

Ćwiczenie 7

Absorbpcja w półprzewodnikach

Patrycja Trybułowska, Zuzanna Rudzińska
Zespół 7

25/11/2022

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było wyznaczenie wartości przerwy energetycznej oraz określenie rodzaju krawędzi absorpcji w wybranych warstwach półprzewodnikowych za pomocą pomiarów widma absorpcji światła.

2 Wykonanie ćwiczenia

2.1 Pomiar transmisji światła przez warstwę siarczku kadmu, fosforku galu oraz bez włożonej warstwy

Wykonaliśmy pomiar transmisji światła przez warstwy CdS oraz GaP w zakresie długości fal $480nm-580nm$ z krokiem $\Delta\lambda = 2nm$.

Grubości badanych warstw wynosiła odpowiednio $d_{CdS} = 500\mu m$ oraz $d_{GaP} = 400\mu m$. Następnie wykonaliśmy pomiar natężenia światła bez włożonej warstwy półprzewodnikowej. Zrobiliśmy to w tym samym zakresie fal co powyższe. Otrzymane wyniki wykorzystaliśmy do sporządzenia poniższych wykresów oraz wyliczania potrzebnych wartości. Zaznaczyć również należy, że w otrzymanych pomiarach dostałyśmy w wynikach strumień zamiast natężenia. Możemy jednak użyć wartości $\frac{\phi}{\phi_0}$ jako przybliżoną wartość $\frac{I}{I_0}$ co wynika z małej powierzchni badanych płytek GaP oraz CdS.

3 Zależność współczynnika absorpcji od długości fali światła dla badanych dwóch warstw

Otrzymane pomiary pozwoliły nam na wyznaczenie wyżej wymienionej zależności. W tym celu skorzystałyśmy z poniższych wzorów w celu wyznaczenia współczynnika absorpcji:

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha x}$$

$$T = \frac{I}{I_o}$$

Podstawiając więc do siebie oba równania na współczynnik T otrzymujemy:

$$\alpha = -\frac{1}{d} \ln \left(\frac{I}{I_0(1 - R^2)^2} \right) \quad (1)$$

gdzie x- grubość półprzewodnika, I-natężenie światła przechodzącego, I_o - natężenie światła padającego, T- transmisja.

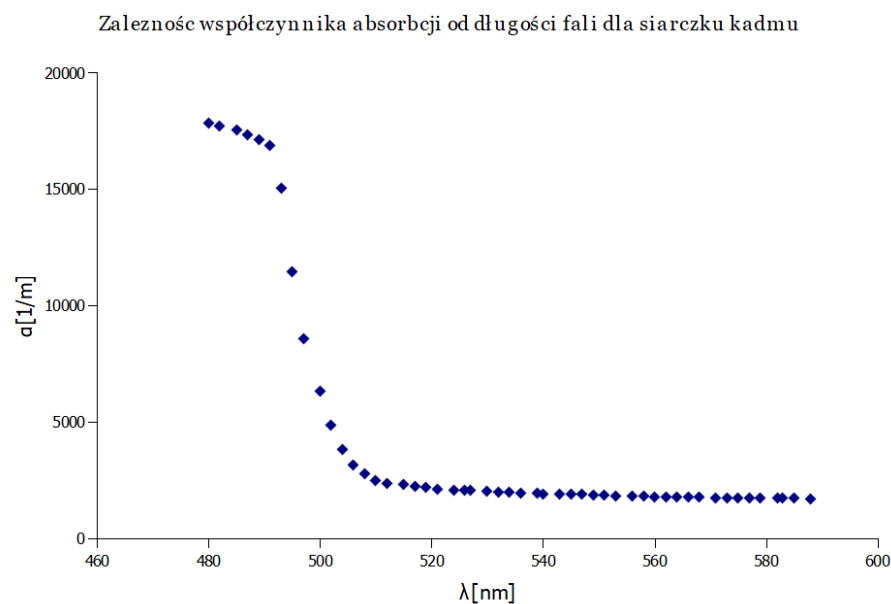
Wyznaczenie współczynnika odbicia obliczymy na podstawie współczynników załamania n dla poszczególnych materiałów: GaP oraz CdS.

