10^{-34}$

5 Wnioski

Na podstawie eksperymentu udało się wyznaczyć stałą planca dla każdej z diód. Dla diody zielonej wartość tak nie mieści się w zakresie jej niepewności pomiarowej. Dla pozostałych diód wyniki zawierały się w przedziale niepewności pomiarowych jednak niepewność względna dla tych pomiarów potrafiła wynosić nawet $\approx 26\%$ (dla diody żółtej).

Tak duża wartość niepewności oraz tak mało dokładne wyniki wynikają bezpośrednio z metody pomiarowej. Bariere potencjału dla kolejnych diód wyliczano na podstawie ostatnich 3 do 6 pomiarów które układały się w funkcje liniową. Z powodu tak małej ilości punktów regresja liniowa nie była dokładna co zwiększyło znacząco jej niepewność.

Aby poprawić wyniki doświadczenia należałoby zwiększyć ilość punktów pomiarowych do np 50 co wydłużyłoby jednak znacząco czas przeprowadzania doświadczenia. Możnałoby też wykonywać pomiary od końca zakresu z mniejszym skokiem napięcia (np. 10 [mV]). Nie pozwoliłoby to na uzyskanie pełnej charakterystyki napięciowo-prądowej dla diód ale pozwoliłoby na dokładniejsze wyznaczenie stałej Planca.

References

- [1] <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/instrukcje/cwn048.pdf>
- [2] <https://lpf.wppt.pwr.edu.pl/pomoce-dydaktyczne.php>
- [3] <https://www.wolframalpha.com/>
- [4] <https://en.wikipedia.org/wiki/Planck-constant>
- [5] <https://www.growtent.pl/Barwa-swiatla-LED-oraz-HPS-do-doswietlania-roslin-blog-pol-1494238911.html>