$$R = \frac{(1 - n)^2}{(1 + n)^2}$$

Współczynniki te wynoszą odpowiednio (doświadczalnie dla światła o fali 568nm¹):

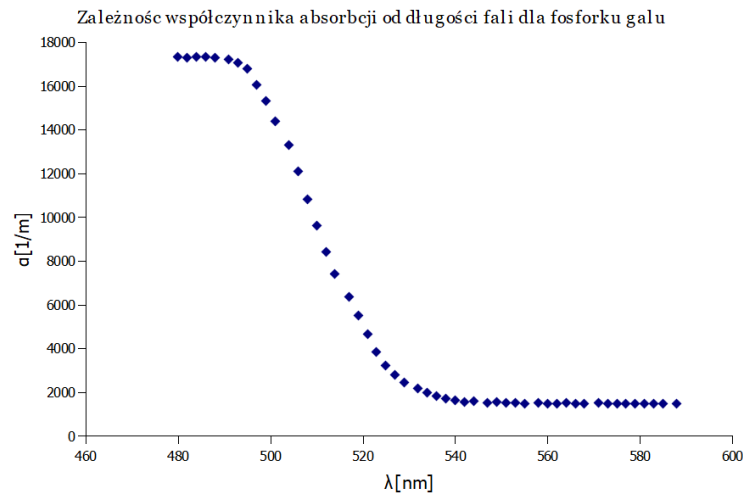
$$n_{GaP} = 3.4122$$

$$n_{CdS} = 2.5646$$



Rysunek 1: Wykres zależności współczynnika absorpcji od długości fali dla CdS

¹<https://refractiveindex.info/?shelf=mainbook=Ga&Ppage=Aspnes>

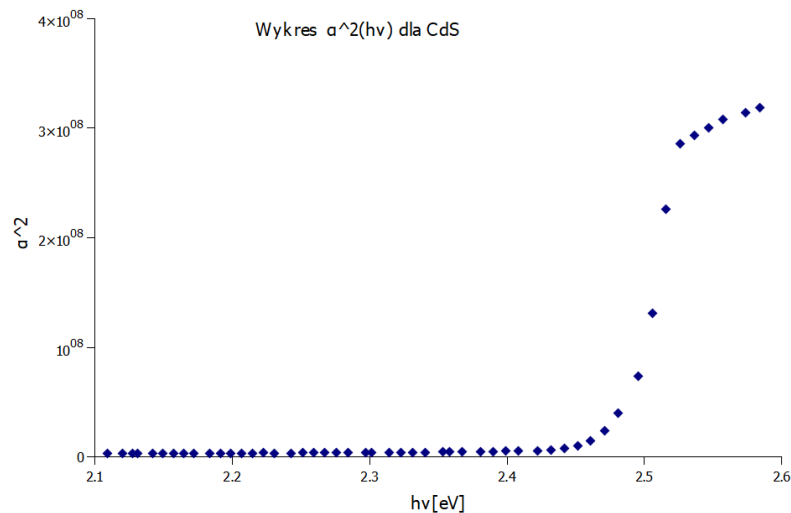


Rysunek 2: Wykres zależności współczynnika absorpcji od długości fali dla GaP

Otrzymane przebiegi wykresów pozwalają stwierdzić, że każdy półprzewodnik mocniej absorbuje światło w zakresie różnych długości fal.

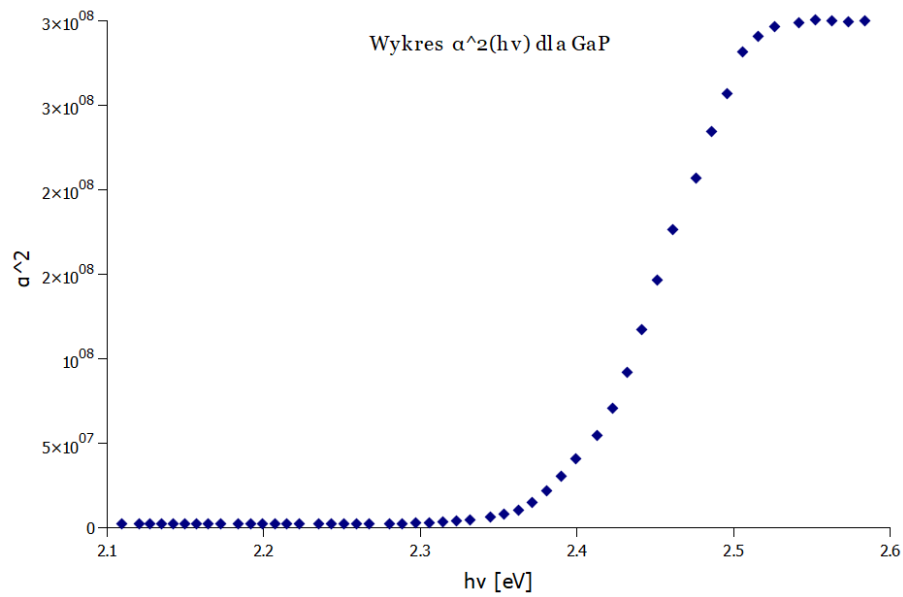
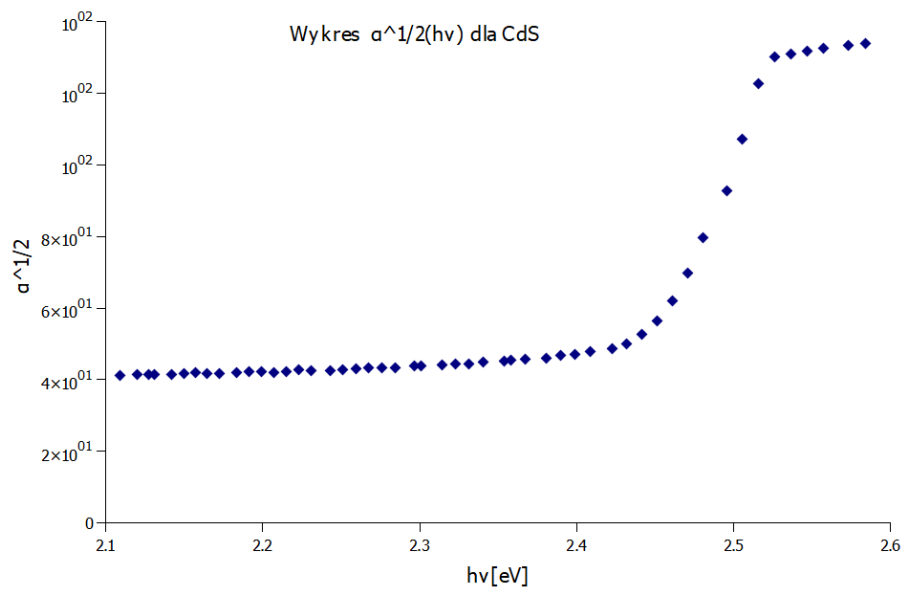
4 Wykresy $\alpha^2(h\nu)$, $\alpha^{\frac{1}{2}}(h\nu)$ oraz $\ln(\alpha)(h\nu)$

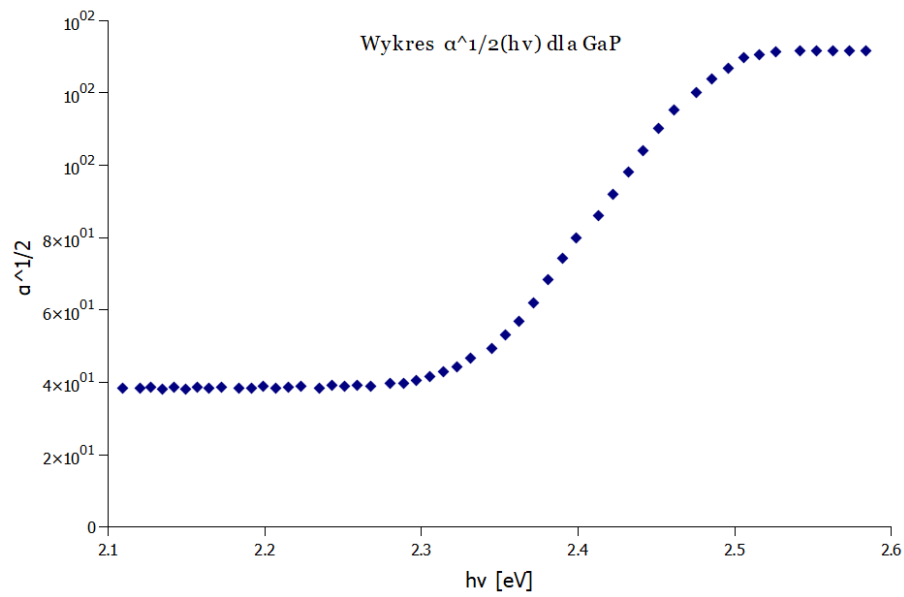
Dla otrzymanych w ćwiczeniu wyników wyznaczyliśmy wykresy współczynników absorpcji zależne od energii. Energię wyznaczamy z klasycznego wzoru: $E = h\nu$, gdzie h oznacza stałą Plancka², a ν częstotliwość. Wzór ten możemy zapisać również inaczej, uwzględniając długość fali oraz prędkość światła w próżni: $E = c \cdot h/\lambda$. Znając wszystkie z tych trzech wielkości możemy wykreślić wykresy.



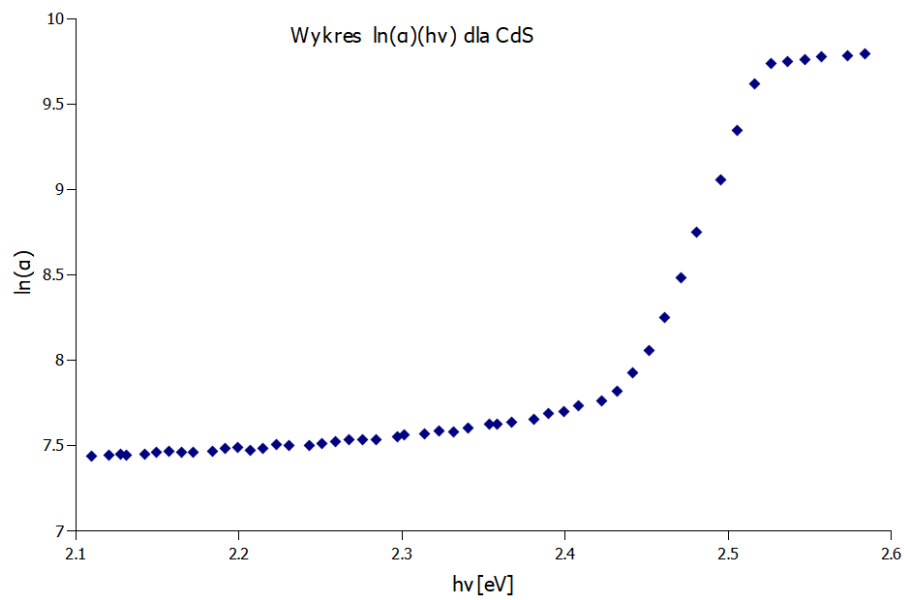
Rysunek 3: Wykres zależności $\alpha^2(h\nu)$ dla CdS

² $h = 4.135 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s}$

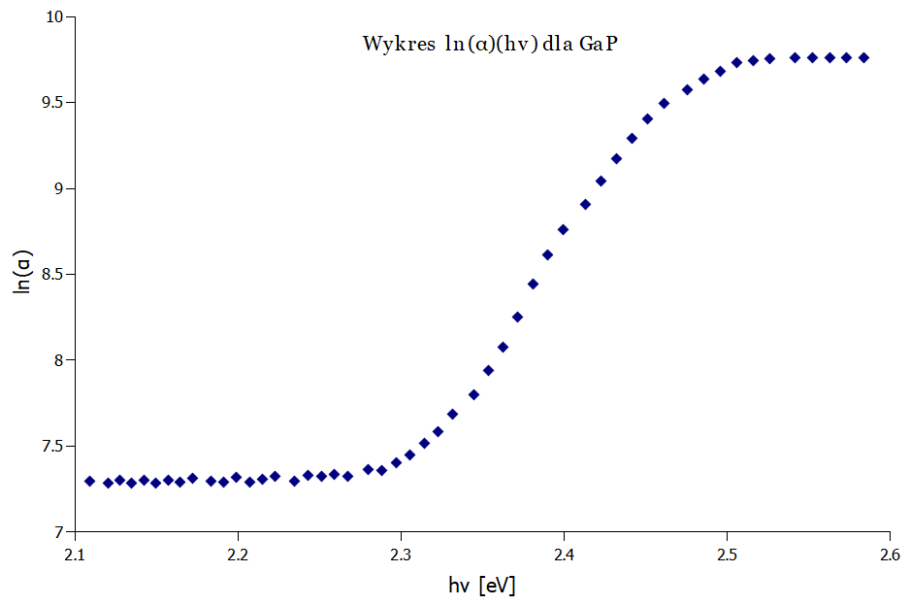
Rysunek 4: Wykres zależności $\alpha^2(h\nu)$ dla GaPRysunek 5: Wykres zależności $\alpha^{1/2}(h\nu)$ dla CdS



Rysunek 6: Wykres zależności $\alpha^{1/2}(h\nu)$ dla GaP

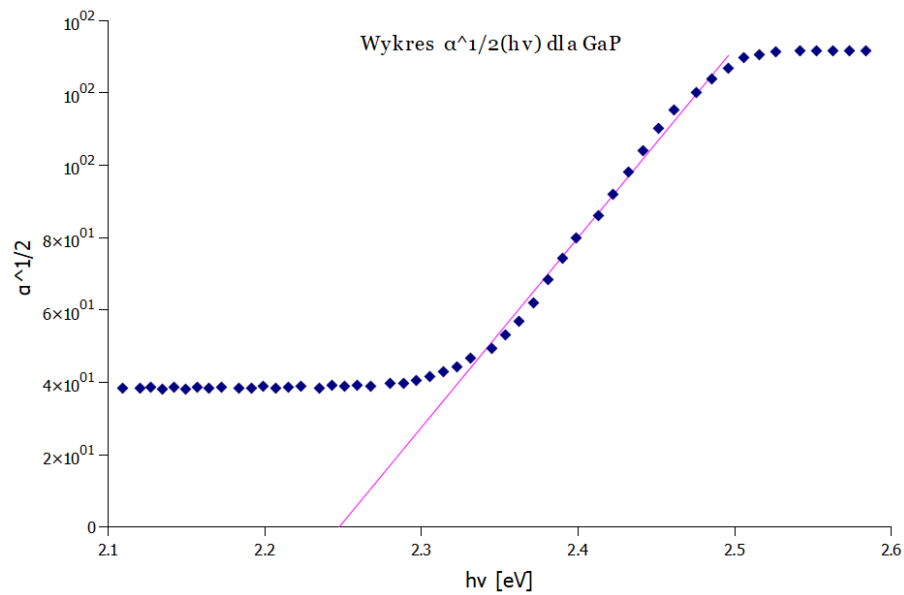


Rysunek 7: Wykres zależności $\ln\alpha(h\nu)$ dla CdS

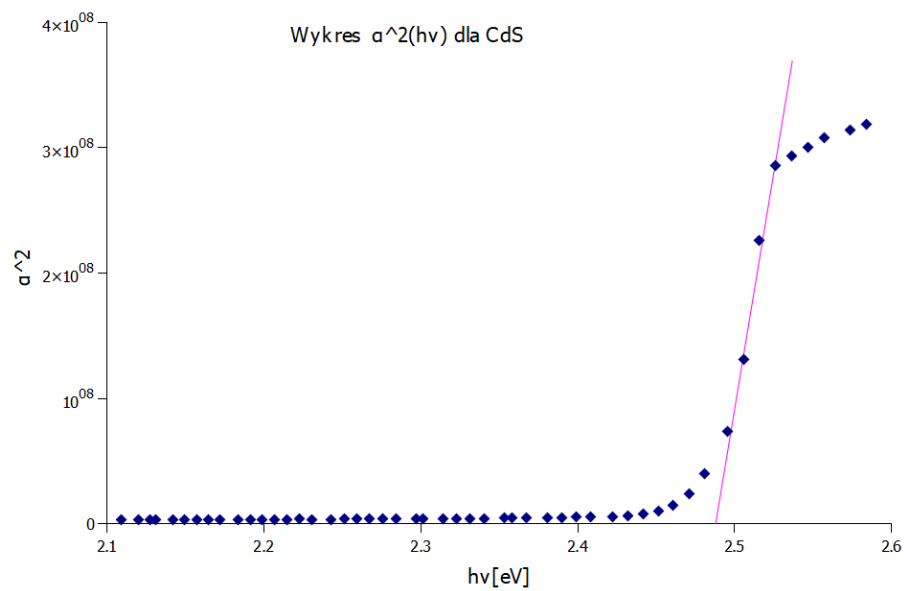
Rysunek 8: Wykres zależności $\ln\alpha(hv)$ dla GaP

5 Rodzaje przejść międzypasmowych w badanych warstwach

Na powyższych wykresach zauważyć możemy bardzo podobne do siebie charakterystyki, które z jakiejś w przybliżeniu stałej wartości wzrastają liniowo do kolejnej stałej. Najbardziej liniowymi z tych wykresów jest $\alpha^{\frac{1}{2}}(hv)$ dla GaP oraz $\alpha^2(hv)$ dla CdS (na powyższych wykresach należy zwrócić uwagę, że dla czytelności $\ln\alpha(hv)$ skala osi pionowej zaczyna się od 7. Gdyby jednak zaczynał się od zera charakterystyka ta byłaby dość "płaska"). Tak więc dla tych wykresów poprzez odpowiednie funkcje w programie Gnumeric dopasowaliśmy prostą do środkowych części funkcji.



Rysunek 9: Wykres zależności $\sqrt{\alpha}(hv)$ dla GaP wraz z dopasowaną prostą



Rysunek 10: Wykres zależności $\alpha^2(hv)$ dla CdS wraz z dopasowaną prostą

Współczynniki dopasowania wynoszą odpowiednio:

a	525	b	-1179
u(a)	17	u(b)	41

Tabela 1: Współczynniki dopasowania dla fosforu galu

a	7555101358	b	-18796593588
u(a)	1035821067	u(b)	2606404017

Tabela 2: Współczynniki dopasowania prostej dla siarczku kadmu

6 Wartości przerwy energetycznej badanych materiałów

W celu odczytania wartości przerw energetycznych badanych półprzewodników posłużyliśmy się wzorem:

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

Otrzymując:

- Dla Cds:

$$E_{g_{CdS}} = \frac{18796593588 \frac{1}{m^2}}{7.56 \cdot 10^{18} \frac{1}{eV \cdot m^2}} = 2.49 eV$$

$$u(E_{g_{CdS}}) = 0.33 eV$$

- Dla GaP:

$$E_{g_{GaP}} = \frac{1178 \frac{1}{m^2}}{524566367898 \frac{1}{eV \cdot m^2}} = 2.25 eV$$

$$u(E_{g_{GaP}}) = 0.09 eV$$

Niepewności przerwy energetycznej zostały policzone za pomocą metody propagacji niepewności zgodnie ze wzorem:

$$u(E_g) = \sqrt{\left(\frac{\partial E_g}{\partial a} u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial E_g}{\partial b} u(b)\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{b}{a^2} u(a)\right)^2 + \left(\frac{1}{a} u(b)\right)^2}$$

Ostatecznie otrzymałyśmy poniższe wartości przerw energetycznych:

- dla CdS:

$$E_g(u_{E_g}) = 2.49(33) eV$$

- dla GaP:

$$E_g(u_{E_g}) = 2.25(9) eV$$

7 Wnioski

Porównując wyliczone wartości przerw energetycznych zauważamy że zbliżone są do wartości tablicowych w temperaturze pokojowej (2.42eV dla CdS oraz 2.26eV dla GaP).

Wykresy do których dopasowaliśmy proste świadczą o rodzaju przejść międzypasmowych. Największa liniowość dla wykresu $\alpha^2(h\nu)$ dla CdS świadczy o tym, że półprzewodnik ma prostą przerwę energetyczną, natomiast liniowość $\sqrt{\alpha}(h\nu)$ dla GaP świadczy o skośnej przerwie energetycznej. Jak wiemy z instrukcji do ćwiczenia właśnie takie przerwy energetyczne mają te półprzewodniki.